

VGS 06
EXTERNE VEILIGHEID LANGS TRANSPORTASSEN
STUDIE NAAR BOUWKUNDIGE VOORZIENINGEN

GEMEENTE TILBURG
PROGRAMMA BRABANT VEILIGER

23 december 2005



Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Werkwijze	5
1.4	Projectgroep	6
1.5	Leeswijzer	6
2	Samenvatting effectenonderzoek	8
2.1	Brandbare gassen	8
2.2	Toxische gassen	9
2.3	Brandbare vloeistoffen	10
2.4	Toxische vloeistoffen	11
2.5	Totaal overzicht	11
3	Maatregelen	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Overzicht van maatregelen	14
3.2.1	Maatregelen nabij de bron	16
3.2.2	Maatregelen in het tussengebied	20
3.2.3	Maatregelen aan / in de bebouwing	22
4	Effectiviteit en haalbaarheid	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Overzicht van maatregelen	29
4.3	Maatregelen	30
4.3.1	Maatregelen brandbare gassen	31
4.3.2	Maatregelen toxische gassen	32
4.3.3	Maatregelen zeer toxische gassen	33
4.3.4	Maatregelen brandbare vloeistoffen	34
4.3.5	Maatregelen toxische vloeistoffen	35
4.3.6	Maatregelen zeer toxische vloeistoffen	36
5	Juridische afdwingbaarheid	37
5.1	Inleiding	37
5.2	Bouwbesluit	37
5.3	Bouwverordening	37
5.4	Gebruiksvergunning	38
5.5	Conclusie	38
6	Effectenonderzoek	40
6.1	Inleiding	40
6.2	Startincidenten	40

6.2.1	Spoor	40
6.2.2	Weg	41
6.3	Modellering	42
7	Brandbare gassen	44
7.1	Inleiding	44
7.2	Ongevalsebeschrijving	44
7.3	Invloedsfactoren	45
7.4	Fakkelfbrand	45
7.4.1	Karakteristieken	45
7.4.2	Effecten	45
7.4.3	Consequenties voor personen	46
7.4.4	Consequenties voor gebouwen	46
7.5	Wolkbrand	46
7.5.1	Karakteristieken	46
7.5.2	Effecten	46
7.5.3	Consequenties voor personen	46
7.5.4	Consequenties voor gebouwen	46
7.6	Warme BLEVE	46
7.6.1	Karakteristieken	46
7.6.2	Effecten	46
7.6.3	Consequenties voor personen	46
7.6.4	Consequenties voor gebouwen	46
7.7	Koude BLEVE	46
7.7.1	Karakteristieken	46
7.7.2	Effecten	46
7.7.3	Consequenties voor personen	46
7.7.4	Consequenties voor gebouwen	46
7.8	Samenvattend overzicht	46
8	Toxische gassen	46
8.1	Inleiding	46
8.2	Ongevalsebeschrijving	46
8.3	Invloedsfactoren	46
8.4	Vrijkomen van ammoniak, continu	46
8.4.1	Karakteristieken	46
8.4.2	Effecten	46
8.4.3	Consequenties voor personen	46
8.5	Vrijkomen van ammoniak, instantaan	46
8.5.1	Karakteristieken	46
8.5.2	Effecten	46
8.5.3	Consequenties voor personen	46
8.6	Vrijkomen van chloor, continu	46
8.6.1	Karakteristieken	46
8.6.2	Effecten	46
8.6.3	Consequenties voor personen	46
8.7	Vrijkomen van chloor, instantaan	46

8.7.1	Karakteristieken	46
8.7.2	Effecten	46
8.7.3	Consequenties voor personen	46
8.8	Samenvattend overzicht	46
9	Brandbare vloeistoffen	46
9.1	Inleiding	46
9.2	Ongevalsebeschrijving	46
9.3	Invloedsfactoren	46
9.4	Plasbrand	46
9.4.1	Karakteristieken	46
9.4.2	Effecten	46
9.4.3	Consequenties voor personen	46
9.4.4	Consequenties voor gebouwen	46
9.5	Samenvattend overzicht	46
10	Toxische vloeistoffen	46
10.1	Inleiding	46
10.2	Ongevalsebeschrijving	46
10.3	Invloedsfactoren	46
10.4	Vrijkomen van toxische vloeistof	46
10.4.1	Karakteristieken	46
10.4.2	Effecten	46
10.4.3	Consequenties voor personen	46
10.5	Vrijkomen van zeer toxische vloeistof	46
10.5.1	Karakteristieken	46
10.5.2	Effecten	46
10.5.3	Consequenties voor personen	46
10.6	Samenvattend overzicht	46
Bijlage 1	Referentielijst	46

HOOFDSTUK 1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

Het vervoer van gevaarlijke stoffen brengt risico's met zich mee. Vooral in stedelijke gebieden met veel mensen kunnen de effecten van incidenten met gevaarlijke stoffen grote gevolgen hebben, zowel voor de personen als de gebouwen. De combinatie van stedelijk gebied met vele aanwezigen en het vervoer van gevaarlijke stoffen levert verhoogde externe veiligheidsrisico's. Om het vervoer van gevaarlijke stoffen langs en door stedelijke gebieden verantwoord te kunnen laten plaatsvinden, dienen er maatregelen getroffen te worden.

Deze studie is uitgevoerd in het kader van het programma "Brabant Veiliger" van de Provincie Noord-Brabant.

1.2 DOEL

Het doel van deze studie is tweeledig:

1. Het verkrijgen van inzicht in de effecten van incidenten met vervoer van gevaarlijke stoffen in stedelijk gebied voor de daar aanwezige personen;
2. Het krijgen van inzicht in mogelijke te treffen (stede)bouwkundige maatregelen om deze effecten te beperken.

1.3 WERKWIJZE

Begonnen wordt met het analyseren van de effecten die kunnen optreden bij vervoer van gevaarlijke stoffen. Daarbij wordt gekeken naar de effecten op de gebouwen in de omgeving en de daarin aanwezige mensen. Vervolgens zal een inventarisatie worden opgesteld van mogelijke maatregelen en wordt een beschouwing gegeven van deze maatregelen. Tevens zal worden gekeken naar de effecten voor mensen buiten.

In deze studie wordt enkel gekeken naar de effecten van incidenten met vervoer van gevaarlijke stoffen op de omliggende bebouwing, de daarin aanwezige mensen en mensen buiten. Niet beschouwd zijn de effecten van andere incidenten op het spoor of op de weg zoals een botsing, ontsporing, etc. Maatregelen op het gebied van zelfredzaamheid en hulpverlening vormen geen onderdeel van de studie. Wel wordt de invloed van de (stede)bouwkundige maatregelen op de zelfredzaamheid en hulpverlening beschouwd.

Bij het uitvoeren van deze studie is gekozen voor een geaccepteerde rekenmethodiek. Uitkomsten van andere modellen kunnen afwijkingen vertonen ten opzichte van het hier geanalyseerde. De verkregen effecten en bijbehorende afstanden geven voor een generieke situatie wel een goed beeld. Op basis van deze effectanalyse en bijbehorende overzicht van

maatregelen is voor oa. stedenbouwkundigen een “tool kit” gecreëerd waaruit maatregelen gehaald kunnen worden en welke kunnen worden ingepast voor specifieke projecten. Hiervoor dient de concrete locatie nog wel bekeken te worden op toepasbaarheid van de effectanalyse.

1.4

PROJECTGROEP

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van de gemeente Tilburg. Voor de uitwerking van het project is een projectgroep en een expertisegroep opgericht. In het volgende overzicht zijn de betrokken personen en instanties opgenomen welke hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze rapportage.

Tabel 1.1

Overzicht deelnemers
projectgroep en expertisegroep

Persoon	instantie	Rol bij het project
Chris Vleer	Gemeente Tilburg	projectleider
Jorrit Nieuwenhuis	ARCADIS	ondersteuning projectleiding
Stefan Lezwijn	ARCADIS	ondersteuning projectleiding
Bas Dikmans	Provincie Noord Brabant	projectgroep
Tom de Graaf	Provincie Noord Brabant	projectgroep
Wilbert Kleijer	Brandweer	projectgroep
Jaap Oosterwegel	Brandweer	projectgroep
Ton Wouterse	GHOR	projectgroep
Henk Hoekstra	Politie Midden en West Brabant	projectgroep
Hans Verhoeven	Gemeente Eindhoven	projectgroep
Cora Alfonso	Gemeente Tilburg	projectgroep
Marco Visser	Gemeente Tilburg	projectgroep
Nils Rosmuller	NIBRA	expertisegroep
Domien Claessens	VROM Inspectie	expertisegroep
Wietske Roos	TNO	expertisegroep
Flavio Galanti	TNO	expertisegroep
Tineke Wiersma	TNO	expertisegroep
Robin Seijdel	TNO	expertisegroep

1.5

LEESWIJZER

Na dit in leidende hoofdstuk worden in hoofdstuk 2 de voornaamste bevindingen van het onderzoek op hoofdlijnen weer gegeven. Op basis hiervan wordt inzicht verkregen in de effecten en bijbehorende afstanden die kunnen optreden bij incidenten met gevaarlijke stoffen. Daarna is weergegeven welke mogelijke maatregelen getroffen kunnen worden. Daarna volgen deel A en B van de rapportage de onderbouwing hiervan.

▪ Deel A: Bouwkundige voorzieningen

In deel A van deze studie (hoofdstuk 3 en 4) wordt gekeken naar welke maatregelen waar getroffen kunnen worden om vervoer verantwoord te kunnen laten plaats vinden. Hierbij worden de maatregelen gekoppeld aan de in het effectenonderzoek geanalyseerde effecten per stofcategorie. In hoofdstuk 5 worde de juridische afdwingbaarheid van de maatregelen onderbouwd.

▪ Deel B: Effectenonderzoek

In het tweede deel (hoofdstuk 6 tot en met 10) worden de effecten van incidenten met gevaarlijke stoffen geanalyseerd. Daarbij wordt gekeken naar brandbare gassen (hfst. 7), toxische gassen (hfst. 8), brandbare vloeistoffen (hfst. 9) en toxische vloeistoffen (hfst. 10).

Hiermee vormt deel B de onderbouwing tot het treffen van maatregelen zoals opgenomen in deel A van deze studie.

HOOFDSTUK

2 Samenvatting effectenonderzoek

De mogelijke effecten welke zijn te verwachten bij incidenten met vervoer van gevaarlijke stoffen zijn sterk afhankelijk van de stoffen die vervoerd worden. Voor generieke situaties zijn de effecten geanalyseerd van het vrijkomen van zowel toxische gassen en vloeistoffen als brandbare gassen en vloeistoffen. Hierbij treden afhankelijk van het verloop van het ongevalsscenario verschillende effecten op.

De geanalyseerde effecten zijn hierna kort per stof categorie weergegeven. Voor de onderbouwing van deze analyse wordt verwezen naar deel B van deze studie. De opsplitsing naar de verschillende stoffen is gemaakt omdat afhankelijk van de betreffende transportas het vervoer bekeken dient te worden, en daarmee de mogelijke effecten die kunnen optreden

2.1

BRANDBARE GASSEN

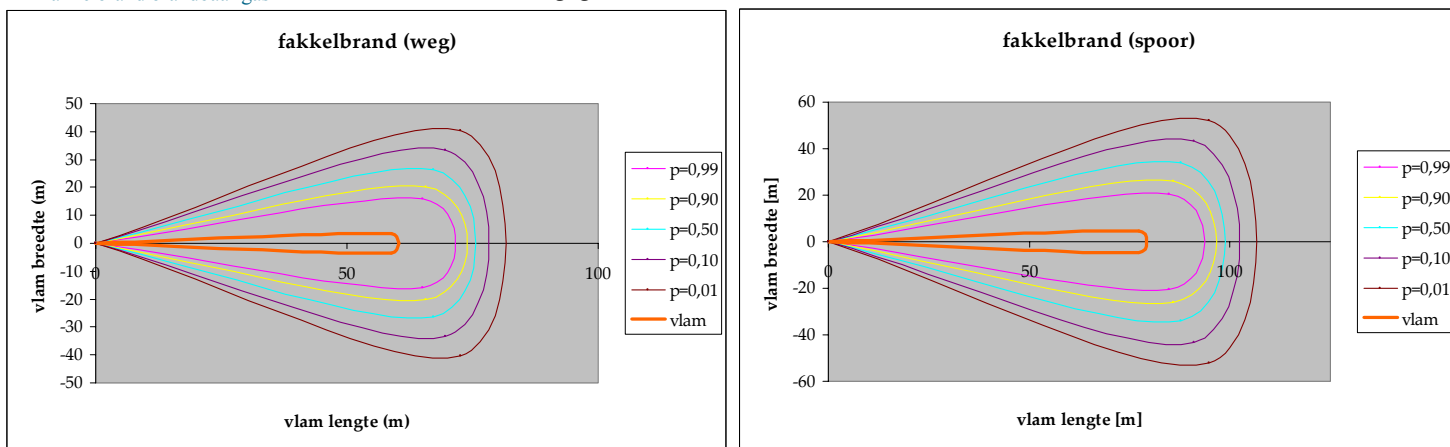
Bij het vrijkomen van brandbare gassen kunnen er afhankelijk van het verloop van het incident de volgende effecten optreden. Waarbij het verloop afhankelijk is van het moment van ontsteking van de vrijgekomen gaswolk, de grote van het gat in de tank en de wijze van vrijkomen van de inhoud. De effecten zijn grafisch weergegeven voor zowel incidenten op het spoor als op de weg.

Fakkelfbrand

Figuur 2.1

Fakkelfbrand brandbaar gas

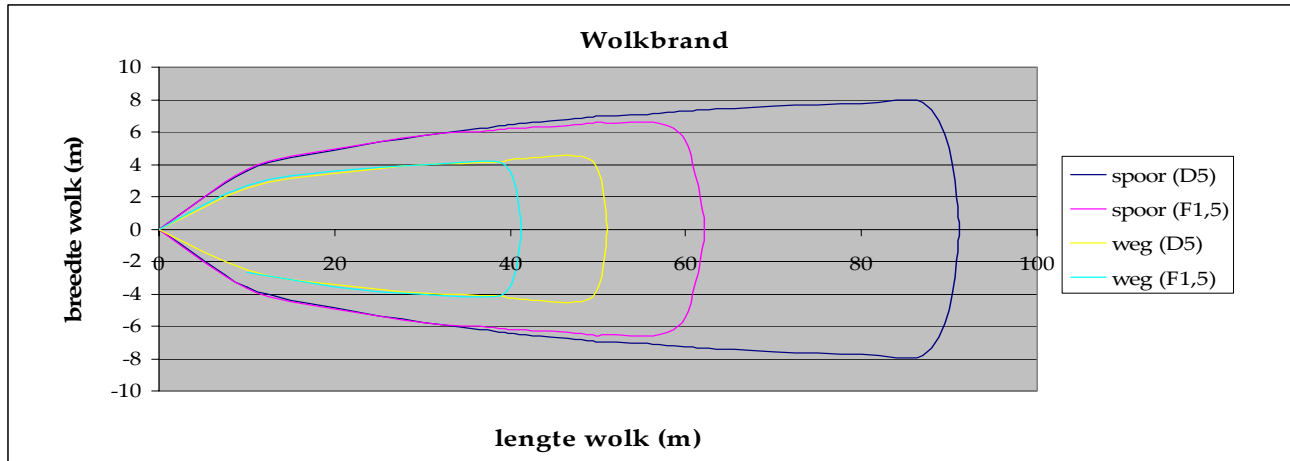
In onderstaande figuren is de kans op overlijden van personen in het vrije veld als gevolg van een fakkel weergegeven.



Wolkbrand

Figuur 2.2
Wolkbrand brandbaar gas

In het onderstaande figuur is de omvang van de gaswolk bij een tweetal weertypen weergegeven (D5= neutraal weer met windsnelheid van 5 m/s; F1,5=zeer stabiel weer met een windsnelheid van 1,5 m/s).



Warme BLEVE

De consequenties voor personen in de omgeving van een BLEVE zijn in onderstaande tabel weergegeven. Deze afstanden zijn gemeten vanuit het centrum van de BLEVE.

Tabel 2.2
Effecten warme BLEVE

Effect	Letsel	Spoor[m]	weg [m]
Overdruk	Fataal letsel (=overdruk >0,1 bar	66	51
Vuurbal	100% letaliteit	175	85
	1% letaliteit	310	150
Brokstukken	1% Trefkans	< 300	< 300

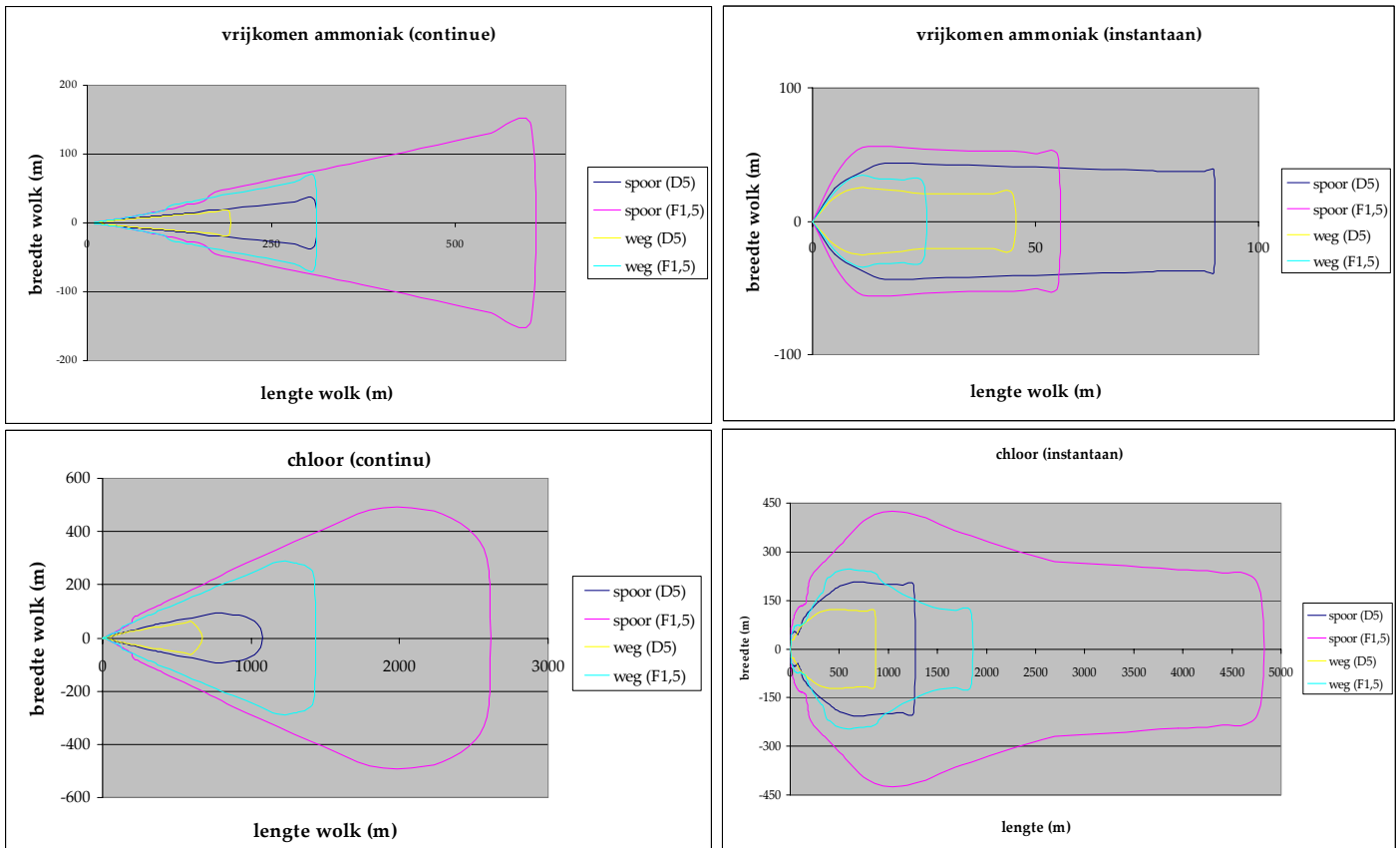
Koude BLEVE

Tabel 2.3
Effecten koude BLEVE

Effect	Letsel	Spoor[m]	weg [m]
Overdruk	Fataal letsel (=overdruk >0,1 bar	34	26
Vuurbal	100% letaliteit	110	85
	1% letaliteit	235	150
Brokstukken	1% Trefkans	< 300	< 300

2.2 TOXISCHE GASSEN

Bij het vrijkomen van toxische gassen (zwaarder en lichter dan lucht) zijn een tweetal uitstroomscenario's mogelijk, instantaan en continue. In de onderstaande figuren is de omvang van een toxische wolk weergegeven voor weg en spoor voor een tweetal weertypen (D5= neutraal weer met windsnelheid van 5 m/s; F1,5=zeer stabiel weer met een windsnelheid van 1,5 m/s).



2.3 BRANDBARE VLOEISTOFFEN

Er wordt aangenomen dat alle aanwezigen binnen de brand c.q. in de vlammen komen te overlijden. In de onderstaande tabel is de kans op overlijden weergegeven als gevolg van de warmtestraling op een bepaalde afstand van de brand. Hierbij zijn een tweetal plasgroottes (R= straal van de plas) weergegeven welke afhankelijk is van de lokale situatie, bij een tweetal weertypen (D5= neutraal weer met windsnelheid van 5 m/s; F1,5=zeer stabiel weer met een windsnelheid van 1,5 m/s).

Tabel 2.4

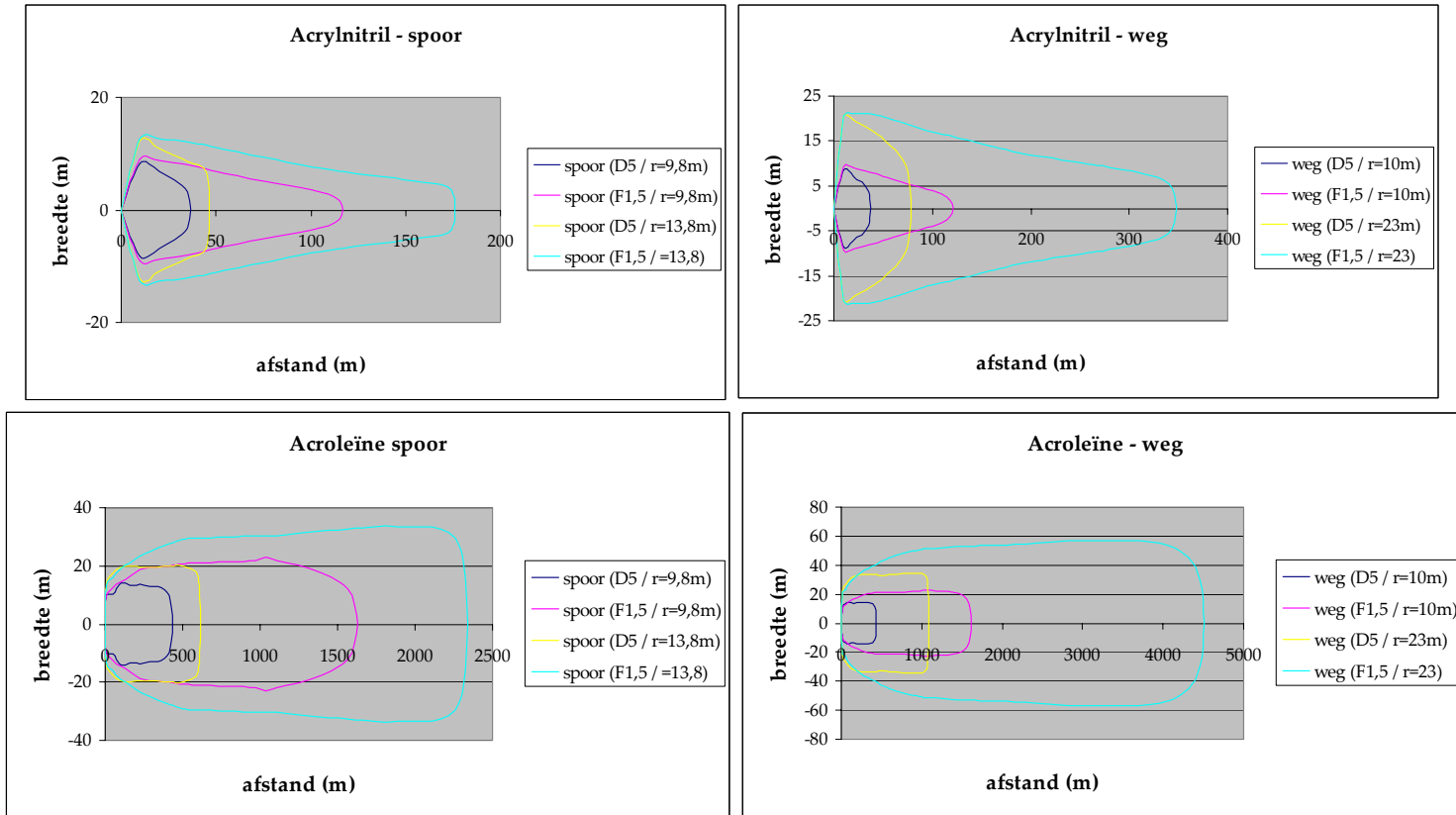
Effecten plasbrand

Weerklasse	Kans op overlijden [%]	Treinwagon		Tankauto	
		R=10m	R=14m	R=10m	R=23m
D5	100	11	15	11	23
	50	17	16	17	24
	10	25	26	25	33
	1	32	35	32	46
F1,5	100	10	14	10	23
	50	13	15	14	24
	10	19	20	19	27
	1	25	27	25	36

2.4 TOXISCHE VLOEISTOFFEN

Figuur 2.3
Toxische vloeistoffen

Bij toxische vloeistoffen zijn het effecten beschouwd van Acrylnitril (toxisch) en Acroleïne (zeer toxisch). In de onderstaande figuren is de omvang van de afgedampte toxische wolk weergegeven waarbij de concentratie de 1% letaliteitsgrens overschrijdt.



2.5 TOTAAL OVERZICHT

Effecten

Er zijn drie mogelijke effecten te verwachten bij incidenten met vervoer van gevaarlijke stoffen (brand, overdruk en toxiciteit). Deze drie effecten zijn samengevat weergegeven in de onderstaande tabel. Met betrekking tot de weergegeven afstanden geldt hierbij het volgende:

- Brand

Voor brand buiten is de 1% letaliteitswaarde gegeven voor buiten (= 10kW/m² bij blootstelling gedurende 20 seconden en 17 kW/m² bij 10 seconden blootsteldingsduur) en de 4 kW/m² grens (=ruitbreuk waardoor brandoverslag mogelijk wordt) voor binnen. De afstand waarbij de 35 kW/m² wordt overschreden is weergegeven omdat hierbij de kritische stralingswarmte voor brandoverslag wordt overschreden.

- **Druk**
Met betrekking tot overdruk is voor buiten de 0,1 bar –grens weergegeven (=letale waarde voor onbeschermden personen) en 3,5 kPa en binnen (=ruitbreuk). Daarbij zijn de maximale waarden gegeven van de berekende verschillende scenario's
- **Toxiciteit:**
De weergegeven afstand is de 1% letaliteitsgrens voor aanwezig zijn zowel binnen als buiten.

Tabel 2.5

Totaal overzicht effectafstanden

Effect		Spoor [m]		Weg [m]		opmerking
		Buiten	Binnen	Buiten	Binnen	
Brand	Fakkel	95	100	73	80	35 kW/m ² bij 86 resp. 66 meter
	Wolkbrand	90	90	50	50	D5
	Plasbrand	35	48	46	70	35 kW/m ² bij 15 resp. 23 meter
	Warme BLEVE	310	209	150	162	35 kW/m ² bij 245 resp. 96 meter
	Koude BLEVE	235	108	150	83	35 kW/m ² bij 165 resp. 96 meter
Druk	Warme BLEVE	66	210	51	162	Effecten van warmte straling maatgevend
	Koude BLEVE	34	108	26	83	
Toxiciteit	Ammoniak	600	440	310	230	F1,5 – continue uitstroming
	Chloor	4966	2311	1957	1057	F1,5 – instantaan vrijkomen
	Acrylnitril	174	110	340	210	F1,5 – r=14 (spoor) / r=23 (weg)
	Acroleïne	2290	1720	4460	3100	F1,5 – r=14 (spoor) / r=23 (weg)

Maatregelen

De uitgevoerde analyse naar effecten is gevolgd door een onderzoek naar te treffen (stede)bouwkundige voorzieningen. Dit overzicht van maatregelen en de beschouwing daarvan betreft een generieke beschouwing gebaseerd op een generieke analyse van de effecten. Op basis hiervan is het mogelijk inzicht te krijgen in de te verwachten effecten en de afstanden waarbij deze letaal zijn, afhankelijk van het type stof dat vervoerd wordt. Deze afstanden gecombineerd met de maatregelen geven voor nieuw te ontwikkelen locaties een goed beeld van mogelijk te treffen maatregelen om verantwoorde ontwikkeling van de locatie mogelijk te maken. Voor specifieke gevallen moet gekeken worden naar de karakteristieken van de locatie en haar omgeving voor het bepalen van de effecten. De te treffen maatregelen zijn sterk afhankelijk van de locatie en de mogelijkheid deze in te passen in de omgeving of in (het ontwerp van) de gebouwen.

Het houden van voldoende afstand tot de transportas is een maatregel die voor alle incidenten effectief is, dit levert veel beperkingen op aan de ruimtelijke inrichting van locaties. Het inrichten van de locaties nabij de transportas met een lage bezettingsgraad is effectief en heeft een tweeledig effect. Enerzijds wordt hiermee voorkomen dat veel mensen dicht bij de mogelijke bron verblijven. Anderzijds wordt hiermee een afscheiding gecreëerd van meer intensief gebruikte bestemmingen. Voor scenario's waarbij de effecten warmte en overdruk zijn, dient bij het materiaal gebruik rekening te worden gehouden met deze effecten. Hiermee zijn de effecten goed beheersbaar. Daarnaast is snelle alarmering van aanwezig bij alle incidenten van groot belang. Hierbij is de communicatie richting aanwezigen met betrekking tot het type incident en het vereiste handelen van belang.

Deel A: Bouwkundige voorzieningen

HOOFDSTUK

3

Maatregelen

3.1

INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van mogelijk te treffen maatregelen ter reductie van de optredende effecten bij een incident met vervoer van gevaarlijk stoffen over het spoor of de weg (zie hiervoor hoofdstuk 2 en deel B voor de onderbouwing). Hierbij wordt zowel gekeken naar maatregelen aan of in gebouwen (bouwkundige maatregelen), als naar maatregelen welke betrekking hebben op ruimtelijke inrichting (stedenbouwkundige maatregelen) of maatregelen langs de infrastructuur (maatregelen nabij de bron).

Begonnen wordt met een overzicht van mogelijk te treffen maatregelen, inclusief een beschouwing van deze maatregelen (mogelijkheden en beperkingen). Daarna wordt gekeken ten behoeve van welke mogelijke effecten welke maatregelen getroffen kunnen worden. Daarbij zal worden aangegeven op welke afstand de maatregelen getroffen dienen te worden, wat de effectiviteit is in termen van een kwalitatieve beschouwing van de kosten en de invloed op zelfredzaamheid en hulpverlening.

Maatregelen op het gebied van zelfredzaamheid en hulpverlening vormen geen onderdeel van de studie. De invloed van de (stede)bouwkundige maatregelen op de zelfredzaamheid en hulpverlening wordt wel beschouwd. Bij de ruimtelijke inrichting dient wel rekening te worden gehouden met hulpverlening en zelfredzaamheid. Onderdeel van de "handreiking verantwoordingsplicht Groepsrisico" wordt gevormd door de onderbouwing van mogelijkheden voor zelfredzaamheid en hulpverlening bij ruimtelijke plannen.

3.2

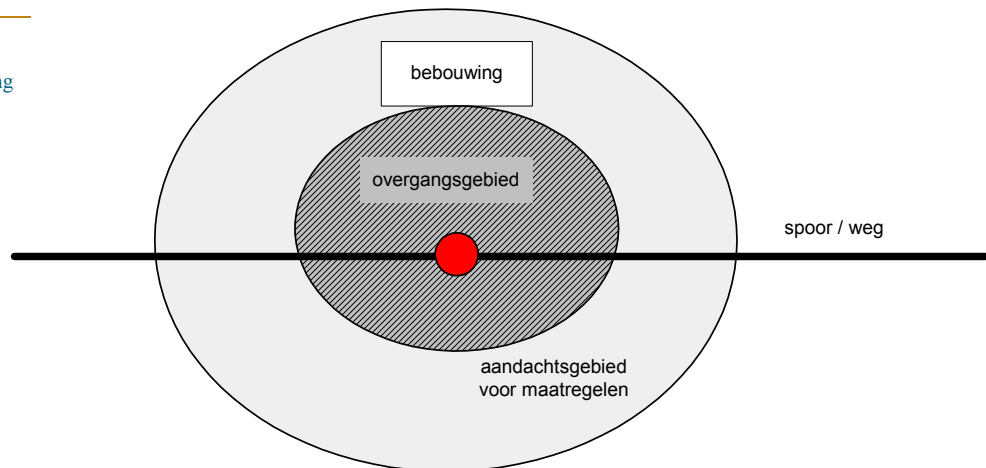
OVERZICHT VAN MAATREGELLEN

Bij de maatregelen zal worden aangegeven voor welke stofcategorie deze maatregel een reducerend effect heeft. Maatregelen die getroffen kunnen worden om de kans van optreden van een incident te reduceren, bronmaatregelen, vormen geen onderdeel van deze studie. Evenals maatregelen die getroffen kunnen worden om personen, die zich in de invloedzone van het incident bevinden, in staat te stellen tijdig een veilig heenkomen te bereiken, zelfredzaamheidsmaatregelen, worden buiten beschouwing gelaten. Tenslotte worden ook maatregelen die getroffen kunnen worden om de hulpverlening zo spoedig mogelijk te laten plaatsvinden buiten beschouwing gelaten. Wel wordt het effect van de maatregelen ten aanzien van zelfredzaamheid en/of hulpverlening kwalitatief beschouwd. De beschouwing van de afstand van toepassing, effectiviteit, kosten en invloed op zelfredzaamheid en hulpverlening van deze maatregelen vindt plaats in hoofdstuk 4.

De maatregelen worden opgesplitst in een drietal categorieën, te weten maatregelen nabij de bron, maatregelen in het tussengebied en maatregelen aan of in de bebouwing. In het figuur zijn deze verschillen weergegeven.

Figuur 3.4

Weergave locatie incident, overgangsgebied en bebouwing



In het hierboven weergegeven figuur is uitgegaan van een stilstaande bron. Bij het vervoer over de weg of het spoor is het ook mogelijk dat er sprake is van rijdende bron. In dat geval zal er in tegenstelling tot bovenstaande figuur een effect contour ontstaan. In de uitgevoerde effectanalyse is uitgegaan van een stilstaande bron omdat dit de worst-case situatie levert.

- **Maatregelen nabij de bron**

Hierbij gaat het om maatregelen welke in de directe nabijheid van de bron getroffen kunnen worden ter reductie van de effecten van een incident met gevaarlijke stoffen. Bron gerichte maatregelen vormen geen onderdeel van deze studie.

- **Maatregelen in het tussengebied**

Het tussengebied is het gebied tussen de bron en de bebouwing. Maatregelen die in dit gebied getroffen kunnen worden vallen hieronder, evenals maatregelen met betrekking tot de inrichting van het gebied tussen de bron en de bebouwing.

- **Maatregelen aan / in de bebouwing**

Hierbij wordt gekeken naar maatregelen die getroffen kunnen worden aan of in het gebouw.

Voor het verkrijgen van een overzicht van te treffen maatregelen zijn de volgende bronnen geraadpleegd:

- analyse van diverse uitgevoerde studie's, waaronder met name de volgende:
 - TNO, Veiligheidsstudie spoorzone Dordrecht / Zwijndrecht [8]
 - TNO, Toetsingskader Externe Veiligheid Spoorzone Dordrecht / Zwijndrecht [13]
 - TNO, Advies structurele veiligheidsmaatregelen railtransport gevaarlijke stoffen bij Piazza Centre [9]
 - NIBRA, Maatregelen zelfredzaamheid [11]
 - Brandweer Breda, scenario-analyse Stationskwartier Breda [12]
- informatie uit zowel de projectgroep als de expertgroep;
- expertise van ARCADIS op dit gebied.

De volgende maatregelen zullen hierna nader worden beschouwd en toegelicht:

Maatregelen nabij de bron

1. Plasbeperkende maatregelen
2. Hittewerende constructie (eventueel transparant) langs de infrastructuur
3. Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur
4. Dubbele betonnen muur langs infrastructuur
5. Aarden wal langs infrastructuur
6. Verdiept aanleggen van infrastructuur

Maatregelen in het tussengebied

7. Bouwverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur
8. Functies met een lage bezettingsgraad in de nabijheid van de infrastructuur
9. Vluchtwegen buiten gebouwen
10. Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten

Maatregelen aan / in de bebouwing

11. Hittewerende maatregelen aan het gebouw
12. Glas van het gebouw meer brandwerend
13. Het toepassen van een blinde muur
14. Watergordijn voor of langs de gevel
15. Brandcompartimentering
16. Beheersing luchtcirculatie in gebouw
17. Geen beweegbare (raam)openingen
18. Automatische afsluiting van (raam)openingen, aircó's of andere ventilatiesystemen
19. Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen
20. Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze
21. Indeling van het gebouw
22. Sprinkler systeem
23. Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan

3.2.1

MAATREGELEN NABIJ DE BRON

Begonnen wordt met een beschouwing van maatregelen welke in de directe nabijheid van de transport getroffen kunnen worden. Maatregelen welke nabij de bron getroffen kunnen worden ter reductie van de kans op een incident of reductie van de gevolgen van mogelijk incidenten vormen geen onderdeel van deze studie.

1. Plasbeperkende maatregelen	
Beschrijving	Door de aanleg van een goot of sloot, of middels de bouw van een kerende wand kan de omvang van vrijkomende vloeistoffen worden beperkt.
Werking	Maatregelen welke een vloeistof plas (toxische of brandbaar) beperken hebben een sterk reducerend effect. Bij een kleinere plas brandbare vloeistof wordt het effect van warmte straling sterk gereduceerd. Tevens kan hiermee de plas op afstand van het gebouw worden gehouden. Ook is een kleinere brand beter beheersbaar voor de hulpdiensten. Bij een plas toxische vloeistof zal de afdamping van de vloeistof sterk worden gereduceerd door het kleinere oppervlak. En kan verdere verspreiding ook worden voorkomen. In de uitgevoerde effectanalyse is zowel voor het spoor als voor de weg een tweetal plasmogroottes geanalyseerd om zo het effect hiervan inzichtelijk te maken. Voorbeelden hiervan zijn: een goot langs het spoor / weg, een gracht, rioleringssysteem (geschikt voor opvang van gevaarlijke stoffen), geluidsscherm,

	etc.
Effect	Door het opvangen van vloeistoffen worden de effecten hiervan beperkt door de reductie van het plas oppervlak. Bij brandbare vloeistoffen neemt de warmtestraling af, en bij toxische vloeistoffen de hoeveelheid toxische damp die afdampt.
Visualisatie	
Aandachtspunt	<p>Aandachtspunt bij de aanleg van een goot of sloot waarmee de omvang van vrijkomende vloeistoffen wordt beperkt is het instantaan vrijkomen. De kracht en snelheid waarmee de vloeistof vrijkomt kan ervoor zorgen dat de vloeistof over de rand heen stroomt of (erger nog) een deel van de constructie wegslaat. Als de maatregel ook bij dit scenario effectief moet zijn, moet hierbij in het ontwerp rekening mee worden gehouden (al blijft de maatregel effectief). Daarnaast kan een plasbeperkende maatregel een langere brandduur van een vloeistofplas tot gevolg hebben, waardoor een eventueel aanwezige treinwagon met tot vloeistof verdicht brandbaar gas langer aangestraald kan worden. Hiermee kan het risico op een BLEVE toenemen. Een en ander is ook afhankelijk van de mogelijkheden van de hulpverleningsdiensten om tijdig maatregelen te nemen (plas afdekken met schuim).</p> <p>Daarnaast is een aandachtspunt bij deze maatregelen de bereikbaarheid van de hulpverlening en de mogelijkheid voorzelfredzaamheid welke gehinderd kan worden door de aanwezigheid van de gracht of kerende constructie.</p>

2. Hitte werende constructie (eventueel transparant) langs de infrastructuur

Beschrijving	Door de bouw van een hittewerende constructie langs de transportas wordt de achter liggende bebouwing beschermt tegen vrijkomende warmte.
Werking	Een hittewerende constructie zal de achterliggende gebieden beschermen tegen de warmtestraling welke vrijkomt bij een brand. Gezien de hoogte van de vlammen zoals geanalyseerd in deel B, dient het voor volledig bescherming wel te gaan om een constructie van dezelfde afmeting. De muur dient gedurende circa 30 minuten voldoende weerstand te bieden tegen de brand zodat evacuatie van achter gelegen gebieden of gebouwen kan plaatsvinden (al dan niet met hulp van de brandweer). Deze maatregel heeft geen effect op de druk verschijnselen van de (warme en koude) BLEVE (zie hiervoor de maatregel welke zowel druk als warmte bestendig is). Indien er een geluidsscherm geplaatst wordt kan ook deze brandbestendig worden uitgevoerd.
Effect	Een hitte werende constructie heeft effect op brand van brandbare vloeistoffen. Brandbare gassen kunnen mogelijk leiden tot een explosie welke door deze maatregel niet worden tegen gehouden.
Visualisatie	
Aandachtspunt	Aandachtspunt hierbij is wel de bereikbaarheid van de transportas voor hulpverleningsdiensten en de mogelijkheid om te vluchten vanaf de weg / spoor. Hiervoor dienen openingen (bv. deuren)

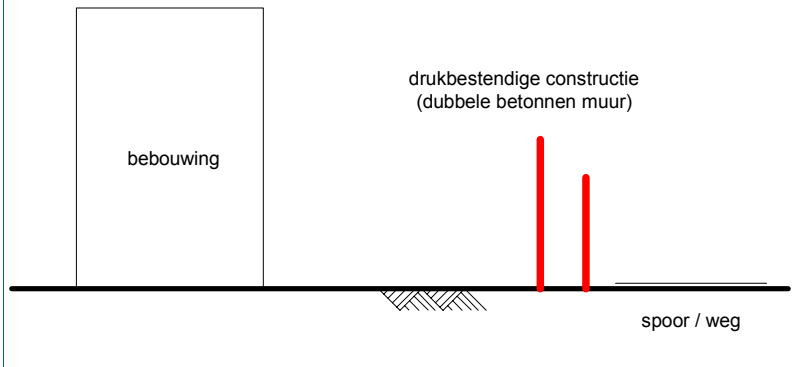
	opgenomen te worden. De hoogte van de constructie dient te worden bepaald voor de specifieke situatie.
--	---

3. Druk- en hitte werende constructie langs de infrastructuur

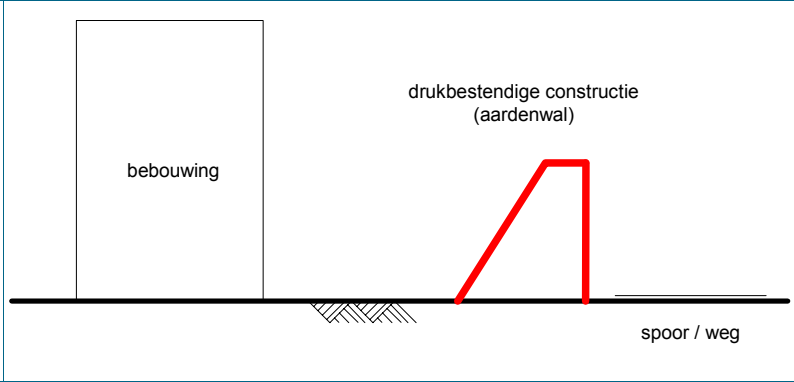
Beschrijving	Middels de bouw van een druk- en hittewerende constructie langs de infrastructuur worden gebouwen tegen beide effecten beschermt.
Werking	In tegenstelling tot de hiervoor beschreven maatregel kan deze wel de overdruk van een BLEVE opvangen. De uitvoering hiervan kan door muur, dubbele betonnen muur of een aardenwal. Deze maatregel dient het geheel aan effecten van zowel warmtestraling als overdruk tot een minimum te reduceren. Hoe groter de afstand van de bebouwing tot deze muur, des te lager is het effect. Het volledig tegenhouden van een schokgolf is vrijwel onmogelijk, en is onder meer afhankelijk de hoogte van de muur. De drukgolf zal zich over de muur heen ontwikkelen en afbuigen. Voorkomen dient te worden dat de muur brokstukken kan geven bij een explosie welke een gevaar kunnen opleveren voor de achterliggende gebieden. Indien de bebouwing vrijwel direct achter de muur staat kan worden uitgegaan van een reductie van de overdruk van circa 80% [8]. Ten aanzien van de vereiste dikte van de te plaatsen muur kan het volgende gezegd worden. Indien de afstand 17 meter bedraagt dient een betonnen muur met een hoogte van 10 meter circa 100 cm dik te zijn, op een afstand van 35 meter dient deze circa 40cm dik te zijn [8].
Effect	In tegenstelling tot de hiervoor besproken maatregel, kan deze maatregelen wel overdruk weerstaan. Hierdoor is deze maatregelen effectief bij zowel branden van brandbare gassen als brandbare vloeistoffen.
Visualisatie	
Aandachtspunt	Bij deze maatregel dient rekening te worden gehouden met de toegankelijkheid van de hulpverlening bij een incident op de transport-as en de mogelijkheid om te vluchten van personen vanaf het spoor/ de weg. Hiervoor dienen openingen (gaten / deuren / verspringen) te worden opgenomen in de constructie. Daarnaast dient er bij het bepalen van de hoogte rekening mee te worden gehouden dat de vuurbal zich op enige hoogte van de grond bevindt.

4. Dubbele betonnen muur

Beschrijving	Middels de bouw van twee betonnen muren langs de infrastructuur worden gebouwen tegen zowel de effecten van druk als van warmte beschermt.
Werking	Een mogelijkheid is om in plaats van één muur twee muren te plaatsen waarbij de achterste muur hoger is als de voorste. Hiermee zal de drukgolf beter over de bebouwing geleid worden en kan de tweede muur mogelijke brokstukken van de eerste muur opvangen.
Effect	Deze maatregelen kan zowel wel overdruk als warmte straling, hierdoor is deze maatregelen effectief bij zowel branden van brandbare gassen als brandbare vloeistoffen.
Visualisatie	

	
<p>Aandachtspunt</p>	<p>Bij deze maatregel dient rekening te worden gehouden met de toegankelijkheid van de hulpverlening tot een incident op de transport-as en de mogelijkheid om te vluchten van personen vanaf het spoor/ de weg. Hiervoor dienen openingen (gaten / deuren / verspringen) te worden opgenomen in de constructie.</p> <p>Daarnaast dient er bij het bepalen van de hoogte rekening mee te worden gehouden dat de vuurbal zich op enige hoogte van de grond bevindt.</p>

5. Aarden wal

<p>Beschrijving</p>	<p>Middels de aanleg van een aardenwal langs de infrastructuur worden achterliggende gebouwen tegen zowel de effecten van druk als van warmte beschermt.</p>
<p>Werking</p>	<p>Een andere mogelijkheid is het achter de betonnen muur aanleggen van een aarden wal. Deze zorgt voor meer massa waardoor de drukeffecten beter opgevangen kunnen worden. Daarnaast wordt hiermee de kans op gevaarlijke brokstukken van de muur gereduceerd. Ten aanzien van de effectiviteit van deze maatregel varieert de reductie van de overdruk tussen 0 en 90%. Deze is sterk afhankelijk van de afstand van de bebouwing tot de wal.</p>
<p>Effect</p>	<p>Deze maatregelen kan zowel wel overdruk als warmte straling, hierdoor is deze maatregelen effectief bij zowel branden van brandbare gassen als brandbare vloeistoffen.</p>
<p>Visualisatie</p>	
<p>Aandachtspunt</p>	<p>Bij deze maatregel dient rekening te worden gehouden met de toegankelijkheid van de hulpverlening tot een incident op de transport-as en de mogelijkheid om te vluchten van personen vanaf het spoor/ de weg. Hiervoor dienen openingen (gaten / deuren / verspringen) te worden opgenomen in de constructie.</p> <p>Daarnaast dient er bij het bepalen van de hoogte rekening mee te worden gehouden dat de vuurbal zich op enige hoogte van de grond bevindt.</p>

6. Verdiept aanleggen van weg / spoorweg

<p>Beschrijving</p>	<p>Door het verdiept aanleggen van infrastructuur worden de negatieve effecten hiervan zoals oa. de geluidsoverlast en de barrière werking verminderd. Ook enkele effecten van gevaarlijke stoffen worden beperkt, oa. bij het vrijkomen van toxische gassen zwaarder dan lucht (al wordt dit effect verwaarloosd bij het vrijkomen van grote hoeveelheden).</p>
<p>Werking</p>	<p>Door het verdiept aanleggen van infrastructuur is direct aanstraling door een brand minder mogelijk. Bij het vrijkomen van vloeistoffen (toxische of brandbaar) is het goed mogelijk deze op te</p>

	vangen zodat de effecten hiervan beperkt blijven.
Effect	Het verdiept aanleggen van infrastructuur heeft enkel effect op toxische vloeistoffen of brandbare vloeistoffen.
Aandachtspunt	Aandachtspunt bij het verdiept aanleggen van een spoorweg is dat hiermee de mogelijkheden voor de hulpverleningsdiensten om op te kunnen treden worden bemoeilijkt. Het gaat hierbij zowel om het eventueel redden van aanwezige slachtoffers als om de bronbestrijding van het incident. Daarnaast dient bij het verdiept aanleggen ook rekening te worden gehouden met de zelfredzaamheid vanuit de verdiepte ligging.

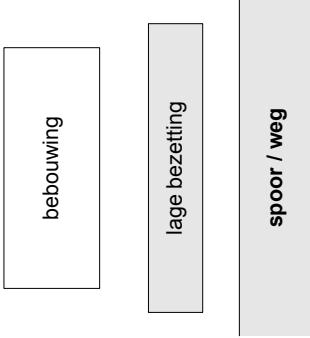
3.2.2

MAATREGELEN IN HET TUSSENGEBIED

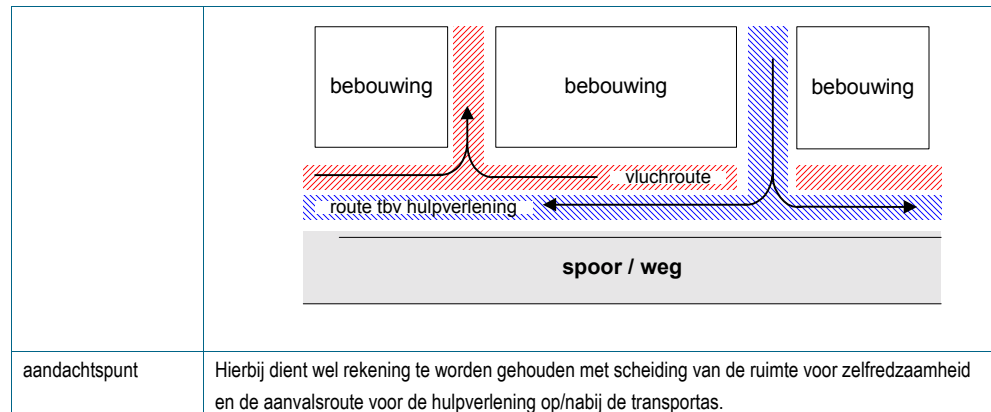
Naast de hiervoor beschreven maatregelen die getroffen kunnen worden in de directe nabijheid van de transportas wordt hier ingegaan op de maatregelen welke getroffen kunnen worden in het gebied tussen infrastructuur en gebouw, het tussengebied (oa. maatregelen mbt ruimtelijke inrichting).

7. Bouwverbod binnen bepaalde afstand van infrastructuur	
Beschrijving	Middels een berekening het weergeven van een zone waar binnen wettelijk geen bebouwing mag plaatsvinden in verband met overschrijding van de wettelijke norm.
Werking	Binnen de contour van het plaatsgebonden risico (PR) mag geen bebouwing plaatsvinden. Echter deze contour is afhankelijk van de hoeveelheid vervoerde gevaarlijke stoffen en kan dus alleen per specifiek geval worden bepaald.
Effect	Bij het berekenen van de PR-contour worden de effecten van alle gevaarlijke stoffen meegenomen welke vervoerd worden over de transportas. Hierdoor is deze maatregel effectief voor alle stofsoorten.
Visualisatie	

Aandachtspunt	De wettelijke vastgelegde normering dient in elk geval in acht te worden genomen bij de realisatie van nieuwe plannen.
---------------	--

8. Functie met lage bezettingsgraad in de nabijheid van infrastructuur	
Beschrijving	Door het bouwen van gebouwen met een lage bezettingsgraad worden de daar achter liggende gebouwen beschermd.
Werking	Door het realiseren van bestemmingen met een lage bezettingsgraad in de nabijheid van het spoor kan bij een incident het aantal slachtoffers worden beperkt. Dit is zowel het geval bij brand en explosie als bij het vrijkomen van toxische gassen. Tevens zal dit gebouw bij brand of explosie een sterk effect reducerend effect hebben op het achterliggende gebied.
Effect	Deze maatregel heeft effect op alle soorten van effecten door de afscherpende werking van tussen gelegen bebouwing.
Visualisatie	 <p>The diagram consists of three vertical rectangular bars of increasing height from left to right. The first bar is white with a black outline and is labeled 'bebouwing'. The second bar is grey and labeled 'lage bezetting'. The third bar is also grey and labeled 'spoor / weg'.</p>
aandachtspunt	De lage bezetting kan ook worden gerealiseerd door een lage bezetting in de tijd (bv. kantoren waar alleen overdag mensen aanwezig zijn) in tegenstelling tot woningen waar gedurende de gehele dag mensen verblijven. Bij de lage bezetting dient wel rekening te worden gehouden met de kwetsbaarheid van de aanwezigen. Bij het toepassen van deze maatregelen dienen wel mogelijkheden op genomen te worden voor zelfredzaamheid en hulpverlening (bv. door het aanbrengen van 'gaten' in de bebouwing).

9. Vluchtwegen buiten gebouwen	
Beschrijving	Bij de inrichting van een gebied rekening houden met mogelijkheden voor zelfredzaamheid en hulpverlening.
Werking	Door het effectief ontwerpen van de vluchtwegen kan de zelfredzaamheid en de mogelijkheid tot hulpverlening in geval van een incident worden vergroot. Bij de routing van vluchtwegen wordt ervan uitgegaan dat vluchten in twee richtingen mogelijk is, zodat er bij een blokkade van één van de vluchtrichtingen nog een mogelijkheid is. Hierdoor is het mogelijk voor in het gebouw aanwezigen bij een brand op het spoor in de andere richting te ontruimen. Ontruiming is wettelijk verplicht binnen een halfuur (wellicht is ontruiming van bedreigde delen in kortere tijd mogelijk). Aangezien de snelle ontwikkeling van een brand is de effectiviteit van de maatregel beperkt. Van groot belang is wel dat deze vluchtwegen zoals deze zijn ontworpen dienen tijdens de exploitatie fase ook vrijgehouden te worden.
Effect	Vluchtwegen hebben een positief effect op zelfredzaamheid en hulpverlening, en zal bij alle incidenten een positief effect hebben. Bij een explosie kan de situatie echter snel kritiek worden waardoor vluchten niet meer mogelijk is. Bij blootstelling aan een toxische damp is het mogelijk niet direct duidelijk dat het om een toxische damp gaat waardoor alarmering van personen ook een belangrijke rol speelt.
Visualisatie	



aandachtspunt Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met scheiding van de ruimte voor zelfredzaamheid en de aanvalsroute voor de hulpverlening op/nabij de transportas.

10. Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten

Beschrijving	Gebouwen op een wijze ontwerpen zodat een drukgolf langs het gebouw wordt geleid.
Werking	Het reduceren van de effecten van de drukgolf kan door het toepassen van een hiervoor geschikt ontwerp. Door dit toe te passen kan de drukgolf langs het gebouw worden geleid, hierdoor wordt de schade aan het gebouw beperkt. Echter, dit is niet mogelijk direct langs het spoor of weg gezien de hoge overdruk. Daarnaast dient de gevel op de te verwachten overdruk te worden gedimensioneerd.
Effect	Deze maatregel heeft effect om ontstane drukgolven af te leiden, daardoor heeft het alleen effect bij brandbare gassen.
Visualisatie	
Aandachtspunt	Bij deze maatregel dient wel te worden opgemerkt dat de effecten uit verschillende richtingen kunnen komen.

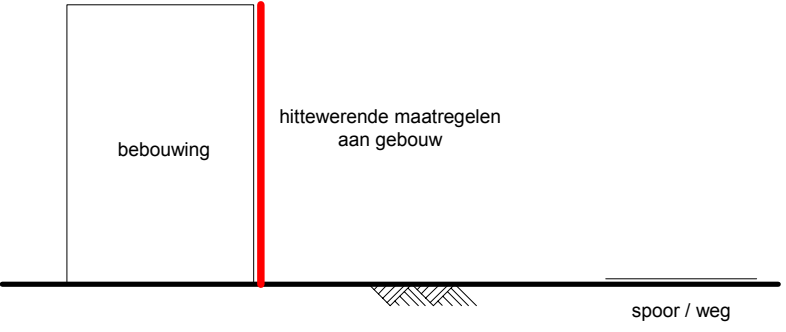
3.2.3

MAATREGELEN AAN / IN DE BEBOUWING

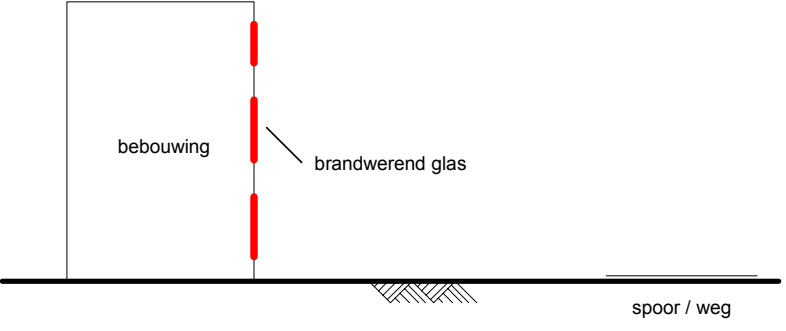
Tot slot een overzicht van maatregelen welke in of aan het gebouw getroffen kunnen worden.

11. Hittewerende maatregelen aan het gebouw

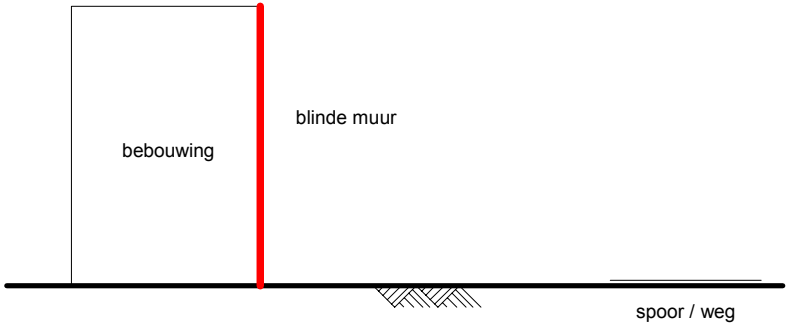
Beschrijving	Door het aanbrengen van hittewerende bekleding worden personen in gebouwen beschermd tegen de warmtestraling die vrijkomt bij branden.
Werking	Uitgangspunt bij deze maatregelen is dat er bij het optreden van een ongeval er geen problemen (door brandoverslag) zullen ontstaan in of aan het gebouw voor een tijdsduur waarbij het voor de aanwezigen in het gebouw mogelijk is om te vluchten. De hittewerende maatregelen kunnen als volgt worden toegepast: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hittewerende transparante constructie tegen het gebouw ▪ Het toepassen van hittewerend glas (zie volgende maatregel)
Effect	Hittewerende maatregelen hebben betrekking op ongevallen met brandbare gassen en vloeistoffen.

	Deze mate van brandwerendheid van deze maatregelen is afhankelijk van de afstand waarop de maatregel wordt toegepast. Hoe dichterbij de infrastructuur hoe groter de brandwerendheid dient te zijn. Afhankelijk van deze afstand en het type brand (afhankelijk van het type brandbare stof dat vervoert wordt) dient te worden bepaald welke mate van brandwerendheid vereist is.
visualisatie	
Aandachtspunt	Aandachtspunt bij hittewerende bekleding is dat rekening gehouden moet worden met de richting vanwaar de calamiteit vandaan komt. Daarnaast dient de gevel integraal beschouwd te worden, alle onderdelen dienen brandwerend te worden uitgevoerd.

12. Glas van het gebouw meer brandwerend

Beschrijving	Door het aanbrengen van glas met een hogere brandwerendheid worden de personen in het gebouw langer beschermd en hebben meer tijd voor de ontruiming.
Werking	"Normaal" float glas heeft een brandwerendheid van ca. 3 - 5 minuten. Om te komen tot een brandwerendheid van 30 of 60 minuten zullen speciale glassoorten moeten worden toegepast: gecoat, gehard, gelaagd (met opschuimende interlayers), etc. Er is zelfs glas beschikbaar tot brandwerendheden van > 2 uur.
Effect	Hittewerende maatregelen hebben betrekking op ongevallen met brandbare vloeistoffen. Deze mate van brandwerendheid is afhankelijk van de afstand waarop de maatregel wordt toegepast. Hoe dichterbij de infrastructuur hoe groter de brandwerendheid dient te zijn. Afhankelijk van deze afstand en het type brand (afhankelijk van het type brandbare stof dat vervoert wordt) dient te worden bepaald welke mate van brandwerendheid vereist is.
visualisatie	
Aandachtspunt	Door het toepassen van brandwerend glas zal de tijd om te vluchten worden verlengd, vluchten blijft echter wel noodzakelijk. Ook hiermee dient rekening te worden gehouden. Bij het toepassen van kleinere ramen wordt de brandwerendheid nog verder vergroot. Bij het toepassen van brandwerendglas dient ook het kozijn (en de overige gevel elementen brandwerend te worden uitgevoerd.

13. Het toepassen van een blinde muur

Beschrijving	Aanwezigen in gebouwen kunnen beschermd worden tegen de warmtestraling door het toepassen van een "blinde-muur" aan de spoor zijde. Hieronder wordt een muur verstaan die totaal is uitgevoerd in steen, beton of een ander brandbestendig materiaal (zonder ramen en openingen of brand gevoelige materialen).
Werking	Door het toepassen van brandbestendige (voor bepaalde tijd) materialen wordt de situatie in gebouwen voor aanwezigen gedurende deze tijd niet kritiek. Hierbij is het van belang dat het constructiemateriaal sterk genoeg is om de optredende hitte en/of druk te weerstaan. Het toepassen hiervan zal in combinatie met een functionele indeling van het gebouw moeten zijn, aangezien niet alle functies aan een blinde muur kunnen grenzen. Het betreft hier een maatregel met grote consequenties voor de indeling en architectonische uitstraling van het gebouw. Afhankelijk van de afstand van het gebouw tot de transport dient bepaald te worden tot op welke hoogte schadelijke effecten aan de bebouwing zijn te verwachten. Dit kan op basis van de analyse van deel A.
Effect	Het toepassen van een blinde muur heeft effect op incidenten met brandbare gassen en vloeistoffen. Tevens kan een blinde muur een vertragend effect hebben bij het vrijkomen van toxische gassen doordat deze minder snel in het gebouw komen.
visualisatie	 <p>The diagram illustrates a cross-section of a building labeled 'bebouwing' on the left. To its right is a vertical red line labeled 'blinde muur'. Below these elements is a horizontal line representing the ground level, labeled 'spoor / weg' on the right. A hatched area below the ground line indicates the railway or road structure.</p>
Aandachtspunt	Het toepassen van een blinde muur in een pand kan vanuit architectonisch oogpunt niet gewenst zijn. Daarnaast dient hierbij rekening gehouden te worden met de ARBO eisen mbt daglicht toetreding in kantoren / verblijfsruimten (deze maatregel kan dus worden toegepast in combinatie met indelen van het gebouw).

14. Watergordijn voor of langs de gevel

Beschrijving	Door het toepassen van een watergordijn dat langs de gevel stroomt van een gebouw is het mogelijk de warmtestraling die optreedt op de gevel te reduceren. Hierdoor blijft de situatie in het gebouw voor de aanwezigen daar voor langere tijd niet-kritiek waardoor vluchten mogelijk is.
Werking	Het water dat langs de gevel stroomt bij een brand heeft een reducerend effect op de warmte doordat de warmte wordt opgenomen door het stromende water en zo niet de gevel bereikt. Afhankelijk van de te verwachten warmte straling (afhankelijk van de afstand tot de brand en het type brand) dient de dikte en snelheid van de waterfilm bepaald te worden. Hoe meer water er langs de gevel stroomt hoe groter de capaciteit om warmte af te voeren (is afhankelijk van de dikte van de laag en de snelheid). Bij een warmte straling van 52 kW/m ² kan een waterfilm van 1 cm dikte en een snelheid van 1,0 m/s zorgen voor voldoende afvoer van warmtestraling [9]. Deze waterfilm kan tegen of voor de gevel worden toegepast. Bij een waterfilm enige afstand voor het gebouw heeft een groter effect door de isolerende werking van de tussengelegen lucht.
Effect	Het toepassen van een waterfilm heeft effect op incidenten met brandbare gassen en vloeistoffen.

Visualisatie	
Aandachtspunt	Bij het toepassen van deze maatregel dient de capaciteit te worden vastgesteld. Eveneens dient bepaald te worden of het om een continu gordijn gaat of dat deze alleen wordt ingeschakeld bij calamiteiten.

15. Brandcompartimentering

Beschrijving	Brandcompartimentering kan worden toegepast op overslag van de brand naar aangrenzende bebouwing te voorkomen.
Werking	Doordat de compartimenten middels brandwerende voorziening aan elkaar verbonden zijn, zal brand niet overslaan, of in elk geval vertraagd. Hierdoor zal de brand slechts plaatselijke effecten hebben, maar de effectiviteit van de maatregel zal nooit 100% zijn. De vluchtijd voor aanwezigen wordt met de maatregel sterk verlengd.
Effect	Deze maatregel heeft invloed op de effecten bij incidenten met brandbare gassen en brandbare vloeistoffen.

16. Beheersing luchtcirculatie

Beschrijving	Door het kunnen beheersen van de in het gebouw aanwezige luchtcirculatie kan deze circulatie in het geval van een incident worden gereguleerd. Hiermee kan de inlaat van toxische damp in het gebouw worden beperkt.
Werking	<p>Door de aanzuiging van lucht bij het vrijkomen van toxische damp te reguleren zal de inlaat van toxische gassen in het gebouw worden beperkt. Hiermee zal een vermindering van de concentratie binnen tov. buiten kunnen worden gerealiseerd. Het geheel buiten sluiten van toxische gassen en dampen is zeer complex daar niet alle damp via ventilatiesystemen binnen komt. Toxische damp kan ook in gebouwen komen door openingen in de constructie. Er wordt een onderscheid gemaakt in de volgende twee:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ventilatie in het gebouw, door het toepassen van ventilatie in het gebouw kan er ingeval van toxische gassen de atmosfeer in het gebouw tot op zekere hoogte op peil worden gehouden; ▪ Luchtzuiveringsinstallatie plaatsen voor inlaat ventilatiesystemen gebouwen wordt als niet effectief beschouwd. <p>Bij 'open-gebouwen' zal het niet mogelijk zijn om de luchtcirculatie volledig te beheersen en daarmee de aanwezige te beschermen tegen de vrijgekomen toxische gassen. Bij hoogbouw dient de aanzuiging van lucht aan de bovenkant plaats te vinden zodat bij een toxische wolk (zwaarder dan lucht) de aanzuiging boven de toxische wolk plaats vind.</p>
Effect	Beheersing van de luchtcirculatie heeft effect op incidenten waarbij toxische gassen vrijkomen (direct of indirect door afdampen van een toxische vloeistof).
Aandachtspunt	Bij het toepassen van deze maatregel is snelle detectie van het vrijkomen van toxische gassen van belang en een daaraan gekoppelde beheersing van de luchtcirculatie.

17. Geen beweegbare (raam)openingen

Beschrijving	Door het niet toepassen van beweegbare ramen (en het niet toepassen van deuren) kunnen gassen minder eenvoudig het gebouw binnen komen.
Werking	Bij het vrijkomen van toxische gassen kunnen deze eenvoudig het gebouw binnen komen via openstaande ramen. Door er voor te zorgen dat ramen (en deuren) niet open kunnen, kunnen gassen minder eenvoudig het gebouw binnen komen. Deze maatregel zal een reducerend effect hebben, maar kan het niet totaal wegnemen doordat de gassen ook via andere openingen het gebouw kunnen binnenkomen. De meeste winst wordt hierbij geboekt bij toepassing van de maatregel aan de zijde van de transportas, maar toxische damp zal zich ook rond het gebouw verspreiden. Waardoor inlaat ook aan de zij- en voorkant kan plaatsvinden. Het voordeel van deze maatregel ten opzichte van de maatregel hierna (automatische sluiting van ramen en deuren) is dat deze direct en altijd werkt.
Effect	Deze maatregel heeft effect op incidenten waarbij toxische gassen vrijkomen (direct of indirect door afdampen van een toxische vloeistof).

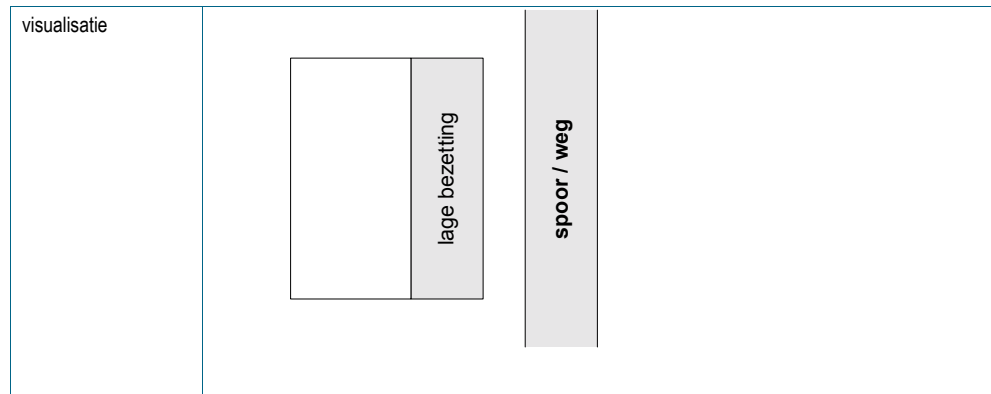
18. Automatische afsluiting van (raam en deur) openingen, airco's of ventilatiesystemen

Beschrijving	Het voorzien van alle openingen en ventilatiesystemen van automatische afsluiting kan er voor zorgen dat gassen van buiten minder eenvoudig en minder snel binnen komen.
Werking	Door het automatische (laten) sluiten van (raam)opening(en) of voorzieningen van airco's of andere ventilatiesystemen kan de inlaat van toxische gassen in het gebouw sterk worden gereduceerd. Hierbij is het snelle detectie van de noodzaak van groot belang. En met name bij het vrijkomen van toxische gassen, waarbij niet direct duidelijk is dat het toxische gassen betreft vormt dit een probleem. Aangezien de verschillende stoffen weer andere detectiemethoden hebben, is automatische detectie niet mogelijk. Snelle alarmering en het sluiten van de openingen is dan ook van groot belang. Bij open-gebouwen is het waarschijnlijk niet goed mogelijk om volledige bescherming te bieden tegen toxische gassen door het afsluiten van ramen / airco's of ventilatiesystemen.
Effect	Deze maatregel heeft effect op incidenten waarbij toxische gassen vrijkomen (direct of indirect door afdampen van een toxische vloeistof). Bij branden heeft het sluiten van ramen en openingen het voordeel dat brandoverslag minder snel plaats vindt.
Aandachtspunt	Het toepassen van deze maatregelen dient te gebeuren in combinatie met detectie van gassen. Voor het vertragen van de tijd van inlaat van de toxische damp dient de luchtinlaat niet aan de zijde te zitten van de transportas waardoor de inname tijd wordt vertraagd.

19. Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen	
Beschrijving	Bouwtechnische oplossingen waarmee de drukeffecten opgevangen kunnen worden en op deze manier schade als gevolg van overdruk beperkt kan worden.
Werking	De energie van een explosie kan bijvoorbeeld opgevangen worden door bepaalde constructie onderdelen te laten bezwijken, zodat de hoofdconstructie beschermd wordt. Het explosiebestendig ontwerpen is over het algemeen relatief duur. Volledig bescherming van de hoofdconstructie is op korte afstand moeilijk, maar kan wel de effecten sterk reduceren. Daarnaast kan er met constructieve maatregelen de weerstand verhoogd worden tegen de bij een explosie vrijkomende krachten.
Effect	Indien de mogelijkheid is dat er een explosie optreedt, dit is het geval bij brandbare gasen en brandbare vloeistoffen.
aandachtspunt	Bij het ontwerpen van de constructie dient er rekening mee gehouden te worden dat bij één van de onderdelen van de constructie niet de totale constructie bezwijkt.

20. Rekening houden met drukeffecten in materiaalkeuze	
Beschrijving	Bij (de uitwerking van) het ontwerp van het gebouw kan rekening worden gehouden met druk effecten om op deze manier schade als gevolg van overdruk te beperken.
Werking	<p>Door sterke materialen toe te passen kan de schade aan de bebouwing worden beperkt en kan er dichter langs de infrastructuur worden gebouwd. Daarbij kan onder andere worden gedacht aan explosie bestendig glas of bij de sterkte berekening van de constructie hiermee rekening houden. Hierbij geldt dat de belasting afhankelijk is van de afstand waarop de maatregel wordt toegepast. Het explosiebestendig ontwerpen is over het algemeen relatief duur en leidt tot een grotere constructiedikten. Volledig bescherming is op korte afstand moeilijk, maar kan wel de effecten sterk reduceren. Daarnaast is ook het minimaliseren van gevelornamenten en verankeren van gevelbeplating een maatregelen om rondvliegende stukken te voorkomen in geval van een explosie.</p> <p>Indien glas wordt toegepast gaat het om gelaagd glas (2 of 3 lagen) dat een maximale overdruk van ca. 2 bar kan opnemen. Dit is echter sterk afhankelijk van het tijdsverloop van de overdruk, de wijze van ondersteuning van het glas, de afmetingen van het glas en verder de afmetingen van het gebouw, omdat de overdruk dat zich opbouwt bij een gebouw sterk afhankelijk is van oa. de afmetingen van het gebouw zelf.</p> <p>Bij het toepassen van explosiebestendig glas dient ook de rest van de gevel en constructie te worden ontworpen op deze overdruk. De kosten van deze maatregelen zijn relatief hoog maar het betreft wel een effectieve maatregel [8].</p>
Effect	Overdruk bestendige materialen is noodzakelijk indien er de mogelijkheid is dat er een explosie optreedt, dit is het geval bij brandbare gasen en brandbare vloeistoffen.

21. Indeling van het gebouw	
Beschrijving	Bij het ontwerp kan het gebouw op een wijze worden ingericht waarbij aan de kant van het spoor / weg weinig mensen in het gebouw verblijven.
Werking	Door bij de indeling van gebouwen rekening te houden dat functies met lage personendichtheid zich aan de zijde van de infrastructuur bevinden is het effect van een incident op aanwezig in het gebouw minder doordat de kans op veel slachtoffers kleiner is (voorbeelden hiervan zijn de bibliotheek, het archief, etc.).
Effect	Deze maatregel is voornamelijk effectief bij branden, maar zal ook bij het vrijkomen van toxische gasen een reducerend effect hebben.



22. Sprinkler systeem	
Beschrijving	Het installeren van een sprinklersysteem in gebouwen.
Werking	Door het toepassen van een sprinklerinstallatie in een gebouw wordt een brand beperkt in de ontwikkeling en kan minder eenvoudig overslaan. Daarnaast wordt de zelfredzaamheid voor personen door het vertragende en reducerende effect van de sprinkler sterk vergroot.
Effect	Deze maatregel heeft effect op branden die kunnen ontstaan bij incidenten met brandbare gassen of brandbare vloeistoffen.

23. Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan	
Beschrijving	Het vergroten van de zelfredzaamheid van de in gebouwen aanwezige personen kan door het snel alarmeren van de personen en te zorgen voor een goed ontruimingsplan (waar iedereen van op de hoogte is).
Werking	<p>Door de alarmering en communicatie met betrekking tot ontruiming te verbeteren zal het evacuatie processnel verlopen. Dit heeft een positief effect op de zelfredzaamheid en geeft daarmee een reductie van het aantal te verwachten slachtoffers. Van groot belang hierbij is de snelheid van alarmering. In geval van een incident met brandbare vloeistoffen of brandbare gassen zal bij een brand vrijwel direct de ernst van de situatie duidelijk zijn. Bij het vrijkomen van toxische gassen is dit veel moeilijker. Op het moment dat bekend is dat er sprake is van toxische gassen is het mogelijk te laat voor evacuatie en ontruiming.</p> <p>Door middel van een goed ontruimingsplan, goed getraind personeel (in geval van bedrijven), heldere instructies kan een ontruiming aanzienlijk sneller verlopen. Gezien de snelle ontwikkeling van enkele scenario's is een snelle ontruiming van groot belang</p>
Effect	Een goed ontruimingsplan heeft invloed op alle mogelijk scenario's waarbij voor personen kritieke omstandigheden kunnen ontstaan. Voor een snelle ontruiming is snelle alarmering van groot belang. Bij een brand is de ernst voor de aanwezigen direct duidelijk, bij het vrijkomen van een toxische damp dienen personen te worden ingelicht over de noodzaak tot ontruiming.
Aandachtspunt	Bij het vrijkomen van toxische gassen is toetreding van de hulpdiensten afhankelijk van de toxiciteit, als deze te hoog is zullen zij het gebied niet in gaan, en zullen zelf moeten vluchten (zelfredzaamheid).

HOOFDSTUK

4 Effectiviteit en haalbaarheid

4.1INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de effectiviteit van de maatregelen is op de mogelijke ongevalsscenario's en geanalyseerde effecten daarbij. Aan de hand van het hieruit voortkomende overzicht is het mogelijk te zien op welke afstand, welke maatregelen getroffen kunnen worden. Hierbij is per maatregel aangegeven op welke incidenten (met welke stofcategorie) de maatregel gericht is, wat de effectiviteit is en wat de haalbaarheid is.

4.2OVERZICHT VAN MAATREGELEN

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de maatregelen op de infrastructuur met de effectiviteit en de kosten. Hiertoe is een overzicht gegeven van alle maatregelen, waarnaast er per stofcategorie is weergegeven wat de invloed van de maatregel is.

Toelichting op de tabel per kolom:

- **Maatregel:** De beschrijving en werking van de maatregelen is zoals beschreven in hoofdstuk 3, hierbij is dezelfde nummering en indeling aangehouden als in hoofdstuk 3.
- **Afstand:** In de kolom 'afstand' is de afstand opgenomen die zonder het treffen van maatregelen voor aanwezigen in gebouwen kritiek wordt. Deze zijn bepaald aan de hand van de uitgevoerde effecten analyse. Hierbij is uitgegaan van effecten uit het groene boek [CPR 16E] zoals die optreden bij warmtestraling, overdruk of toxische gassen. Bij grotere afstand van de bebouwing tot de transportas is het treffen van maatregelen niet noodzakelijk door het geringe effect. Indien de maatregelen geen reducerend effect heeft bij de betreffende stofcategorie is er 'nvt' opgenomen. Voor de verschillende effecten worden de volgende afstanden gehanteerd:

Warmtestraling

Voor het bepalen van de maximaal toelaatbare warmtestraling is de waarde aangenomen waarbij normale ruiten breken. Indien deze waarde wordt overschreden neemt de kans op brandoverslag op het gebouw toe. Hierdoor zal de situatie voor aanwezigen in gebouwen snel kritiek worden. Voor normaal glas geldt een maximale stralingswarmte van 4 kW/m² [PGS 1, deel 1B]. Deze waarde wordt in deze studie aangehouden voor het bepalen van de afstand tot waar maatregelen moeten worden toegepast.

Overdruk

Met betrekking tot overdruk wordt eveneens uitgegaan van de druk waarbij ruiten breken. De drukbestendigheid van 'normaal glas' is vrij laag. Bij nieuwbouwwoningen en -kantoren wordt als ondergrens voor ruitbruik een waarde van 2 kPa aangehouden en een gemiddelde waarde van 5 kPa [PGS 1, deel 2B]. Voor het vaststellen van de afstand tot waartoe maatregelen getroffen moeten worden wordt in deze studie uitgegaan van de overdruk van 3,5 kPa, de overdruk waarbij de lichte schade optreedt [10].

Toxiciteit

Ten aanzien van toxische gassen wordt de 1% letaliteitswaarde aan gehouden. Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan een toxisch gas de letaliteit een factor 0,1 lager is dan voor de berekende waarden buiten [CPR 16E]. Daarmee komt de gekozen grenswaarde overeen met de 10% letaliteitsgrens voor buiten.

Voor de weergegeven afstand wordt verwezen naar de tabel in paragraaf 2.5 voor de onderbouwing van de analyse wordt verwezen naar de hoofdstuk en 6 tot en met 10.

- **Effectiviteit:** Hierbij wordt het effect van de maatregel op de geanalyseerde effecten kwalitatief beoordeeld. Dit wordt uitgedrukt in waarden van '---' via '0' naar '+++', waarbij de boordeling relatief is ten opzicht van de andere maatregelen.
- **Kosten:** Bij de beschouwing van de kosten van de maatregelen zijn de kosten van de maatregelen zelf beschouwd op kwalitatieve wijze. Indirecte kosten of verlies van opbrengsten zijn hierbij niet meegenomen daar deze zeer situatie specifiek zijn.
- **Zelfredzaamheid + hulpverlening:** Bij deze beide aspecten worden de maatregelen beoordeeld op de invloed op zelfredzaamheid en hulpverlening. De kwalitatieve beoordeling vindt plaats ten opzichte van elkaar en wordt weergegeven in waarden van '---' via '0' naar '+++'.
- **Opmerkingen:** hier worden specifieke opmerkingen geplaatst voor de maatregel bij het betreffende scenario.
- **Juridische haalbaarheid:** In hoofdstuk 5 is een overzicht opgenomen van de mogelijkheid tot juridische afdwingbaarheid van de maatregelen.

4.3**MAATREGELLEN**

In de hierna volgende vier tabellen zijn de maatregelen beschouwd en beoordeeld.

4.3.1

MAATREGELEN BRANDBARE GASSEN

Stofcategorie A: Brandbare gassen			Afstand spoor	Afstand weg	Effectiviteit	Zelfredzaamheid	Hulpverlening	Kosten	Opmerkingen
Maatregel									
Bron	1	Plasbeperkende maatregelen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare gassen
	2	Hittewerende constructie langs de infrastructuur	Nvt						Niet effectief voor explosie
	3	Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur	210	160	++	+	+		Sterkte afhankelijk van locatie tov spoorbaan
	4	Dubbele betonnen muur langs infrastructuur	210	160	+++	++	++	-	Sterkte afhankelijk van locatie tov spoorbaan
	5	Aarden wal langs infrastructuur	210	160	+++	++	++	-	veel ruimte beslag (=hoge kosten ivm grondprijs)
	6	Verdiept aanleggen van infrastructuur	210	160	+	++	++	---	
Tussen-gebied	7	Bouwverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur	210	160	++	++	++	-	Veel niet-bebouwbare ruimte
	8	Funcies met een lage bezettingsgraad nabij de infrastructuur	210	160	+	+	+	-	
	9	Vluchtwegen buiten gebouwen	210	160	+	++	++	-	
	10	Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten	210	160	+	+	+	-	Toepassen in combinatie met hittebestendige bekleding
Bouwkundig	11	Hittewerende maatregelen aan het gebouw	Nvt						Niet geschikt omdat ook drukbestendigheid vereist is.
	12	Glas van het gebouw meer brandwerend	Nvt						Niet bestand tegen overdruk
	13	Het toepassen van een (deels) blinde muur	210	160	++	+	+	0	Mogelijk strijdig met voorschrift mbt daglicht, alleen effectief indien voldoende tijd voor bereiken 'safe haven'.
	14	Watergordijn voor of langs de gevel	Nvt						Niet effectief voor explosie
	15	Brandcompartimentering	210	160	+	++	+	--	
	16	Beheersing luchtcirculatie in gebouw	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare gassen
	17	Geen beweegbare (raam)openingen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare gassen
	18	Automatische afsluiting van openingen of ventilatiesystemen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare gassen
	19	Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen	210	160	+	+	+	-	In combinatie met verhoogde brandbestendigheid
	20	Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze	210	160	+	+	+	-	Materialen druk- en hittebestendig, rekening houden met samenhang van verschillende delen.
	21	Indeling van het gebouw	210	160	+	+	+	-	Creëren van afschermend deel of 'safe havens' in gebouw
	22	Sprinkler systeem	210	160	+	++	++	--	
	23	Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan	210	160	+	++	+	0	

4.3.2

MAATREGELEN TOXISCHE GASSEN

Stofcategorie B2: Toxische gassen (voorbeeldstof = ammoniak)										
	Maatregel	Afstand spoor		Effectiviteit	Zelfredzaamheid	Hulpverlening	Kosten	Opmerkingen		
Bron	1	Plasbeperkende maatregelen		Nvt				Maatregel niet geschikt voor toxische gassen		
	2	Hittewerende constructie langs de infrastructuur		Nvt				Maatregel niet geschikt voor toxische gassen		
	3	Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur		Nvt				Maatregel niet geschikt voor toxische gassen		
	4	Dubbele betonnen muur langs infrastructuur		Nvt				Maatregel niet geschikt voor toxische gassen		
	5	Aarden wal langs infrastructuur		Nvt				Maatregel niet geschikt voor toxische gassen		
	6	Verdiept aanleggen van infrastructuur		Nvt				Maatregel niet geschikt voor toxische gassen		
Tussen- gebied	7	Bouwverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur		440	230	++	++	++	-	Veel niet-bebouwbare ruimte (= veel verlies van opbrengst)
	8	Functies met een lage bezettingsgraad nabij de infrastructuur		440	230	+	+	+	-	Reductie van aantal slachtoffers, geen reductie van effect
	9	Vluchtwegen buiten gebouwen		440	230	+	++	+		
	10	Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten		Nvt		+	+	+	-	Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
Bouwkundig	11	Hittewerende maatregelen aan het gebouw		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	12	Glas van het gebouw meer brandwerend		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	13	Het toepassen van een (deels) blinde muur		440	230	+	+	+	0	Vertraging van inlaat van ammoniak damp, mogelijk strijdig met voorschrift mbt daglicht toetreding.
	14	Watergordijn voor of langs de gevel		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	15	Brandcompartimentering		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	16	Beheersing luchtcirculatie in gebouw		440	230	+	+	+	-	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp
	17	Geen beweegbare (raam)openingen		440	230	+	+	+	0	
	18	Automatische afsluiting van openingen of ventilatiesystemen		440	230	+	+	+	-	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp
	19	Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	20	Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	21	Indeling van het gebouw		440	230	+	+	+	-	Creëren van afschermend deel of 'safe havens' in gebouw
	22	Sprinkler systeem		Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische gassen
	23	Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan		440	230	+	++	+	0	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp

4.3.3

MAATREGELEN ZEER TOXISCHE GASSEN

Maatregel		Stofcategorie B3: Zeer toxische gassen (voorbeeldstof = chloor)							
		Afstand spoor	Afstand weg	Effectiviteit	Zelfredzaamheid	Hulpverlening	Kosten	Opmerkingen	
Bron	1	Plasbeperkende maatregelen	Nvt					Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen	
	2	Hittewerende constructie langs de infrastructuur	Nvt					Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen	
	3	Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur	Nvt					Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen	
	4	Dubbele betonnen muur langs infrastructuur	Nvt					Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen	
	5	Aarden wal langs infrastructuur	Nvt					Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen	
	6	Verdiept aanleggen van infrastructuur	Nvt					Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen	
Tussen- gebied	7	Bouwverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur	2311	1057	++	++	++	--	Zeer veel niet-bebouwbare ruimte
	8	Functies met een lage bezettingsgraad nabij de infrastructuur	2311	1057	+	+	+	-	Reductie van aantal slachtoffers, geen reductie van effect
	9	Vluchtwegen buiten gebouwen	2311	1057	+	++	+		
	10	Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten	Nvt		+	+	+	-	Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
Bouwkundig	11	Hittewerende maatregelen aan het gebouw	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	12	Glas van het gebouw meer brandwerend	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	13	Het toepassen van een (deels) blinde muur	2311	1057	+	++	+	0	Vanwege grote omvang wolk beperkt effectief, mogelijk strijdig met voorschrift mbt daglicht toetreding.
	14	Watergordijn voor of langs de gevel	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	15	Brandcompartimentering	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	16	Beheersing luchtcirculatie in gebouw	2311	1057	+	+	+	-	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp
	17	Geen beweegbare (raam)openingen	2311	1057	+	+	+	0	
	18	Automatische afsluiting van openingen of ventilatiesystemen	2311	1057	+	+	+	-	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp
	19	Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	20	Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	21	Indeling van het gebouw	2311	1057	+	+	+	-	Creëren van afschermend deel of 'safe havens' in gebouw
	22	Sprinkler systeem	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische gassen
	23	Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan	2311	1057	+	++	+	0	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp

4.3.4 MAATREGELEN BRANDBARE VLOEISTOFFEN

Stofcategorie C3: Brandbare vloeistoffen			Afstand spoor	Afstand weg	Effectiviteit	Zelfredzaamheid	Hulpverlening	Kosten	Opmerkingen
Maatregel									
Bron	1	Plasbeperkende maatregelen	50	70	++	+	+	-	Wel kans op langdurige brand a.g.v kleiner plasopp.
	2	Hittewerende constructie langs de infrastructuur	50	70	++	+	+	-	zowel kering van vloeistof als bescherming tegen warmte
	3	Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur	Nvt						Bij plasbrand geen kans op explosie
	4	Dubbele betonnen muur langs infrastructuur	Nvt						Bij plasbrand geen kans op explosie
	5	Aarden wal langs infrastructuur	50	70	++	+	+		zowel kering van vloeistof als bescherming tegen warmte
	6	Verdiept aanleggen van infrastructuur	50	70	+	++	++	--	Plasomvang wordt beperkt waardoor vermogen beperkt blijft
Tussen- gebied	7	Bouverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur	50	70	++	++	++	-	Veel niet-bebouwbare ruimte
	8	Funcies met een lage bezettingsgraad nabij de infrastructuur	50	70	+	+	+	-	Reductie van aantal slachtoffers, geen reductie van effect
	9	Vluchtwegen buiten gebouwen	50	70	+	++	+		
	10	Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten	Nvt						
Bouwkundig	11	Hittewerende maatregelen aan het gebouw	50	70	++	++	+	-	
	12	Glas van het gebouw meer brandwerend	50	70	++	++	+	-	
	13	Het toepassen van een blinde muur	50	70	++	+	+	0	
	14	Watergordijn voor of langs de gevel	50	70	+				
	15	Brandcompartimentering	50	70	+	+	+		
	16	Beheersing luchtcirculatie in gebouw	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare vloeistoffen
	17	Geen beweegbare (raam)openingen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare vloeistoffen
	18	Automatische afsluiting van openingen of ventilatiesystemen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare vloeistoffen
	19	Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare vloeistoffen
	20	Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze	Nvt						Maatregel niet geschikt voor brandbare vloeistoffen
	21	Indeling van het gebouw	50	70	+	+	+	-	Creëren van afschermend deel of 'safe havens' in gebouw
	22	Sprinkler systeem	50	70	++	++	+	-	
	23	Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan	50	70	+	++	+	0	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp

4.3.5

MAATREGELEN TOXISCHE VLOEISTOFFEN

Stofcategorie D2: Toxische vloeistoffen (voorbeeldstof = Acrylnitril)									
Maatregel		Afstand spoor	Afstand weg	Effectiviteit	Zelfredzaamheid	Hulpverlening	Kosten	Opmerkingen	
Bron	1	Plasbeperkende maatregelen	110	210	+	+	+	-	Vloeistof moet worden opgevangen in reservoir
	2	Hittewerende constructie langs de infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	3	Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	4	Dubbele betonnen muur langs infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	5	Aarden wal langs infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	6	Verdiept aanleggen van infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
Tussen-gebied	7	Bouverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur	110	210	++	++	++	-	Veel niet-bebouwbare ruimte
	8	Funcies met een lage bezettingsgraad nabij de infrastructuur	110	20	+	+	+	-	Reductie van aantal slachtoffers, geen reductie van effect
	9	Vluchtwegen buiten gebouwen	110		+	++	+		In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische stof
	10	Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
Bouwkundig	11	Hittewerende maatregelen aan het gebouw	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	12	Glas van het gebouw meer brandwerend	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	13	Het toepassen van een blinde muur	110	201	+	+	+	0	Kan inlaat van toxische damp beperken waardoor langere vluchtduur mogelijk. In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische stof.
	14	Watergordijn voor of langs de gevel	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	15	Brandcompartimentering	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	16	Beheersing luchtcirculatie in gebouw	110	210	+	++	+	-	In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische damp.
	17	Geen beweegbare (raam)openingen	110	210	+	++	+	-	In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische stof
	18	Automatische afsluiting van openingen of ventilatiesystemen	110	210	+	+	+	-	
	19	Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	20	Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	21	Indeling van het gebouw	110	210	+	+			Creëren van afschermend deel of 'safe havens' in gebouw
	22	Sprinkler systeem	Nvt						Maatregel niet geschikt voor toxische vloeistoffen
	23	Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan	110	210	+	++	+	0	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp

4.3.6

MAATREGELEN ZEER TOXISCHE VLOEISTOFFEN

Stofcategorie D3: Zeer toxische vloeistoffen (voorbeeldstof = Acroleïne)									
Maatregel		Afstand spoor	Afstand weg	Effectiviteit	Zelfredzaamheid	Hulpverlening	Kosten	Opmerkingen	
Bron	1	Plasbeperkende maatregelen	1720	3100	+	+	+	-	Vloeistof moet worden opgevangen in reservoir
	2	Hittewerende constructie langs de infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	3	Druk- en hittebestendige constructie langs infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	4	Dubbele betonnen muur langs infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	5	Aarden wal langs infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	6	Verdiept aanleggen van infrastructuur	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
Tussen- gebied	7	Bouverbod binnen bepaalde afstand van de infrastructuur	1720	3100	++	++	++	-	Veel niet-bebouwbare ruimte
	8	Funcies met een lage bezettingsgraad nabij de infrastructuur	1720	3100	+	+	+	-	Reductie van aantal slachtoffers, geen reductie van effect
	9	Vluchtwegen buiten gebouwen	1720	3100	+	++	+		In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische stof
	10	Bij vorm van het gebouw rekening houden met drukeffecten	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
Bouwkundig	11	Hittewerende maatregelen aan het gebouw	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	12	Glas van het gebouw meer brandwerend	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	13	Het toepassen van een blinde muur	1720	3100	+	+	+	0	Door grote omvang van wolk weinig effectief
	14	Watergordijn voor of langs de gevel	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	15	Brandcompartimentering	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	16	Beheersing luchtcirculatie in gebouw	1720	3100	+	++	+	-	In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische damp.
	17	Geen beweegbare (raam)openingen	1720	3100	+	++	+	-	In combinatie met snelle detectie van vrijkomen toxische stof
	18	Automatische afsluiting van openingen of ventilatiesystemen	1720	3100	+	+	+	-	
	19	Incasseringsvermogen van een gebouw verhogen	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	20	Rekening houden met drukeffecten bij materiaalkeuze	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	21	Indeling van het gebouw	1720	3100	+	+			Door grote omvang van wolk weinig effectief, 'safe havens' meer effectief.
	22	Sprinkler systeem	Nvt						Maatregel niet geschikt voor zeer toxische vloeistoffen
	23	Ontruimingsinstallatie in gebouwen + ontruimingsplan	1720	3100	+	++	+	0	Effectief bij snelle detectie van vrijkomen toxische damp

5 Juridische afdwingbaarheid

5.1

INLEIDING

In de twee hoofdstukken hiervoor is een overzicht gegeven van mogelijk te treffen maatregelen. Hierbij zijn de maatregelen beoordeeld op de effectiviteit, de zelfredzaamheid en de hulpverlening. Daarnaast is ook gekeken naar de mogelijkheid tot juridische afdwingbaarheid van de maatregelen. In dit hoofdstuk zal nader worden ingegaan op deze juridische afdwingbaarheid en vormt daarmee de onderbouwing van de in het vorige hoofdstuk gegeven beoordeling hiervan per maatregel.

Gekeken is naar de mogelijkheden voor de verankering van bouwtechnische maatregelen middels bestaande regelgeving. Hiervoor is met name gekeken naar regelgeving die betrekking heeft op het bouwen. Buiten beschouwing is gebleven de aspecten die in een bestemmingsplan staan beschreven, zoals goothoogte bebouwingspercentage etc..

5.2

BOUWBESLUIT

De Woningwet vormt de kern van de bouwregelgeving. Onder de Woningwet hangen drie zogenoemde Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB's):

1. het Bouwbesluit met de bouwtechnische voorschriften waaraan bouwwerken moeten voldoen;
2. het Besluit bouwvergunningvrije en licht-bouwvergunningplichtige bouwwerken, waarin het bouwvergunningregime is uitgewerkt;
3. het Besluit Indieningsvereisten aanvraag bouwvergunning, waarin staat hoe een bouwaanvraag moet worden ingediend.

Verder speelt ook de gemeentelijke welstandsnota, het bestemmingsplan en de bouwverordening een rol.

De bouwregelgeving is opgesteld om een veilige en gezonde gebouwde omgeving te waarborgen. Bouwwerken moeten immers niet alleen voldoen aan wensen en behoeften, maar mogen ook geen gevaar opleveren voor de veiligheid en gezondheid van anderen. De bouwregelgeving zorgt voor een minimumniveau. Een hogere kwaliteit bouwen mag natuurlijk wel, maar is niet afdwingbaar.

5.3

BOUWVERORDENING

In de bouwverordening staan voorschriften voor bijvoorbeeld het gebruik van woningen en terreinen of het uitvoeren van bouwwerkzaamheden. De gemeente stelt de

bouwverordening op. Een modelverordening is te krijgen bij de VNG (vereniging van Nederlandse Gemeenten)

In de bouwverordening komen in ieder geval de volgende onderwerpen aan bod: stedenbouwkundige voorschriften, zoals wegen waaraan mag worden gebouwd, rooilijnen of de plaatsing van bouwwerken ten opzichte van elkaar.

- Brandveiligheidsinstallaties;
- aansluiting op nutsvoorzieningen;
- tegengaan van bouwen op verontreinigde grond;
- gebruiksbepalingen;
- sloopvoorschriften;
- voorschriften voor het uitvoeren van bouw- en sloopwerkzaamheden met betrekking tot veiligheid bouw-/sloopplaats, tijdstippen, e.d.;
- belasting voor het gebruik van het trottoir om bijvoorbeeld tijdelijk een afvalcontainer te plaatsen;
- controle door de gemeente tijdens de bouw.

Hierbij is geen aansluiting te vinden om maatregelen verplicht toe te passen als hiertoe aanleiding wordt gezien.

5.4

GEBRUIKSVERGUNNING

Om het (brand) veiliggebruik van gebouwen te bevorderen heeft elke gemeente in de gemeentelijk bouwverordening een aantal voorschriften over het gebruik van gebouwen. De meeste van die gebruiksvoorschriften gaan over het brandveilig gebruik. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de verplichte aanwezigheid van brand meldinstallaties, om onderhoud en controle van blusinstallaties en om het niet mogen belemmeren van vluchtwegen. Naast brandveiligheid gaan de gebruiksvoorschriften ook over zaken zoals de beschikbaarheid van drinkwater en energie en de hoeveelheid mensen die tegelijk in een ruimte aanwezig mogen zijn.

Hierbij is geen mogelijkheid aanwezig om maatregelen verplicht toe te passen als hiertoe aanleiding wordt gezien.

5.5

CONCLUSIE

De huidige regelgeving is niet geënt op calamiteiten die van buiten een gebouw kunnen plaatsvinden door bijvoorbeeld een calamiteit op de weg of op het spoor. Aanvullende maatregelen aan bijvoorbeeld een woning kunnen dan ook niet geëist worden. Als een gemeente de mening is toegedaan dat in het desbetreffende geval er aanvullende maatregelen nodig zijn, vanwege het feit dat hier sprake is van een situatie die uitsluitend kan worden verantwoord middels aanvullende bouwtechnische voorzieningen dan zullen deze in overleg met de initiatiefnemer genomen moeten worden. Er is geen regelgeving waarin -al dan niet met aanvullende voorwaarden- aan risicovolle omgevingen kunnen worden gehangen.

Sterker nog, in de huidige bouwregelgeving is het onmogelijk om bijvoorbeeld de ventilatie af te sluiten, dit is echter wel wenselijk in geval van een gifwolk. Hierdoor worden overlevingskansen verkleind. Aanbeveling is dan ook om nabij vervoerassen met gevaarlijke stoffen of in de nabijheid van bedrijvigheid dergelijke aanvullende voorwaarden mogelijk te maken en zeker in het geval van de ventilatie.

Deel B: Effectenonderzoek

6 Effectenonderzoek

6.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk vormt de inleiding van het uitgevoerde effectenonderzoek. Hierin wordt beschreven welke gevolgen incidenten met gevaarlijke stoffen kunnen hebben. Daarbij wordt zowel gekeken naar het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor als het vervoer hiervan over de weg.

Voor het bepalen van de effecten van calamiteiten met vervoer van gevaarlijke stoffen worden de volgende stofcategorieën beschouwd (hierbij zijn respectievelijk de stofcategorieën voor de weg- en het spoor aan gegeven):

Tabel 6.6
Stofcategorieën gevaarlijke stoffen

Stofcategorie		Eigenschappen	Voorbeeldstof
weg	spoor		
GF3	A	Brandbare gassen	Propaan
GT3	B2	Toxische gassen	Ammoniak
GT5	B3	Zeer toxische gassen	Chloor
LF2	C3	Brandbare vloeistoffen	Hexaan
LT1	D3	Toxische vloeistoffen	Acrylnitril
LT3	D4	Zeer toxische vloeistoffen	Acroleïne

GF = gas flammable, GT = gas toxic, LF = liquid flammable, LT = liquid toxic

Voor externe veiligheid is een aantal incidenten/ongevalsscenario's met gevaarlijke stoffen bepaald op basis waarvan de risico's in de omgeving van het spoor of de weg in kaart worden gebracht. Voor alle gevaarlijke stoffen geldt dat een startincident plaatsvindt alvorens de ongevalsscenario's daadwerkelijk optreden. In dit hoofdstuk worden allereerst de startincidenten beschreven voor dat de ongevalsscenario's per gevaarlijke stofgroep worden uitgewerkt.

6.2 STARTINCIDENTEN

Voordat wordt ingegaan op de effecten van incidenten met gevaarlijke stoffen wordt hier eerst gekeken naar de oorzaak van deze incidenten.

6.2.1 SPOOR

De incidenten met transport van gevaarlijke stoffen over het spoor welke grote effecten tot gevolg hebben bestaan uit:

1. Botsing met andere trein. Een frontale botsing met een andere trein kan plaatsvinden bij het falen van het treinbeveiligingssysteem. Een botsing met een andere trein kan ook plaatsvinden bij het ontsporen van één van de twee treinen. De aanwezigheid van wissels en kruisingen levert een verhoogde kans op ontsporing van een trein. Daarnaast

is de ongevalsfrequentie lager op een traject met een maximale snelheid van 40 km/h. In onderstaande tabel is op basis van casuïstiek de invloed van overwegen en wissels / kruisingen op de ongevalsfrequentie weergegeven [6]:

Tabel 6.7

Ongevalfrequentie spoor

Baanaspecten	Faalfrequentie
Vrije baan zonder wissels	$2,2 * 10^{-8}$ per wagon km
Vrije baan zonder wissels (hoge snelheid)	$2,8 * 10^{-8}$ per wagon km
Toeslag voor overwegen	$0,8 * 10^{-8}$ per overleg
Toeslag voor wissels / kruisingen	$3,3 * 10^{-8}$ per km baanvak

2. Aanrijding met een kunstwerk. Een aanrijding met een deel van een kunstwerk (viaduct of andere constructie) kan plaatsvinden na ontsporing van de trein of indien een deel van de constructie zich in het voor de trein benodigde profiel van vrije ruimte bevindt.
3. Object op de baan. Een object op de baan kan de oorzaak zijn van een ontsporing en één van de twee hiervoor genoemde incidenten tot gevolg hebben. Afhankelijk van de omvang van het object kan dit ook de start van het incident zelf zijn. De oorzaak van een object op de baan kan verschillend zijn. Met name bij overwegen is de kans hoog door de mogelijkheid van auto's/ vrachtauto's op de baan.
4. Een ontsporing. Het ontsporen van de trein kan ook aanleiding zijn van de uitstroom van gevaarlijke stoffen door het beschadigen van de ketel.

Het intrinsiek falen (het falen als gevolg van een defect aan de ketel bv. een lekkende afsluiter) van een treinwagon zal geen zeer grote effecten tot gevolg hebben door de relatief beperkte uitstroming van gevaarlijke stoffen in verhouding tot de hiervoor beschreven start incidenten. Daarnaast valt het scenario door de zeer lage kans van optreden per kilometer af. Derhalve zal het intrinsiek falen niet worden meegenomen bij de effectanalyse.

Uiteindelijk is het de fysieke kracht die bij een botsing ontstaat die zorgt voor het verlies van integriteit van de treinwagon waarmee het scenario start. De invloed van deze factoren wordt bepaald door:

Tabel 6.8

Invloedsfactoren effect spoor incident

Invloedsfactoren effect incident	
(Kinetische) Energie	Snelheid trein
	Massa trein
	Massa object waarmee wordt gebotst
Plaats van absorptie	Op onderstel treinwagon
	Op oppervlak ketelwand
	Op rand kopschot ketel
	Op uitstekende delen (afsluiters ed.)
Eigenschappen van het object	Vlak/afgerond
	Klein/scherp
	Stijfheid object

6.2.2

WEG

Ten aanzien van incidenten met transport van gevaarlijke stoffen op de weg is een drietal typen te onderscheiden:

1. Aanrijding van een tankauto met een ander voertuig op de weg. Hiervoor geldt dat met name de intensiteit (en de kans op file) op de weg het type weg (binnen bebouwde kom/

buiten bebouwde kom / autosnelweg) en de aanwezigheid van kruisingen en in- / uitvoegend verkeer van invloed zijn op de kans van optreden van het incident.

2. Aanrijding van een tankauto met object naast de weg. Door het van de weg raken van een tankauto en het aanrijden van een object naast de weg is de tweede mogelijkheid van een incident. Daarbij kan het onder meer gaan om aanrijdingen met gebouwen en constructies naast de weg.
3. Kantelen van een tankauto op de weg. Bij het kantelen van een tankauto kan de tank lek raken. Dit zal met name gebeuren wanneer de tank in aanraking komt met een object. Het effect zal dan gelijk zijn als bij het hiervoor beschreven incident.

Het intrinsiek falen (het falen als gevolg van een defect aan de ketel bv. een lekkende afsluiter) van een tankauto zal geen zeer grote effecten tot gevolg hebben door de relatief beperkte uitstroming van gevaarlijke stoffen in verhouding tot de hiervoor beschreven twee start incidenten. Daarnaast verlaagt het scenario door de lage kans van optreden. Derhalve zal het intrinsiek falen niet worden meegenomen bij de effect analyse.

Het verlies van integriteit van de tank zoals omschreven in de subparagraaf met startincidenten op het spoor is ook van toepassing bij het transport over de weg.

De fysieke kracht van de botsing zorgt voor het falen van de tankauto. Invloedsfactoren hierop zijn:

Tabel 6.9

Invloedsfactoren effect weg incident

Invloedsfactoren effect incident	
(Kinetische) Energie	Snelheid tankauto
	Massa tankauto
	Massa object waarmee wordt gebotst
Plaats van absorptie	Op onderstel tankauto
	Op oppervlak tankauto
	Op rand kopschot tank
	Op uitstekende delen (afsluiters ed.)
Eigenschappen van het object	Vlak/afgerond
	Klein/scherp
	Stijfheid object

In onderstaande tabel zijn motorvoertuigen ongevalfrequentie (zonder ongevallen met langzaam verkeer) voor verschillende wegtypen weergegeven [5].

Tabel 6.10

Ongevalfrequentie weg

Wegtype	Ongeval frequentie [/ vtgkm]
Autosnelweg	$8,30 \cdot 10^{-8}$
Buiten bebouwde kom	$3,60 \cdot 10^{-7}$
Binnen bebouwde kom	$5,90 \cdot 10^{-7}$

6.3

MODELLERING

De uitgevoerde analyse van de effecten is gebaseerd op het groene boek (CPR 16), het gele boek (CPR14E) en het paarse boek (CPR18) [1,2,3]. Voor de modellering van de effecten welke optreden is gebruikt gemaakt van de effectmodule van RBM-II. Daarnaast zijn effectberekeningen uitgevoerd met SAVE-II.

Voor het inzichtelijk maken van de effecten van het type weer zijn de effecten daar waar relevant geanalyseerd met een tweetal weertypen. De volgende weertypen zijn geanalyseerd:

- D5 : neutraal weer met een windsnelheid van 5 m/s
- F1,5 : zeer stabiel weer met een windsnelheid van 1,5 m/s

Verder worden scenariospecifieke uitgangspunten beschreven bij de analyse van de scenario's zelf.

7.1**INLEIDING**

De vervoerde brandbare gassen zijn tot vloeistof verdichte gassen en worden derhalve onder druk vervoerd. Bij vrijkoming van de vloeistof uit de tank wordt gas gevormd. In de deze categorie vallen alle gassen met de volgende GEVI-nummers:

Tabel 7.11

GEVI-nummers brandbare gassen

GEVI-nummer	Omschrijving
23	Brandbaar gas
263	Giftig brandbaar gas
239	Brandbaar gas dat aanleiding kan geven tot spontane heftige reactie

Voor de stofcategorie brandbare gassen wordt propaan (voornaamste bestanddeel van LPG) als voorbeeldstof gekozen om de mogelijke invloed van een ongeval met een stof uit deze stofcategorie te beschrijven.

7.2**ONGEVALSBESCHRIJVING**

Bij een ongeval met een wagon of tankwagen met brandbare gassen wordt ter berekening van de risico's in de omgeving uit uitgegaan van een drietal vervolgmogelijkheden [5]:

- Verwaarloosbaar effect (geen relevante vrijzetting);
- Uitstroming door grootste afsluiter (uitstroming door 3" gatgrootte, 2-fasen);
- Vrijkomen gehele inhoud (circa 50 ton bij spoor en 30 ton voor weg) in verwaarloosbare tijd.

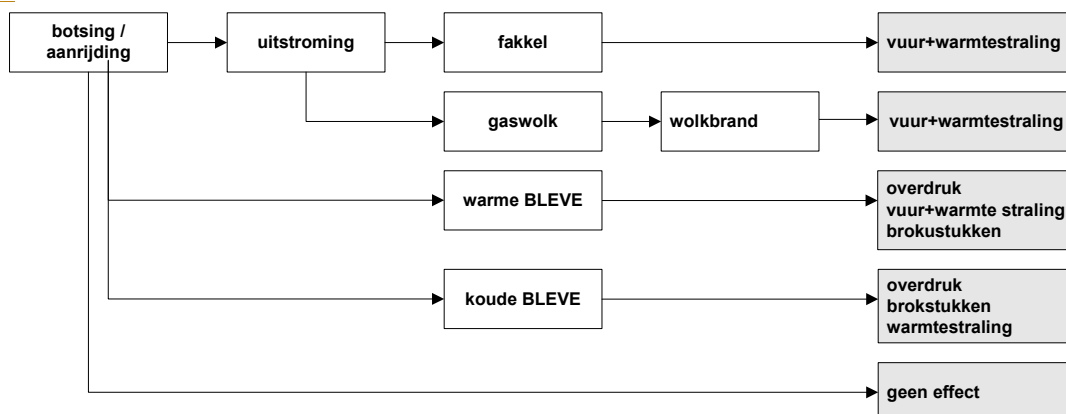
Afhankelijk van een van bovengenoemde primaire effecten, zijn een of meer vervolgeffecten mogelijk:

- Geen ontsteking;
- Directe ontsteking: fakkel;
- Vertraagde ontsteking: wolkbrand (flashfire);
- Warme BLEVE met directe ontsteking (vuurbol);
- Koude BLEVE.

In onderstaand stroomschema zijn verschillende mogelijke ongevalsscenario's met brandbare gassen weergegeven.

Figuur 7.5

Ongevalsscenario's brandbare gassen



Er wordt bij deze startscenario's vanuit gegaan dat na het incident, ontsteking plaatsvindt van de vrijgekomen brandbare gassen. De uitwerking van de effecten van het startincident gebeurt in de sub paragrafen.

7.3 INVLOEDSFACTOREN

Voor het kunnen weergeven van de effecten is het van belang om inzicht te hebben in de factoren welke van invloed zijn op de ontwikkeling van het scenario en de effecten die het veroorzaakt. Deze invloedsfactoren worden ook besproken bij de beschreven scenario's.

Windrichting en -kracht: De richting en kracht van de wind is van invloed op de positie van de gaswolk en de mate van mengen met lucht, en daarmee de mate van explosiviteit van het mengsel.

Bebouwing in omgeving: In het 'open-veld' zal een gaswolk afbranden. Indien sprake is van een tunnel kan een gaswolk doordat deze is opgesloten exploderen.

7.4 FAKKELBRAND

7.4.1 KARAKTERISTIEKEN

Tabel 7.12

Karakteristieken fakkelbrand

Karakteristieken		
Stof	Propan	
Capaciteit tank	Spoor: 108 m ³ = 50 ton	Wegvervoer: 50 m ³ = 25 - 30 ton
Druk in de tankauto/treinwagon	6 bar (druk bij 282 K)	
Grootte gat in tank	0,0044 m ² (= diameter 75 mm)	0,002 m ² (= diameter 50 mm)
Uitstroomsnelheid	79 kg/s	36 kg/s
Temperatuur	293K	293K
Waterdampdruk	2 kPa	2 kPa

7.4.2 EFFECTEN

Analyse van de effecten met RBM II (op basis van de modellen uit CPR14) van een fakkel met LPG in bulk levert respectievelijk voor spoor- en wegtransport de volgende uitkomsten.

Tabel 7.13

Effecten fakkelbrand

Afmetingen fakkel	Spoor [m]	Weg [m]
Lengte van de fakkel	78	60
Diameter van de fakkel	10	7,5

De duur van de fakkel is voor de treinwagon is 725 seconden. De fakkel bij een tankauto duurt circa 1800 seconden. De richting van de fakkel is afhankelijk van het punt waar de brandbare gassen vrijkomen.

7.4.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

De fakkelbrand treedt direct op, zodat er geen tijd is om te vluchten voor mensen binnen het directe invloedsgebied. Het is van te voren niet bekend in welke richting de fakkel zal optreden. Alle personen die door de fakkel worden getroffen overlijden door de warmte. Bovendien zullen de personen die zich te dicht bij de fakkel bevinden overlijden door warmtestraling.

In het Paarse Boek (CPR18E) [3] wordt een probitfunctie gegeven voor letale letselschade als gevolg van warmtestraling. Het Paarse Boek geeft ook aan dat mensen niet langer dan 20 seconden worden blootgesteld voordat ze zich in veiligheid hebben kunnen brengen. Op basis hiervan is berekend dat 50% van de personen overlijdt bij een straling van 20 kW/m². Bij een straling van 10 kW/m² komt 1% van de mensen te overlijden na 20 seconden. Aan de hand van de geanalyseerd stralingswarmte in combinatie met de probitfunctie is onderstaande tabel samengesteld.

Tabel 7.14

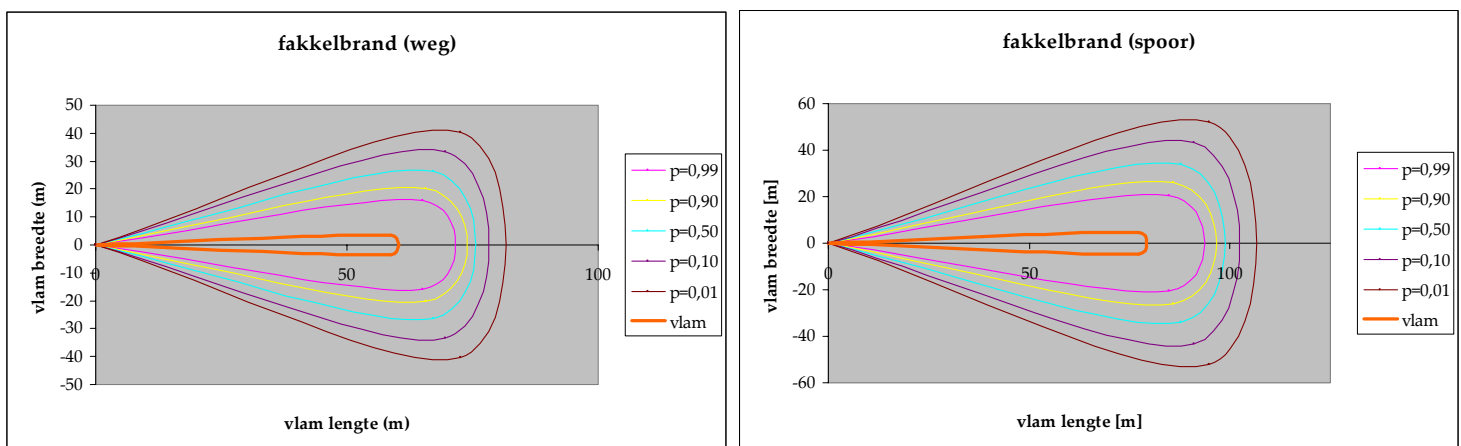
Consequenties voor personen fakkelbrand

Kans op overlijden buiten [%]	Warmte straling [kW/m ²]	Spoor [m]	Weg [m]
99	40	85	65
90	30	86	66
50	20	88	67
10	14	91	70
1	10	95	73

De in de tabel weergegeven afstanden zijn gerekend vanaf de het begin van de fakkel. In onderstaande twee diagrammen zijn de vlamgroottes en de kans op overlijden (p) weer gegeven.

Figuur 7.6

Omvang fakkelbrand



7.4.4 CONSEQUENTIES VOOR GEBOUWEN

In de CPR 18E [3] worden de volgende kritische waarden met betrekking tot warmtestraling aangehouden:

Tabel 7.15
Kritische stralingswarmte

Stralingswarmte	[kW/m ²]
Kritische stralingswarmte tav brandoverslag	35
Maximale stralingswarmte normaal glas	4

Bij direct contact met de vlam wordt er vanuit gegaan dat er snel brandoverslag op gebouwen zal plaatsvinden. In de onderstaande tabel zijn de afstanden weergegeven in combinatie met de kritische waarden voor gebouwen aan de hand van de uitgevoerde analyse.

Tabel 7.16
Consequenties voor gebouwen
fakkelfbrand

Waarde	Spoor [m]	Weg [m]
Vlamgrootte	78	60
Kritische stralingswarmte tav brandoverslag (35 kW/m ²)	86	66
Maximale stralingswarmte normaal glas (4 kW/m ²)	100	80

Aanwezig in gebouwen

Voor aanwezig in het gebouw zal de constructie effectreducerend werken ten opzichte van mensen die zich buiten bevinden. De mate van reductie van het effect is afhankelijk van het type gebouw en de toegepaste materialen. Daarnaast speelt de alarmering van aanwezig en de mogelijkheid tot zelfredzaamheid in het gebouw een grote rol. Bij brandoverslag zal de situatie in de gebouwen voor de daar aanwezigen snel kritiek worden. In het Paarse Boek [3] wordt gesteld dat mensen die zich in gebouwen bevinden veilig zijn bij een warmtestraling tot 35 kW/m². Bij het spoor wordt deze bereikt op ca. 86 meter en voor het de weg op ca. 66 meter. Daarnaast vindt brandoverslag ook plaats bij direct vlamcontact. De maximale stralingswarmte voor normaal glas van ca. 4 kW/m² wordt bij het spoor bereikt op ca. 100 meter en bij de weg op ca 80 meter. Bij deze stralingswarmte zullen de ruiten breken en zal de situatie in de gebouwen voor de aanwezigen snel kritiek worden.

7.5 WOLKBRAND

Indien er vertraagde ontsteking plaats vindt zal het vrijkomende gas eerst een wolk ontwikkelen. Daarna zal deze worden ontstoken. In een gesloten omgeving, zoals tunnels en overkappingen, kan een wolkbrand leiden tot explosies. In openruimtes, zelfs bij zeer intensieve bebouwing zal dit fenomeen niet optreden, en wordt derhalve buiten beschouwing gelaten.

7.5.1 KARAKTERISTIEKEN

Tabel 7.17
Karakteristieken wolkbrand

Karakteristieken	
Stof	Propan
Capaciteit tank	Spoor: 108 m ³ = 50 ton Wegvervoer: 50 m ³ = 25 - 30 ton
Druk in de tankauto/treinwagon	6,3 bar (druk bij 282 K)

7.5.2

EFFECTEN

Voor de wolkbrand is de omvang van de te ontwikkelen wolk brandbare gassen geanalyseerd op basis van RBM-II, deze zijn weergegeven in de onderstaande tabel

Tabel 7.18

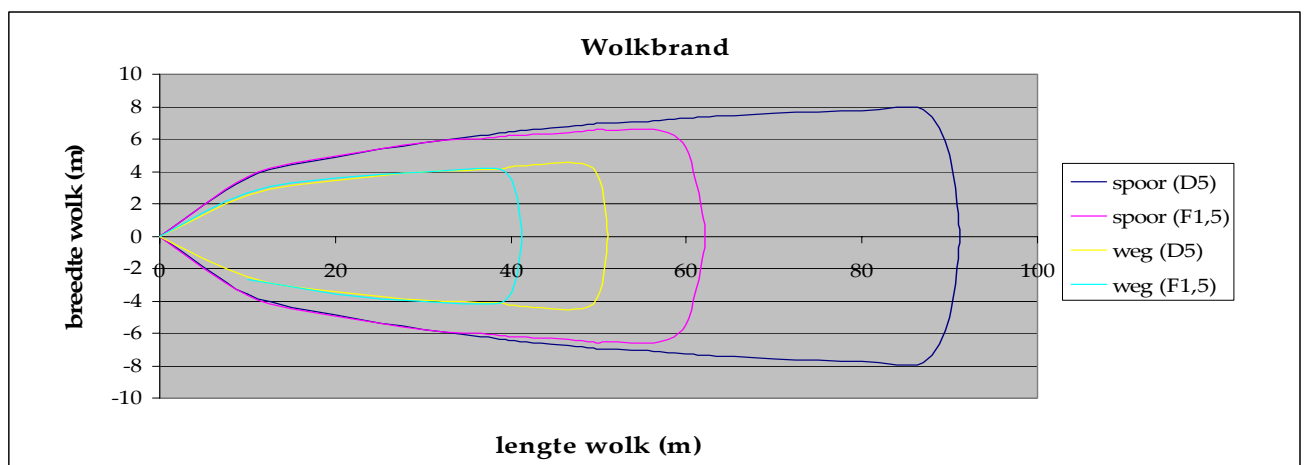
Effectafstanden wolkbrand

Afstand [m]	wolkbreedte			
	Spoor [m]		Weg [m]	
	D5	F1,5	D5	F1,5
10	7	7	5	5
20	10	10	7	7
30	12	12	8	8
40	13	13	9	8
50	14	13	9	
60	15	14		
70	15			
80	15			
90	16			

In de onderstaande figuur zijn de afmetingen van de wolkbrand voor zowel het spoor bij twee weerklassen (D5 en F1,5) weergegeven. Binnen deze wolk wordt verondersteld dat aanwezig komen te overlijden. Door de zeer beperkte stralingswarmte buiten de wolk en de beperkte duur van de wolkbrand zullen er geen slachtoffers vallen buiten de wolkbrand.

Figuur 7.7

Invloedsgebied wolkbrand voor personen



7.5.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

Aan de hand van de uitgevoerde analyse van de wolkbrand kan voor de aanwezige personen worden geconcludeerd dat personen die zich in de wolk bevinden komen overlijden. Door de zeer beperkte stralingswarmte buiten de wolk en de beperkte duur van de wolkbrand zullen er geen letale slachtoffers vallen buiten de wolkbrand. In de onderstaande tabel is de maximale letale effect afstand weergegeven voor 2 weertypen.

Tabel 7.19

Consequenties volkbrand voor personen

	Spoor [m]	Weg [m]
D5	90	50
F1,5	60	40

7.5.4

CONSEQUENTIES VOOR GEBOUWEN

Schade aan gebouwen zal alleen optreden indien deze zich binnen de wolk bevinden. Door de zeer beperkte warmtestraling buiten de wolk en de duur van de straling zullen gebouwen buiten de wolk niet beschadigd worden door warmtestraling.

Aanwezig in gebouwen

Voor personen in gebouwen geldt dat indien het gebouw zich binnen de wolk bevindt er kans is op overslag van de brand waardoor een kritieke situatie kan ontstaan. Voor de maximale te verwachten afstand wordt verwezen naar de tabel hierboven.

7.6

WARME BLEVE

Een BLEVE is een explosie als gevolg van het falen van een tank gevolgd door een explosieve expansie van de vloeistof. Voor de tank faalt is de vloeistof in evenwicht met de verzadigde damp. Na het falen van de tank valt deze druk weg en treedt er een versneld verdampingsproces op. Een dergelijk proces heeft tot gevolg dat er een grote hoeveelheid vloeistof verdampt in enkele milliseconden (het zogenoemde flashen). Er komt veel energie en gas vrij, dat leidt tot hoge overdruk in de omgeving van de geëxplodeerde tank (het fysische aspect van de BLEVE), projectielen, wolkbranden en mogelijk vuurballen indien het gas ontstoken wordt. De warme BLEVE heeft een thermische oorzaak. Hieronder wordt verstaan de verhitting van de tank door bijvoorbeeld een externe brand. De verhitting leidt tot verhoging van de druk, dat uiteindelijk leidt tot het bezwijken van de tank.

7.6.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 7.20

Karakteristieken warme BLEVE

Karakteristieken	
Stof	LPG / Propan
Capaciteit tank	treinwagon: 108 m ³ = ca 50 ton tankauto: 50 m ³ = 25 – 30 ton
Druk in de tankauto/treinwagon	Bezwijkdruk cilinder: ca 20-25 bar; de bezwijkdruk ligt in dit geval hoger dan de druk waaronder de LPG wordt getransporteerd. Naar alle waarschijnlijkheid bezwijkt de tank voordat de "normale" bezwijkdruk wordt bereikt omdat de tank zal verzwakken door de aanstraling.

- Tijdsduur bezwijken cilinder: 10-15 minuten na aanvang brand (afhankelijk van de inhoud van de tank);
- De drukgolf zal zich in alle richtingen verspreiden;
- De vuurbal kan zich volledig ontwikkelen (geen beperking van zuurstofaanvoer in de openlucht);
- De brokstukken (van de tank) verspreiden zich met de drukgolf in alle richtingen.

7.6.2

EFFECTEN

Analyse van de effecten met SAVE II (op basis van CPR 14) van een warme BLEVE leveren voor weg- en spoortransport de volgende uitkomsten.

Overdruk

Tabel 7.21

Overdruk warme BLEVE

Piekoverdruk [kPa]	Afstand tov. treinwagon [m]	Afstand tov. tankauto [m]
10 (=0,1 bar)	66	51
3 (=0,03 bar)	209	162
1 (=0,01 bar)	662	512

Tabel 7.22

Vuurbal warme BLEVE

<i>Vuurbal</i>		
	Spoor	Weg
Straal vuurbal	109 m	85 m
Duur vuurbal	14 s	12 s

Brokstukken

De schade, die optreedt door rondvliegende brokstukken van de cilinder, is afhankelijk van:

- het aantal en de massa (energie) van de fragmenten waarin de cilinder breekt;
- de verspreiding van deze fragmenten, deze bepaalt de trefkans als functie van de afstand;
- de uitwerking van de fragmenten op de getroffen personen en gebouwen.

De trefkans door een fragment kan worden bepaald als functie van de afstand tot de BLEVE met de volgende empirische formule (cirkelsegmentbenadering) [7]:

$$P_{\text{top}} = 1 - (1 - P_s * P_a)^N, \text{ waarin:}$$

P_{top} = de trefkans door tenminste 1 van de fragmenten [-];

N = het aantal fragmenten [-];

P_s = $\alpha / 360 = B / 2\pi R$;

B = de breedte van het cirkelsegment met hoek α ;

R = de afstand tot de BLEVE [m];

P_a = $e^{-C.R}$;

e = natuurlijk getal (2,71828...);

C = constante, functie van N en bezwijkdruk van de cilinder/tank [-].

Voor N wordt een waarde van 10 stuks aan gehouden [7] en voor C een waarde van 0,006, onafhankelijk van de bezwijkdruk [7]. Dit zijn gemiddelde waarden, gebaseerd op diverse verrichte studies. Op basis hiervan zijn in de navolgende tabel enkele berekende waarden voor P_{tot} weergegeven voor personen.

Tabel 7.23

Afstand brokstukken warme BLEVE

Afstand [m]	Trefkans P_{tot} [-]
10	0,140
20	0,0684
50	0,0233
100	0,0087
200	0,0024
300	0,0009

7.6.3**CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN***Overdruk*

Letselschade ten gevolge van de drukgolf kan optreden op de volgende wijzen [CPR 16E]:

- Door directe effecten: longschade, trommelvliesbreuk e.d. door overdruk;
- Door indirecte effecten: meesleureffecten, met als gevolg schedelbasisfractuur of ander letsel.

Volgens CPR 16E kan de letselschade door zowel de directe als de indirecte effecten worden bepaald als functie van de piekoverdruk en de impuls van de drukgolf.

Als vuistregel is gegeven dat een overdruk van 0,1 bar fataal is voor onbeschermden personen [CPR 16E].

Zoals uit de tabel met de overdruk van de BLEVE blijkt daalt de druk op een afstand groter dan 66 meter van de BLEVE beneden de 0,1 bar overdruk bij een *treinwagon* en groter dan 51 meter bij een *tankauto*. Aangezien de vuurbal een grotere diameter heeft kan worden geconcludeerd dat het schade-effect van de vuurbal maatgevend is ten opzichte van dat van de drukgolf voor zowel spoor- als wegtransport.

Vuurbal

Er wordt verondersteld dat alle aanwezigen die door de vuurbal worden getroffen komen te overlijden. Daarnaast vallen er dodelijke slachtoffers op afstand van de vuurbal door warmtestraling. In de onderstaande tabel is de kans op overlijden uitgezet tegen de afstand vanaf het incident.

Tabel 7.24

Effectafstanden voor personen
vuurbal warme BLEVE

Kans P(overlijden) [%]	Stralingswarmte (kW/m ²)	straal	
		Spoor (m)	Weg (m)
99	67	175	85
90	49	200	86
50	34	245	96
10	23	280	130
1	17	310	150

Brokstukken

De trefkans neemt snel af met de afstand tot de BLEVE. Binnen de vuurbal wordt de vuurbal maatgevend geacht (iedereen binnen de vuurbal overlijdt) en niet het getroffen worden door brokstukken.

Bij een *treinwagon* is de letselschade door brokstukken van belang op een afstand vanaf 109 meter (=straal vuurbal) tot 300 meter (=trefkans < 0,1%). Met behulp van de formule kan worden afgeleid dat de trefkans binnen dit gebied minder dan 1% bedraagt.

De letselschade door brokstukken bij een *tankauto* is van belang op een afstand vanaf 85 meter (=straal vuurbal) tot 300 meter (=trefkans < 0,1%). Met behulp van de formule kan worden afgeleid dat de gemiddelde trefkans binnen dit gebied circa 1% bedraagt.

In onderstaande tabel zijn de consequenties voor aanwezige personen in de omgeving van de BLEVE weergegeven. De vermeldende afstanden zijn gemeten vanuit het centrum van de BLEVE.

Tabel 7.25

Effectafstanden voor personen
brokstukken warme BLEVE

Effect	Letsel	Spoor [m]	weg [m]
Overdruk	Fataal letsel (=overdruk >0,1 bar)	66	51
Vuurbal	100% letaliteit	175	85
	1% letaliteit	310	150
Brokstukken	1% Trefkans	< 300	< 300

7.6.4

CONSEQUENTIES VOOR GEBOUWEN

Overdruk

In het PGS 1 [10] is aangegeven bij welke overdruk er schade aan bebouwing kan optreden. Ter bepaling van de schade wordt de volgende schadeniveaus gehanteerd:

Tabel 7.26

Schadeniveau gebouwen als gevolg van overdruk

	Piekoverdruk (kPa)
Totale destructie	> 83
Zware schade	> 35
Matige schade	> 17
Lichte schade	> 3,5

Op basis van de uitgevoerde analyse gelden de volgende afstanden voor de te verwachten schade aan gebouwen.

Tabel 7.27

Effectafstanden gebouwen overdruk warme BLEVE

Te verwachten schade	Spoor (m)	Weg (m)
Gemiddelde schade/ scheurvorming (17 kPa)	66	51
Lichte schade/Ruitbreuk (3,5 kPa)	209	162

Vuurbal

In de CPR 18E [3] worden de volgende kritische waarden voor gebouwen met betrekking tot warmtestraling gegeven:

Tabel 7.28

Kritische stralingswarmte voor gebouwen

Stralingswarmte	kW/m ²
Kritische stralingswarmte tav brandoverslag	35
Maximale stralingswarmte normaal glas	4

Materiaal	Kritische stralingswarmte [kW/m ²]
Hout, ontbranding	15
Hout, zware verkleuring	2
normaal glas, breken	4
Staal, bezwijken constructie	100
Staal, uiterlijke schade	25
Brandoverslag bij gebouwen	35

De in de tabel weergegeven waarden zijn de kritische stralingswarmten voor enkele materialen. Hierbij is het aspect tijd niet meegenomen, bij hogere waarden zal derhalve ook bij een zeer korte tijdsduur schade optreden [CPR16E].

De kritische stralingswarmte voor brandoverslag (35kW/m²) wordt bij een vuurbal van een warme BLEVE van een treinwagon 245 meter en bij een tankauto 96 meter. Gezien de grote invloed van de druk golf tot 209 en 162 waarbij ruitbreuk optreedt bij respectievelijk de het spoor en de weg, wordt tot op deze afstand ook brandoverslag verwacht.

Brokstukken

De schade door de vuurbal en de drukgolf zal, net als bij de letselschade, maatgevend zijn voor de schade aan de constructie. Dit neemt niet weg dat de rondvliegende brokstukken plaatselijk zware schade kunnen aanbrengen aan personen en gebouwen.

Aanwezigen in gebouwen

De in de gebouwen aanwezige personen zullen beschermd worden door het gebouw. Zowel de overdruk als warmtestraling van de BLEVE hebben voor personen letale effecten. Ten aanzien van de vrijkomende stralingswarmte kan gesteld worden [3] dat de in het gebouw aanwezige personen overlijden bij een stralingswarmte groter dan 35kW/m². Ruiten zullen breken bij een warmtebelasting groter dan 4 kWm², waarna brandoverslag kan plaatsvinden. Met betrekking tot de overdruk wordt gesteld dat er geen letale effecten optreden bij een maximale overdruk van 0,1 bar [3]. Voor een overdruk tussen 0,3 en 0,1 bar

komt 2,5% van de mensen binnen te overlijden [3]. Deze waarden gelden voor generieke situaties en gebouwen. Van invloed hierop is de aanwezigheid van glas cq. glazengevels.

7.7

KOUDE BLEVE

Naast de warme BLEVE is er ook de koude of mechanische BLEVE. Een mechanische oorzaak is bijvoorbeeld interactie van een goederentrein zijn of een ander voorwerp met de treinwagon / tankauto met brandbaar gas. Scheuren van de tank kan optreden door samendrukking, doorboring of knikken van de treinwagon / tankauto.

7.7.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 7.29

Karakteristieken koude BLEVE

Karakteristieken		
Stof	LPG / Propaan	
Capaciteit tank	treinwagon: 108 m ³ = ca 50 ton	tankauto: 50 m ³ = 25 – 30 ton
Druk in de tankauto/treinwagon	Bezwijkdruk cilinder: ca 6 bar; de bezwijkdruk is in dit geval gelijk aan de druk waaronder de LPG wordt getransporteerd.	

7.7.2

EFFECTEN

Overdruk

Het verschil van de effecten tussen een koude en een warme BLEVE is met name het verschil in druk bij vrijkoming.

Tabel 7.30

Effectafstanden overdruk koude BLEVE

Piekoverdruk [kPa]	Afstand tov. treinwagon [m]	Afstand tov. tankauto [m]
10 (=0,1 bar)	34	26
3 (=0,03 bar)	108	83
1 (=0,01 bar)	340	263

Vuurbal

Met behulp van SAVE II is voor de koude BLEVE de omvang van de vuurbal geanalyseerd.

Tabel 7.31

Effectafstanden vuurbal koude BLEVE

	Spoor	Weg
Straal van de vuurbal	90 m	85 m
Duur van de vuurbal	14 s	12 s

Brokstukken

De trefkans van brokstukken kan op overeenkomstige wijze worden bepaald als bij de warme BLEVE. Op basis hiervan zijn in de navolgende tabel enkele berekende waarden voor P_{tot} weergegeven voor personen.

Tabel 7.32

Trefkans brokstukken koude BLEVE

Afstand [m]	Trefkans P_{tot} [-]
10	0,140
20	0,0684
50	0,0233
100	0,0087
200	0,0024
300	0,0009

7.7.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

Overdruk

Op basis van CPR16E kan worden gesteld dat een overdruk van 0,1 bar fataal is voor onbeschermde personen.

Zoals uit de tabel met de overdruk van de koude BLEVE blijkt daalt de druk op een afstand groter dan 34 meter van de koude BLEVE beneden de 0,1 bar overdruk bij een *treinwagon* en groter dan 26 meter bij een *tankauto*. Aangezien de vuurbal een grotere diameter heeft kan worden geconcludeerd dat het schade-effect van de vuurbal maatgevend is ten opzichte van dat van de drukgolf voor zowel spoor- als wegtransport.

Warmtestraling

Er wordt verondersteld dat alle aanwezigen die door de vuurbal worden getroffen komen te overlijden. Daarnaast vallen er dodelijke slachtoffers op afstand van de vuurbal door warmtestraling. In de onderstaande tabel is de kans op overlijden uitgezet tegen de afstand vanaf het incident.

Tabel 7.33
Consequenties voor personen
straling koude BLEVE

Stralingswarmte (kW/m ²)	Kans P(overlijden)	straal	
		Spoor (m)	Weg (m)
67	0,99	110	85
49	0,90	125	86
34	0,50	165	96
23	0,10	205	130
17	0,01	235	150

Brokstukken

De trefkans van brokstukken is vanaf circa 100 meter minder dan 1%. Hierdoor is het effect van de overdruk en vuurbal maatgevend.

7.7.4

CONSEQUENTIES VOOR GEBOUWEN

Druk golf

Op basis van de uitgevoerde analyse gelden de volgende afstanden voor de te verwachten schade aan gebouwen bij het optreden van een koude BLEVE.

Tabel 7.34
Consequenties voor gebouwen
druk golf koude BLEVE

Te verwachten schade	Spoor (m)	Weg (m)
Matige schade (17 kPa)	< 34	< 26
Lichte schade (3,5 kPa)	108	83

Vuurbal

In de CPR 18E [3] worden de volgende kritische waarden voor gebouwen met betrekking tot warmtestraling gegeven:

Tabel 7.35
Kritische stralingswarmte
gebouwen

Stralingswarmte	kW/m ²
Kritische stralingswarmte tav brandoverslag	35
Maximale stralingswarmte normaal glas	4

De kritische stralingswarmte voor brandoverslag wordt bij het treinwagon 165 meter en bij een tankauto 96 meter. Gezien de grote invloed van de druk golf tot 108 en 83 meter waarbij ruitbreuk op treedt bij respectievelijk de het spoor en de weg, wordt tot op deze afstand ook brand overslag verwacht.

Brokstukken

De schade door de vuurbal en de drukgolf zal, net als bij de letselschade, maatgevend zijn voor de schade aan de constructie. Dit neemt niet weg dat de rondvliegende brokstukken plaatselijk zware schade kunnen aanbrengen aan personen en gebouwen.

Aanwezigen in gebouwen

De in de gebouwen aanwezige personen zullen beschermd worden door het gebouw. Zowel de overdruk als warmtestraling van de koude BLEVE hebben voor personen letale effecten. Ten aanzien van de vrijkomende stralingswarmte kan gesteld worden [3] dat de in het gebouw aanwezige personen overlijden bij een stralingswarmte groter dan 35kW/m^2 . Ruiten zullen breken bij een warmtebelasting groter dan 4kW/m^2 , waarna brandoverslag kan plaatsvinden. Met betrekking tot de overdruk wordt gesteld dat er geen letale effecten optreden bij een maximale overdruk van 0,1 bar [3]. Deze waarden gelden voor generieke situaties en gebouwen. Van invloed hierop is de aanwezigheid van glas cq. glazengevels en met name de brandwerendheid hiervan.

7.8

SAMENVATTEND OVERZICHT

In de onderstaande tabel zijn de berekende effectafstanden voor brandbare gassen weergegeven. De afstanden voor "buiten" zijn gebaseerd op de 1% letaliteitswaarde. Voor de waarden "binnen" is de afstand vermeld waarbij 4kW/m^2 wordt overschreden (bij deze waarde bezwijkt normaal glas, waardoor brandoverslag mogelijk is met als gevolg een kritieke situatie voor aanwezigen in gebouwen).

Tabel 7.36

Samenvattend overzicht
effectafstanden brandbare gassen

Effect		Spoor [m]		Weg [m]		opmerking
		Buiten	Binnen	Buiten	Binnen	
Brand	Fakkel	95	100	73	80	35kW/m^2 bij 86 resp. 66 meter
	Wolkbrand	90	90	50	50	D5
	Warme BLEVE	310	209	150	162	35kW/m^2 bij 245 resp. 96 meter
	Koude BLEVE	235	108	150	83	35kW/m^2 bij 165 resp. 96 meter
Druk	Warme BLEVE	66	210	51	162	Effecten van warmte straling maatgevend
	Koude BLEVE	34	108	26	83	

8 Toxische gassen

8.1

INLEIDING

Bij de giftige gassen wordt een onderscheid gemaakt tussen toxische gassen en zeer toxische gassen. Onder categorie zeer toxische gassen valt alleen chloor. Onder de toxische gassen vallen de toxische gassen met de volgende GEVI-nummers:

Tabel 8.37

GEVI-nummers toxische gassen

GEVI-nummer	Omschrijving
26	Toxisch gas
265	Toxisch oxiderend gas
268	Toxisch bijtend gas

Voor categorie toxische gassen wordt ammoniak als voorbeeldstof genomen. Voor de effectbeschrijving wordt uitgegaan van het vrijkomen van ammoniak dat zich verspreidt in de omgeving na lek slaan of instantaan falen van een tank. Chloor wordt als voorbeeldstof beschouwd voor incidenten met zeer toxische gassen.

8.2

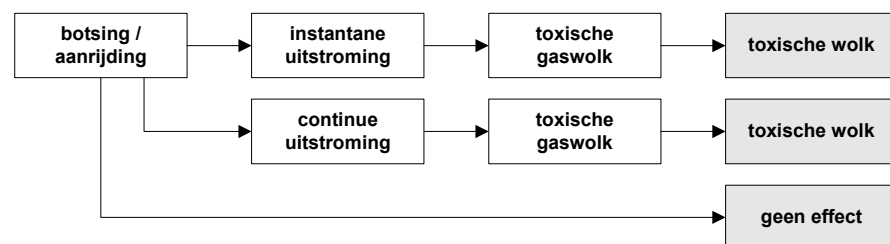
ONGEVALSBESCHRIJVING

Voor tanks met toxische gassen gelden dezelfde vrijkomingsscenario's als voor brandbare gassen. Als maatgevende scenario's wordt in de modellen uitgegaan van een kleine continue uitstroming, danwel vrijkoming van alle gas in een korte tijd. Er wordt echter verondersteld dat een toxische wolk niet afbrandt en er kunnen dus op grote afstand ongewenste effecten optreden [CPR 13E].

In onderstaand stroomschema zijn de ongevalsscenario's weergegeven voor giftige gassen.

Figuur 8.8

Ongevalsscenario's toxische gassen



Na falen van de omhulling van een tank met een tot vloeistof verdicht gas, ontstaat snel een grote hoeveelheid gas in de omgeving. De vloeistof is niet langer onder druk en expandeert explosief, waarbij een gedeelte vrijwel instantaan overgaat in toxisch gas en de rest van de goed gemengde vloeistofnevel ook snel verdampt. Het vrijgekomen gas vermengt zich, onder invloed van luchtstroming, met lucht en verspreidt zich in de omgeving

Bij het beschrijven van de effecten is een onderscheid gemaakt tussen het vrijkomen van toxische gasen zwaarder dan lucht (bv. chloor) en toxische gasen lichter dan lucht (ammoniak).

8.3

INVLOEDSFACTOREN

- Windrichting en -kracht: De wind bepaalt naast de snelheid en grootte van de gaswolk ook de mate van menging van het gas met de lucht.
- Atmosferische toestand: Afhankelijk van de atmosferische omstandigheden (de stabiliteit van de weerklasse) zal een toxische gaswolk zich verspreiden in de omgeving.
- Ruimtelijke inrichting: De intensiteit van de bebouwing in de omgeving is van invloed op het verspreiden van de toxische wolk. Naar mate de intensiteit toeneemt zal de verspreiding afnemen.

8.4

VRIJKOMEN VAN AMMONIAK, CONTINU

8.4.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 8.38

Karakteristieken vrijkomen ammoniak (continu)

Karakteristieken		
Stof	Ammoniak	
Capaciteit tank	Spoor: 50 ton	Wegvervoer: 16 ton
Druk in de tankauto/treinwagon	6,2 bar (druk waaronder ammoniak wordt getransporteerd bij 282 K)	
Grootte gat in tank	0,004 m ² (=diameter 75 mm)	0,002 m ² (= diameter 50 mm)
Uitstroomsnelheid	90 kg/s	40 kg/s
Gewicht gas	0,72 kg (bij 1 atm.)	

- De gaswolk is gedefinieerd aan de hand van een minimumconcentratie van het ammoniak welke letaal is voor de blootgestelden;
- De gaswolk kan zich in meerdere richtingen verspreiden;
- De wind en stabiliteit van het weer zijn van invloed op de snelheid en grootte van de gaswolk.

De wind bepaalt naast de snelheid en grootte van de gaswolk ook de mate van menging van het gas met de lucht. Bij een lagere snelheid van de wind zijn de concentraties weliswaar hoger maar is het effectgebied ook kleiner.

Uit de meteorologische gegevens van het KNMI blijkt dat in de periode van 1970 - 2000 een zeer groot deel van Nederland een gemiddelde windsnelheid heeft van tussen de 3,5 en 4,5 m/s.

8.4.2

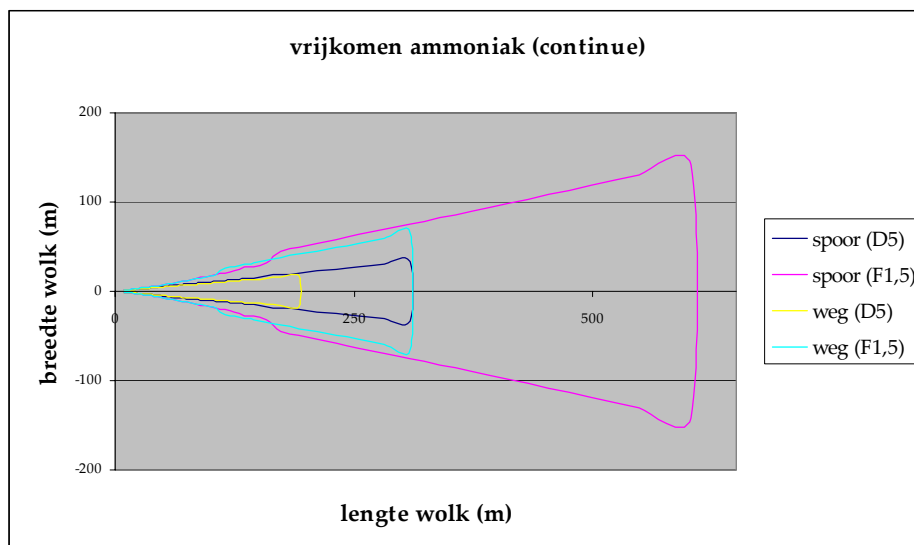
EFFECTEN

Voor het bepalen van de effecten van het vrijkomen van ammoniak is gebruik gemaakt van RBM-II. De uitstroomduur van het ammoniak genoemde inhoud en uitstroomsnelheid bij een treinwagon spoor duurt ruim 11 minuten (667 seconden) en bij een tankauto circa 8 minuten (=480 seconden).

De analyse naar het de ontwikkeling van de wolk is uitgevoerd voor een tweetal weertypen, D5 en F1,5. In onderstaande figuur is de te verwachten ammoniakwolk weergegeven in bovenaanzicht voor zowel weg als spoor met een letaliteitsgrens van groter dan 1%.

Figuur 8.9

Effecten vrijkomen ammoniak (continu)



De verspreiding en snelheid van de toxische wolk en daarmee de blootstellingsduur is afhankelijk van de windsnelheid. De wolk verplaatst zich ongeveer met dezelfde snelheid.

8.4.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

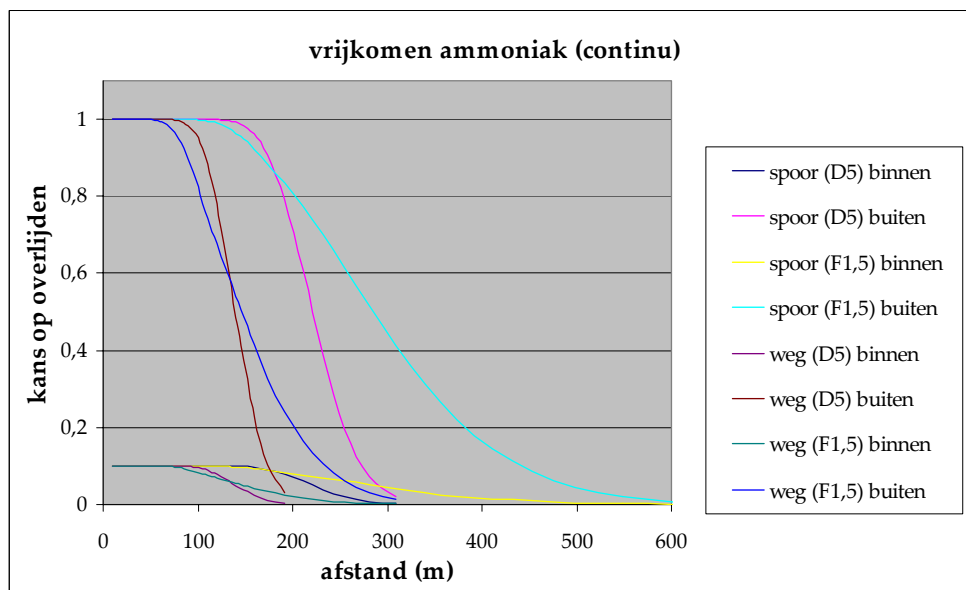
Bij een ongeval met een ammoniak is het niet direct duidelijk dat er ook een groot gevaar voor de aanwezige mensen is. Mensen vluchten pas bij duidelijke signalen zoals brand, explosies e.d.. Het lekkende gas is onzichtbaar.

De toxische wolk zal zich steeds verder van de bron af gaan bewegen en kan terwijl het mengt slachtoffers eisen. Nadat de tank leeg is geraakt zal de wolk verder worden meegevoerd en verder verdunnen.

In onderstaande figuur is de kans op overlijden uitgezet tegen de afstand van het vrijkomen van de toxische damp. Hierbij zijn twee weertypen weergegeven (D5 en F1,5), en is zowel de kans op overlijden binnen als buiten weergegeven (op basis van CPR16E en RBM-II wordt er vanuit gegaan dat de letaliteit binnen een factor 10 lager is als buiten). De bij behorende waarden voor enkele karakteristieke percentages zijn weergegeven in de tabel.

Figuur 8.10

Consequenties voor personen vrijkomen ammoniak (continu)



Tabel 8.39

Consequenties voor personen
vrijkomen ammoniak (continu)

Weerklasse	Kans op overlijden buiten [%]	Spoor [m]	Weg [m]
D5	100	115	65
	90	145	90
	50	220	140
	10	270	175
	1	310	210
F1,5	100	85	45
	90	120	90
	50	280	145
	10	440	230
	1	600	310

Zoals uit bovenstaande figuur en tabel blijkt is de windsnelheid en -richting van invloed op de ontwikkeling van de ammoniakwolk. Een hardere wind zal zorgen voor meer opmenging met de atmosfeer waardoor een kortere wolk ontstaat. Daarnaast is ook de bebouwing in de omgeving van invloed op het verloop van de wolk. In bovenstaande analyse is uitgegaan van 'stedelijk gebied', hieronder wordt intensieve bebouwing bedoeld zoals die in stadscentra aanwezig is.

Aanwezigen in gebouwen

De mate van letaliteit van aanwezige personen in gebouwen bij blootstelling aan een ammoniakwolk is sterk afhankelijk van een aantal factoren. Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan een toxisch gas de letaliteit een factor 10 lager is dan voor de berekende waarden buiten [3]. Dit is echter sterk afhankelijk van de duur van aanwezigheid van de wolk, de ventilatie in het gebouw (gedurende de aanwezigheid van de wolk en daarna), de reactietijd en de "openheid" van het gebouw. Deze waarden voor de letaliteit binnen zijn wel weergegeven in het eerder weergegeven diagram.

8.5

VRIJKOMEN VAN AMMONIAK, INSTANTAAN

8.5.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 8.40

Karakteristieken vrijkomen
ammoniak (instantaan)

Karakteristieken	
Stof	Ammoniak
Capaciteit tank	Spoor: 50 ton Wegvervoer: 16 ton
Druk in de tankauto/treinwagon	6,2 bar (druk waaronder ammoniak wordt getransporteerd bij 282 K)
Gewicht gas	0,72 kg (bij 1 atm.)

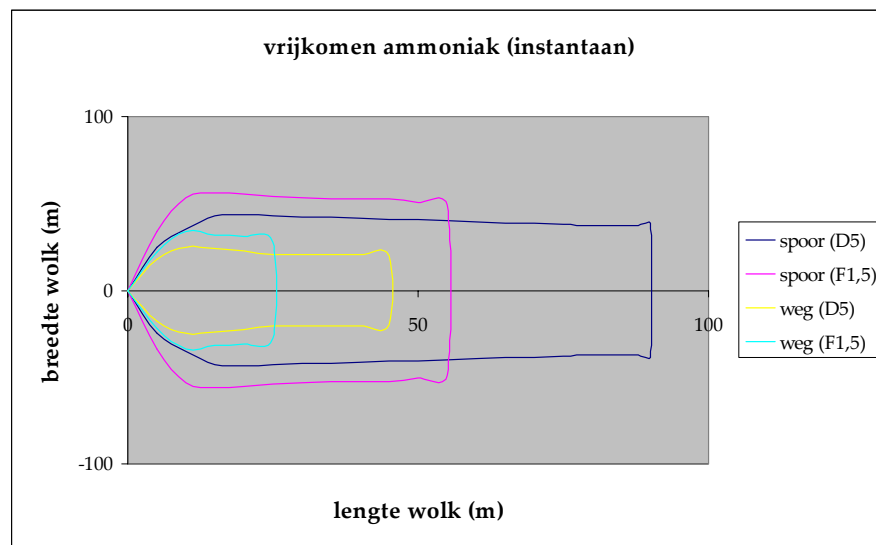
8.5.2

EFFECTEN

Voor het bepalen van de effecten van het vrijkomen van ammoniak instantaan is gebruik gemaakt van RBM-II. Het instantaan vrijkomen is het direct vrijkomen van de totale tankinhoud. De analyse naar het de ontwikkeling van de wolk is uitgevoerd voor een tweetal weertypen, D5 en F1,5. In onderstaande figuur is de te verwachten ammoniakwolk weergegeven (in bovenaanzicht) voor zowel weg als spoor met een letaliteitsgrens van groter dan 1%.

In deze beschouwing zijn de gevolgen van de overdruk als gevolg van het instantaan vrijkomen van ammoniak niet meegenomen daar deze niet maatgevend zijn.

Figuur 8.11
Effecten vrijkomen ammoniak
(instantaan)



De verspreiding en snelheid van de toxische wolk en daarmee de blootstellingsduur is afhankelijk van de windsnelheid. De wolk verplaatst zich ongeveer met dezelfde snelheid.

8.5.3 CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

Bij een ongeval met een ammoniak is het niet direct duidelijk dat er ook een groot gevaar voor de aanwezige mensen is. Mensen vluchten pas bij duidelijke signalen zoals brand, explosies e.d.. Het lekkende gas is moeilijk waarneembaar. De gaswolk verplaatst zich met de snelheid van de wind.

De toxische wolk zal zich steeds verder van de bron af gaan bewegen en kan terwijl het mengt slachtoffers eisen. In onderstaande figuur is de kans op overlijden uitgezet tegen de afstand van het vrijkomen van de toxische damp. Hierbij zijn twee weertypen weergegeven (D5 en F1,5), en is zowel de kans op overlijden binnen als buiten weergegeven. In de tabel zijn enkele karakteristieke waarden weergegeven.

Tabel 8.41
Consequenties voor personen
vrijkomen ammoniak
(instantaan)

Weerklasse	Kans op overlijden buiten [%]	Spoor [m]	Weg [m]
D5	90	72	39
	50	82	44
	10	99	53
	1	128	65
F1,5	90	73	44
	50	81	46
	10	93	50
	1	104	59

Aanwezigen in gebouwen

De mate van letaliteit van aanwezige personen in gebouwen bij blootstelling aan een ammoniakwolk is sterk afhankelijk van een aantal factoren (met name de mate van inlaat van de damp in het gebouw). Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan een toxisch gas de letaliteit een factor 10 lager is dan voor de berekende waarden buiten [3].

Dit is echter sterk afhankelijk van de duur van aanwezigheid van de wolk, de ventilatie in het gebouw (gedurende de aanwezigheid van de wolk en daarna), de reactie tijd en de “openheid” van het gebouw. Deze waarden voor de letaliteit binnen in gebouwen zijn wel weergegeven in de bovenstaande figuur.

8.6

VRIJKOMEN VAN CHLOOR, CONTINU

8.6.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 8.42

Karakteristieken vrijkomen chloor (continu)

Karakteristieken		
Stof	Chloor	
Capaciteit tank	Spoor: 55 ton	Weg: 16 ton
Druk in de tankauto/wagon	5,0 bar (druk waaronder chloor wordt getransporteerd bij 282 K)	
Grootte gat in tank	0,004 m ² (=diameter 75 mm)	0,002 m ² (= diameter 50 mm)
Uitstroomsnelheid	Ca 28,8 kg/s	12,8 kg/s
Gewicht gas	3,00 kg (bij 1 atm.)	

De gaswolk is gedefinieerd aan de hand van een minimumconcentratie van het chloor die schadelijk is voor de blootgestelden. De gaswolk kan zich in meerdere richtingen verspreiden. De wind is van invloed op de snelheid en grootte van de gaswolk. De gaswolk is zwaarder dan lucht en verspreidt zich dus over de grond.

Uit de meteorologische gegevens van het KNMI blijkt dat in de periode van 1970 – 2000 een zeer groot deel van Nederland een gemiddelde windsnelheid heeft van tussen de 3,5 en 4,5 m/s.

De zeer toxische stoffen worden in zeer beperkte aantallen vervoerd over de weg. Chloor is de voorbeeldstof voor het analyseren van de effecten.

In tegenstelling tot ammoniak is chloor zwaarder dan lucht. Bij het vrijkomen ervan zal het chloor dus meer aan de grond blijven ‘hangen’, en minder opmengen met de lucht. Hierdoor is de effect afstand bij het vrijkomen van chloor groter dan de effectafstand bij het vrijkomen van ammoniak.

8.6.2

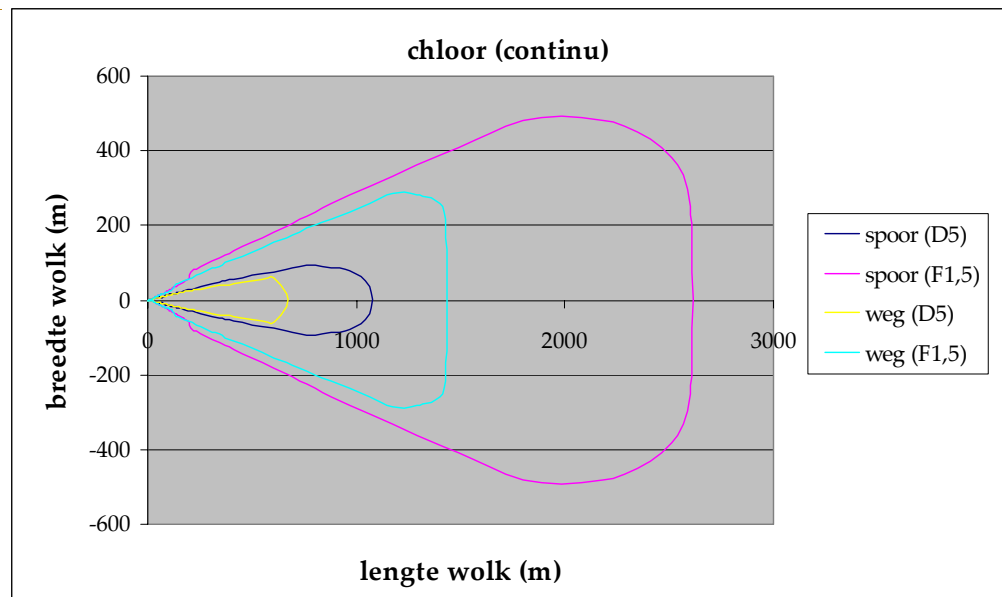
EFFECTEN

De wind bepaalt naast de snelheid en grootte van de gaswolk ook de mate van menging van het gas met de lucht. De ontwikkeling van de gaswolk is bepaald met behulp van RBM-II. De uitstroom van chloor duurt bij een treinwagon circa 550 seconden en bij een tankauto circa 360 seconden.

De analyse naar het de ontwikkeling van de wolk is uitgevoerd voor een tweetal weertypen, D5 en F1,5. In onderstaande figuur is de te verwachten chloorwolk weergegeven (in bovenaanzicht) voor zowel weg als spoor met een letaliteitsgrens van hoger dan 1%.

Figuur 8.12

Effecten vrijkomen chloor (continu)



8.6.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

Bij een ongeval met chloor is het niet direct duidelijk dat er een groot gevaar voor de aanwezige mensen in de omgeving is. Mensen vluchten pas bij duidelijke signalen zoals brand, explosies e.d..

In de onderstaande figuur zijn de uitkomsten weergegeven van de analyse (op basis van RBM-II) van de ontwikkeling van een chloorwolk bij een incident met een treinwagon. In het figuur is de kans op overlijden uitgezet tegen de afstand van het vrijkomen van de toxische damp. Hierbij zijn twee weertypen weergegeven (D5 en F1,5), en is zowel de kans op overlijden binnen als buiten weergegeven.

Zoals uit tabel en figuur blijkt is de windsnelheid en richting van invloed op de ontwikkeling van de chloorwolk. Een hardere wind zal zorgen voor meer opmenging met de atmosfeer waardoor een kortere wolk ontstaat. Daarnaast is ook de bebouwing in de omgeving van invloed op het verloop van de wolk. In bovenstaande analyse is uitgegaan van 'stedelijk gebied', zoals de intensieve bebouwing in stadscentra.

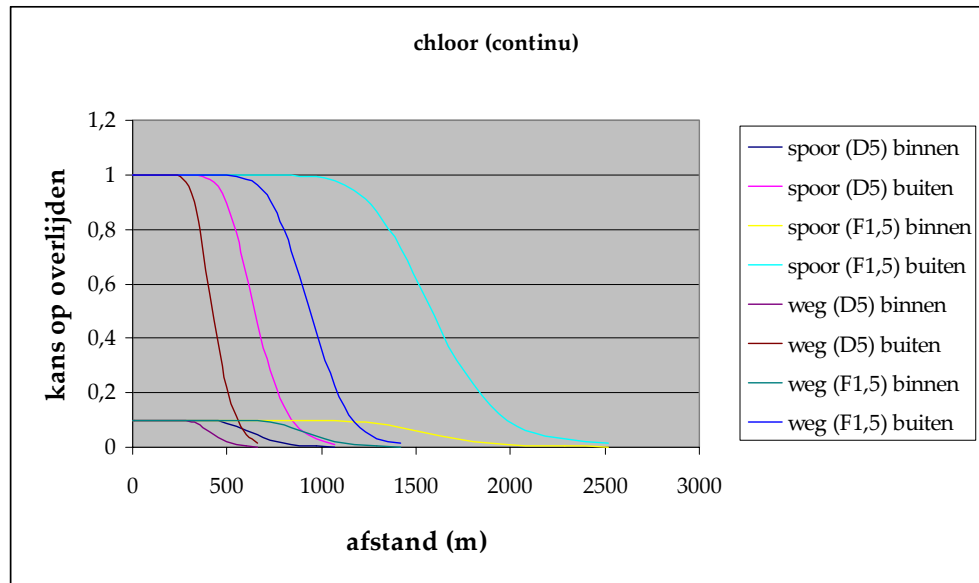
Tabel 8.43

Consequenties voor personen vrijkomen chloor (continu)

Weerklasse	Kans op overlijden buiten [%]	Spoor [m]	Weg [m]
D5	100	309	192
	90	500	325
	50	605	411
	10	860	548
	1	1070	700
F1,5	100	729	453
	90	1225	729
	50	1562	950
	10	1950	1175
	1	2516	1450

Figuur 8.13

Consequenties voor personen
vrijkomen chloor (continu)



Aanwezig in gebouwen

De mate van letaliteit van aanwezige personen in gebouwen bij blootstelling aan een chloorwolk is sterk afhankelijk van een aantal factoren (vooral is hierbij de inlaat van de damp in het gebouw relevant). Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan een toxisch gas de letaliteit een factor 10 lager is dan voor de berekende waarden buiten [3]. Dit is echter sterk afhankelijk van de duur van aanwezigheid van de wolk, de ventilatie in het gebouw (gedurende de aanwezigheid van de wolk en daarna), de reactie tijd en de "openheid" van het gebouw. Deze waarden voor de letaliteit voor personen in gebouwen zijn wel weergegeven in de bovenstaande figuur.

8.7

VRIJKOMEN VAN CHLOOR, INSTANTAAN

8.7.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 8.44

Karakteristieken vrijkomen
chloor (instantaan)

Karakteristieken	
Stof	Chloor
Capaciteit tank	Spoor: 55 ton Weg: 16 ton
Druk in de tankauto/wagon	5,0 bar (druk waaronder chloor wordt getransporteerd bij 282 K)
Gewicht gas	3,00 kg (bij 1 atm.)

8.7.2

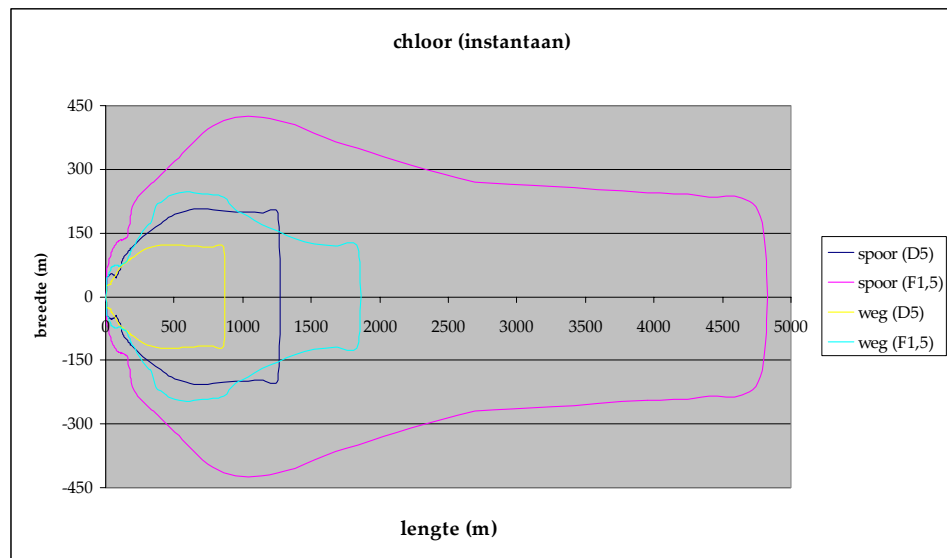
EFFECTEN

De effecten welke optreden bij het instantaan vrijkomen van chloor zijn bepaald aan de hand van RBM-II. Het instantaan vrijkomen is het direct vrijkomen van de totale tankinhoud. Hierbij is gekeken naar de vrijgekomen wolk welke een concentratie heeft waarvan de letaliteitsgrens groter is dan 1%.

In het onderstaande figuur is de ontwikkeling van de chloorwolk weergegeven (in bovenaanzicht) bij een tweetal weertypen (D5 en F1,5), zowel voor transport met de trein als vrachtwagen.

In deze beschouwing zijn de gevolgen van de overdruk als gevolg van het instantaan vrijkomen van chloor niet meegenomen daar deze niet maatgevend zijn.

Figuur 8.14
Effecten vrijkomen chloor
(instantaan)



8.7.3 CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

Bij een ongeval met chloor is het niet direct duidelijk dat er een groot gevaar voor de aanwezige mensen in de omgeving is. Mensen vluchten pas bij duidelijke signalen zoals brand, explosies e.d.. bij het instantaan vrijkomen zal direct na het vrijkomen de situatie letaal zijn in de nabijheid van het incident.

In de onderstaande figuur en tabel zijn de uitkomsten weergegeven van de analyse (op basis van RBM-II) van de ontwikkeling van een chloorwolk bij een incident met een treinwagon en tankauto. In het figuur is de kans op overlijden uitgezet tegen de afstand van het vrijkomen van de toxischewolk. Hierbij zijn twee weertypen weergegeven (D5 en F1,5), en is zowel de kans op overlijden binnen als buiten weergegeven.

Tabel 8.45
Consequenties voor personen
vrijkomen chloor (instantaan)

Weerklasse	Kans op overlijden buiten [%]	Spoor [m]	Weg [m]
D5	100	574	353
	90	814	523
	50	1014	655
	10	1239	818
	1	1496	975
F1,5	100	681	672
	90	1255	724
	50	1503	886
	10	2311	1057
	1	4966	1957

Aanwezigen in gebouwen

De mate van letaliteit van aanwezige personen in gebouwen bij blootstelling aan een chloorwolk is sterk afhankelijk van een aantal factoren (hierbij is met name de inlaat van toxische damp van belang). Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan

een toxisch gas de letaliteit een factor 10 lager is dan voor de berekende waarden buiten [3]. Dit is echter sterk afhankelijk van de duur van aanwezigheid van de wolk, de ventilatie in het gebouw (gedurende de aanwezigheid van de wolk en daarna), de reactie tijd en de "openheid" van het gebouw. Deze waarden voor de letaliteit van personen in gebouwen zijn wel weergegeven in de bovenstaande figuur.

8.8 SAMENVATTEND OVERZICHT

In de onderstaande tabel zijn de maximale effectafstanden voor toxische gassen en zeer toxische gassen weer gegeven.

Tabel 8.46

Totaal overzicht vrijkomen
toxische gassen

Effect		Spoor [m]		Weg [m]		opmerking
		Buiten	Binnen	Buiten	Binnen	
Toxiciteit	Ammoniak	600	440	310	230	F1,5 – continue uitstroming
	Chloor	4966	2311	1957	1057	F1,5 – instantaan vrijkomen

9.1**INLEIDING**

De categorie brandbare vloeistoffen omvat alle zeer brandbare vloeistoffen. Voorbeeld van zeer brandbare vloeistoffen zijn koolwaterstoffen zoals benzine. De volgende GEVI-nummers vallen in de categorie brandbare vloeistoffen:

Tabel 9.47

GEVI-nummer brandbare vloeistoffen

GEVI-nummer	Omschrijving
X323	Brandbare vloeistof, die op gevaarlijke wijze met water reageert onder ontwikkeling van brandbare gassen
33	Zeer brandbare vloeistof (vlampunt lager dan 23 °C)
X333	Pyrofore vloeistof, die op gevaarlijke wijze met water reageert
336	Zeer brandbare giftige vloeistof
338	Zeer brandbare bijtende vloeistof
X338	Zeer brandbare bijtende vloeistof, die op gevaarlijke wijze met water reageert
339	Zeer brandbare vloeistof, die aanleiding kan geven tot een spontane heftige reactie

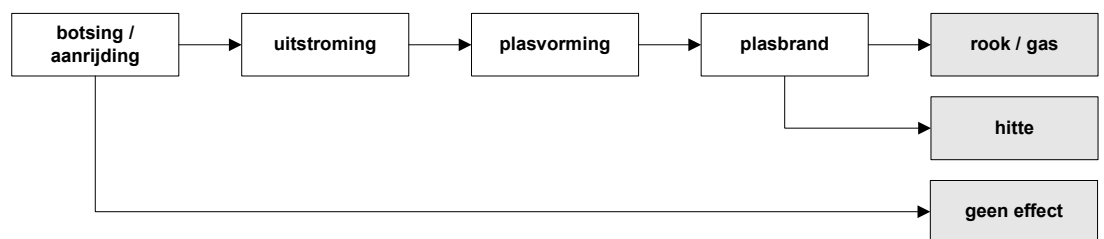
Voor de effectbeschrijving wordt uitgegaan van uitstromen van brandbare vloeistof en het ontstaan van een plasbrand na lek slaan of instantaan falen van een tank.

9.2**ONGEVALSBESCHRIJVING**

Figuur 9.15

Ongevalscenario's brandbare vloeistoffen

In onderstaand stroomschema zijn de verschillende ongevalsscenario's weergegeven voor brandbare vloeistoffen.



Er wordt bij de beschrijving van de effecten voor brandbare vloeistoffen van uitgegaan dat na het incident ontsteking plaatsvindt.

9.3**INVLOEDSFACTOREN**

Ligging spoor / weg:

Van grote invloed op de te ontwikkelen warmte bij de plasbrand is de grootte van de plas brandbare vloeistof en de afvoercapaciteit. Ligging op een talud zal bijvoorbeeld zorgen voor een grotere plas dan op maaiveld (indien geen opvang aanwezig is).

Windrichting en -kracht: Met name de windkracht en -richting is van invloed op de verspreiding en richting van de warmte en rook.

9.4 PLASBRAND

9.4.1 KARAKTERISTIEKEN

Tabel 9.48

Karakteristieken plasbrand

Karakteristieken		
Stof	Benzine	
Dampspanning bij 20°C	43 kPa	
Druk in de tankauto/wagon	Spoor: 1,0 bar (282 K)	Weg: 1,0 bar (282 K)

9.4.2 EFFECTEN

Overeenkomstig externe veiligheidsberekeningen wordt aangenomen dat de plas brandbare vloeistof altijd ontsteekt. De ontsteking kan hierbij direct of vertraagd plaatsvinden. Bij een directe ontsteking zal er een plasbrand ontstaan. Bij een vertraagde ontsteking zal er in eerste instantie een wolkbrand ontstaan die overgaat in een plasbrand. Hier wordt uitgegaan van directe ontsteking van de plas brandbare vloeistoffen.

In de onderstaande tabel is met analyse met RBM-II (op basis van CPR 14) voor enkele plasgrootten weergegeven welke warmteontwikkeling te verwachten is. Daarbij wordt uitgegaan van weerklassen D5 en F1,5. De weergegeven waarden zijn vanuit het centrum van de plas en gelden op grondniveau. Conform het CPR14 [1] is uitgegaan van een plasgrootte voor treinwagon van 300m² (r=9,77m) en 600m² (r=13,82m). Voor een tankauto is uitgegaan van een plasgrootte van 316m² (r=10,0m) en 1660m² (r=22,99m). Het verschil in plasgrootte tussen het spoor en de weg komt voornamelijk doordat er bij een incident op de weg sneller eenvoudiger vloeistof wegstroomt.

Tabel 9.49

Effecten plasbrand

Weerklasse	stralingswarmte [kW/m ²]	Treinwagon		Tankauto	
		R=10m	R=14m	R=10m	R=23m
D5	40	11	15	11	23
	20	17	16	17	24
	14	25	26	25	33
	10	32	35	32	46
F1,5	40	10	14	10	23
	20	13	15	14	24
	14	19	20	19	27
	10	25	27	25	36

De lengte van de vlam en de hoek van afbuiging zijn in de onstaande tabel weergegeven. De weergegeven is hoek is de afbuiging ten opzichte van een loodrechte lijn.

Tabel 9.50

Afmetingen vlam plasbrand

Weerklasse	treinwagon				Tankauto			
	R=10		R=14		R=10		R=23	
D5	31m	53°	40m	51°	32m	52°	58m	49°
F1,5	37m	35°	47m	33°	38m	34°	67m	31°

CPR 18E geeft voor de ontwikkeling van de plas bij kleine en grote uitstroming voor een treinwagon respectievelijk 300m² en 600m². En voor een tankauto 300m² en 1200m² voor

kleine en grote uitstroming. Van grote invloed op de ontwikkeling van de warmtestraling bij een plasbrand is de grootte van de te vormen plas.

9.4.3 CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

Warmtestraling

Er wordt aangenomen dat alle aanwezigen binnen de brand c.q. in de vlammen komen te overlijden.

Naast de slachtoffers in de vlammen zullen er slachtoffers vallen door warmtestraling. In CPR 18E [3] wordt de probitfunctie gegeven voor letale letselschade door warmtestraling. Hierin wordt ook aangegeven dat mensen niet langer dan 20 seconden worden blootgesteld. Daarna hebben mensen zich in veiligheid gebracht of zijn overleden als gevolg van de warmtestraling. Op basis hiervan is berekend dat 50% van de aanwezige mensen komt te overlijden bij circa 20kW/m² bij 20 seconden blootstelling. En dat bij een straling van circa 10 kW/m² 1% van de aanwezige personen komt te overlijden na 20 seconden blootstelling.

Aan de hand van de uitgevoerde analyse van de plasbrand is de volgende tabel opgesteld waarin de overlijdenskansen zijn weergegeven voor verschillende plasgroottes bij een tweetal weertype (D5 en F1,5).

Tabel 9.51

Consequenties voor personen plasbrand

Weerklasse	Kans op overlijden [%]	Treinwagon		Tankauto	
		R=10m	R=14m	R=10m	R=23m
D5	100	11	15	11	23
	50	17	16	17	24
	10	25	26	25	33
	1	32	35	32	46
F1,5	100	10	14	10	23
	50	13	15	14	24
	10	19	20	19	27
	1	25	27	25	36

Rook / gas

Van de verspreiding van giftige en/of bijtende (verbrandings-)gassen in de omgeving worden geen additionele effecten verwacht omdat verondersteld wordt dat bij een brand de omgeving tijdig kan worden geëvacueerd voordat inademing dodelijk is.

9.4.4 CONSEQUENTIES VOOR GEBOUWEN

In de CPR 18E [3] worden de volgende waarden met betrekking tot warmtestraling aangehouden welke van invloed zijn op gebouwen.

Tabel 9.52

Kritische stralingswarmte gebouwen

Stralingswarmte	[kW/m ²]
Kritische stralingswarmte tav brandoverslag	35
Maximale stralingswarmte glas	4

Bij deze waarden wordt er van uitgegaan dat er geen direct contact met de vlam is. Bij direct contact zal overslag van de brand plaatsvinden. Op basis van de geanalyseerde warmtestraling is bepaald welke schade er aan gebouwen op zal treden. In onderstaande tabel is de afstand waarop schade wordt verwacht weergegeven.

Tabel 9.53

Consequenties voor gebouwen
plasbrand

Weerklasse	schade	stralingswarmte [kW/m ²]	Treinwagon		Tankauto	
			R=10m	R=14m	R=10m	R=23m
D5	Brandoverslag	35	12	15	12	23
	Ruitbreuk	4	45	48	45	70
F1,5	Brandoverslag	35	11	14	11	23
	Ruitbreuk	4	36	42	36	55

Aanwezigen in gebouwen

Voor aanwezigen in het gebouw zal de constructie effectreducerend werken ten opzichte van mensen die zich buiten bevinden. De mate van reductie van de warmtestraling is sterk afhankelijk van het type gebouw en de toegepaste materialen. Daarnaast speelt de alarmering van aanwezigen en de mogelijkheid tot zelfredzaamheid in het gebouw een grote rol. Bij brandoverslag zal de situatie in de gebouwen voor de daar aanwezigen snel kritiek worden. In het CPR 18 [3] wordt gesteld dat mensen die zich in gebouwen bevinden veilig zijn bij een warmtestraling tot 35 kW/m².

9.5

SAMENVATTEND OVERZICHT

Tabel 9.54

Samenvattend overzicht
brandbare vloeistoffen

In de onderstaande tabel zijn de maximale effectafstanden weergegeven van zeer brandbare vloeistoffen.

Effect		Spoor [m]		Weg [m]		opmerking
		Buiten	Binnen	Buiten	Binnen	
Brand	Plasbrand	35	48	46	70	35 kW/w ² bij 15 resp. 23 meter

10 Toxische vloeistoffen

10.1

INLEIDING

Bij toxische vloeistoffen wordt een onderscheid gemaakt tussen toxische vloeistoffen en zeer toxische vloeistoffen. Acrylnitril is de enige stof in de categorie toxische stoffen. Onder categorie zeer toxische stoffen vallen vloeistoffen (voorbeeldstof is Acroleïne) met de volgende GEVI-nummers:

Tabel 10.55

GEVI-nummers toxische vloeistoffen

GEVI-nummer	Omschrijving
66	Zeer giftige stof
663	Zeer giftige brandbare stof
668	Zeer giftige bijtende stof
886	Sterk bijtende giftige stof
X88	Sterk bijtende stof, die op gevaarlijke wijze met water reageert
X886	Sterk bijtende giftige stof, die op gevaarlijke wijze met water reageert

Voor de effectbeschrijving wordt uitgegaan van uitstroming van toxische vloeistof na lekslaan of instantaan falen van een tank. Voor de beschrijving van de effecten wordt uitgegaan van plasverdamping van deze toxische stof en verspreiding van de damp in de omgeving.

10.2

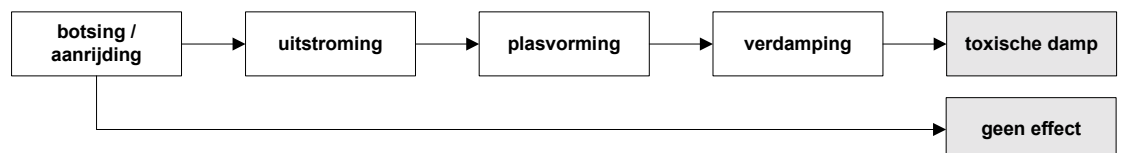
ONGEVALSBESCHRIJVING

Voor ketels met toxische vloeistoffen gelden dezelfde scenario's als voor brandbare vloeistoffen, met dien verstande dat plasverdamping kan leiden tot een toxisch luchtmengsel op afstand van de vloeistofplas en daarom dodelijke slachtoffers kan eisen in de omgeving.

In onderstaand stroomschema is het ongevalsscenario weergegeven voor zowel giftige als zeer giftige vloeistoffen.

Figuur 10.16

Ongevalsscenario's toxische vloeistoffen



De uitwerking van de effecten van het startincident gebeurt in de volgende subparagraaf. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de giftige en zeer giftige vloeistoffen.

10.3

INVLOEDSFACTOREN

- Ligging spoor / weg: Van grote invloed op de te ontwikkelen toxische damp door afdamping van de toxische vloeistof is de grootte van de mogelijke plas toxische vloeistof (en dus de afvoercapaciteit). Ligging op een talud zal bijvoorbeeld zorgen voor een grotere plas dan op maaiveld (indien geen opvang aanwezig is).
- Windrichting en -kracht: Vooral de windkracht is van invloed op de mate van afdamping van de plas toxische vloeistof. Verder bepaalt de wind de snelheid en grootte van de gaswolk en ook de mate van menging van het gas met de lucht.

10.4

VRIJKOMEN VAN TOXISCHE VLOEISTOF

10.4.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 10.56

Karakteristieken vrijkomen toxische vloeistoffen

Karakteristieken		
Stof	Acrylnitril	
Opslagdruk	Spoor: 1,0 bar bij 282 K	Weg: 1,0 bar bij 282 K

De vloeistofplas en daaruit ontstane gaswolk zijn gedefinieerd aan de hand van een concentratie van acrylnitril die schadelijk is voor de blootgestelden.

Acrylnitril is ook brandbaar. Bij deze analyse wordt er vanuit gegaan dat de plas niet ontsteekt en dat de toxische effecten maatgevend zijn. Bij ontsteking wordt verwezen naar de effectbeschrijving van hoofdstuk 5.

10.4.2

EFFECTEN

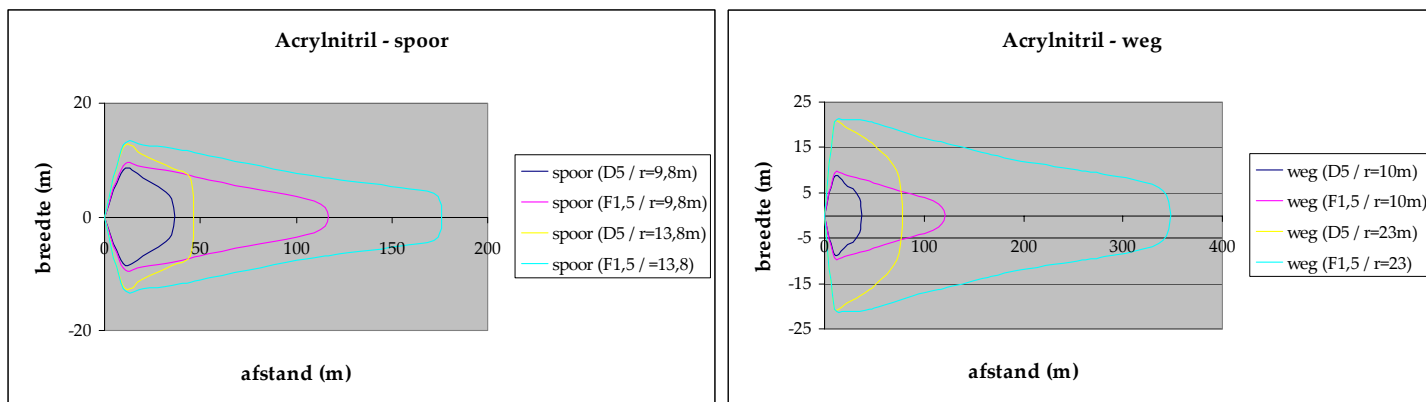
De oppervlakte van de vloeistofplas is bepalend voor de hoeveelheid die uiteindelijk als damp voor een extern effect kan zorgen. Evenals bij de beschrijving van de effecten van brandbare vloeistoffen is de omvang van de plas met toxische vloeistoffen van groot belang op de effecten.

Met behulp van RBM-II is de wolk geanalyseerd welke afdamp van een plas Acrylnitril. De wolk zal zich steeds verder van de bron af gaan bewegen en kan terwijl de damp met lucht mengt meerdere slachtoffers onderweg eisen. Nadat de tank leeg is geraakt zal de wolk verder worden meegevoerd en verder verdunnen. Door de zich verplaatsende wolk kunnen meer slachtoffers vallen dan wanneer deze blijft hangen. Op basis van CPR 18E wordt er voor een incident met een treinwagon bij de effectanalyse uitgegaan van een plasvorming van 300 m² (r=9,77m) en 600m² (r=13,82m). Bij een incident met een tankauto wordt uitgegaan van een plasmogte van 316m² (r=10m) en 1660m² (r=22,99m). Het verschil in plasmogte bij het spoor en weg komt doordat er bij een incident op de weg eenvoudiger een vloeistof wegstroomt waardoor een grotere plas gevormd wordt. Terwijl bij het spoor oa. het ballast zorgt voor een beperktere plasomvang.

In onderstaande figuren is de ontwikkeling van de wolk weergegeven (in bovenaanzicht) bij het afdampen van een plas acrylnitril, zowel voor spoor als weg. Hierbij zijn een tweetal weertypen weergegeven en een tweetal plasmogtes. Voor de weergegeven wolk geldt dat de letaliteitsconcentratie groter is dan 1%.

Figuur 10.17

Effecten vrijkomen toxische vloeistoffen



10.4.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

In onderstaande tabel is de kans op overlijden weergegeven en de afstand vanaf het incident (op basis van RBM-II). Hierbij is de kans op overlijden weergegeven van personen in de buitenlucht.

Tabel 10.57

Consequenties voor personen vrijkomen toxische vloeistoffen

Weerklasse	Kans op overlijden [%]	Treinwagon		Tankauto	
		R=10m	R=14m	R=10m	R=23m
D5	100	10	10	10	11
	50	14	20	15	30
	10	24	30	25	50
	1	35	45	35	75
F1,5	100	15	20	15	30
	50	47	65	50	105
	10	80	110	80	211
	1	115	174	120	340

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt is de windsnelheid en richting van invloed op de ontwikkeling van de afmetingen van wolk acrylnitril. Daarnaast is ook de bebouwing in de omgeving van invloed op het verloop van de wolk. In bovenstaande analyse is uitgegaan van 'stedelijk gebied', dit is het geval bij de intensieve bebouwing in stadcentra.

Aanwezigen in gebouwen

De mate van letaliteit van aanwezige personen in gebouwen bij blootstelling aan een wolk acrylnitril is sterk afhankelijk van een aantal factoren (met name de mate van inlaat in het gebouw is hierbij van belang). Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan een toxische damp de letaliteit een factor 10 lager is dan voor de berekende waarden buiten [3]. Dit is echter sterk afhankelijk van de duur van aanwezigheid van de wolk, de ventilatie in het gebouw (gedurende de aanwezigheid van de wolk en daarna), de reactie tijd en de "openheid" van het gebouw.

10.5

VRIJKOMEN VAN ZEER TOXISCHE VLOEISTOF

10.5.1

KARAKTERISTIEKEN

Tabel 10.58

Karakteristieken vrijkomen zeer toxische vloeistof

Karakteristieken		
Stof	Acroleïne	
Opslagdruk	Spoor: 1,0 bar bij 282 K	Weg: 1,0 bar bij 282 K

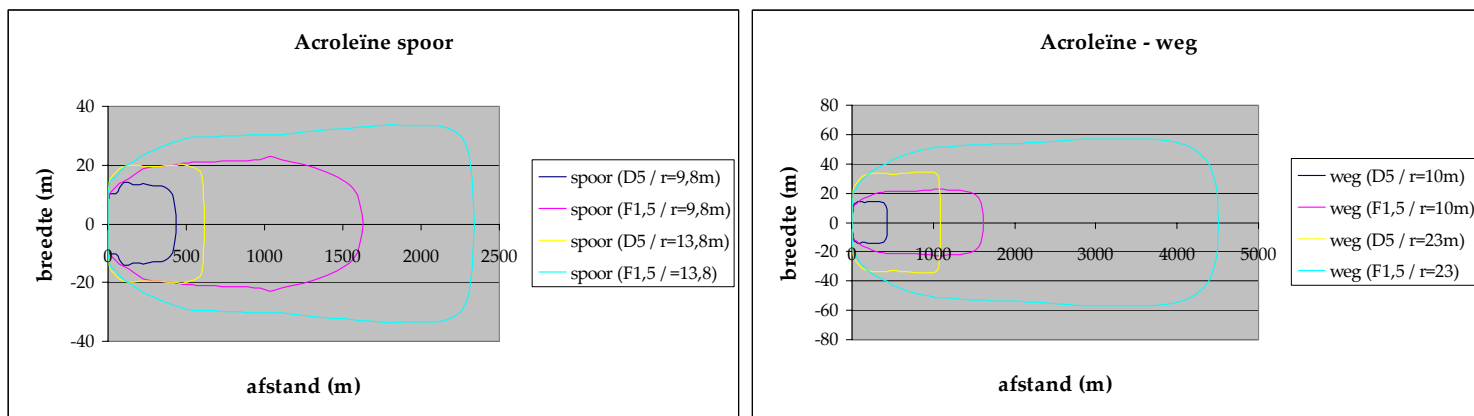
10.5.2

EFFECTEN

Figuur 10.18

Effecten vrijkomen zeer toxische vloeistoffen

Met behulp van RBM-II is de ontwikkeling van de toxische wolk geanalyseerd welke ontstaat als gevolg van het afdampen. Hierbij is omvang van de plas en de windsnelheid en weertype van invloed. In onderstaande twee diagrammen zijn de wolken weergegeven (in bovenaanzicht) waarvan de letaliteitsgrens groter is dan 1%.



10.5.3

CONSEQUENTIES VOOR PERSONEN

In onderstaande tabel is de kans op overlijden weergegeven en de afstand vanaf het incident (op basis van RBM-II). Hierbij is de kans op overlijden weergegeven van personen in de buitenlucht.

Tabel 10.59

Consequenties voor personen vrijkomen zeer toxische vloeistof

Weerklasse	Kans op overlijden [%]	Treinwagon		Tankauto	
		R=10m	R=14m	R=10m	R=23m
D5	100	65	90	65	159
	50	200	300	200	548
	10	309	453	309	802
	1	411	602	411	1067
F1,5	100	232	340	232	663
	50	729	1110	750	2080
	10	1100	1720	1100	3100
	1	1560	2290	1560	4460

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt is de windsnelheid en richting van invloed op de ontwikkeling van de afmetingen van wolk acroleïne. Daarnaast is ook de bebouwing in de omgeving van invloed op het verloop van de wolk. In bovenstaande analyse is uitgegaan van 'stedelijk gebied'

Aanwezig in gebouwen

De mate van letaliteit van aanwezige personen in gebouwen bij blootstelling aan een wolk acroleïne is sterk afhankelijk van een aantal factoren (vooral de mate van inlaat van de damp in het gebouw is hierbij van belang). Voor generieke situaties wordt gesteld dat bij blootstelling aan een toxische damp de letaliteit een factor 10 lager is dan voor de berekende waarden buiten [3]. Dit is echter sterk afhankelijk van de duur van aanwezigheid van de wolk, de ventilatie in het gebouw (gedurende de aanwezigheid van de wolk en daarna), de reactie tijd en de "openheid" van het gebouw.

10.6

SAMENVATTEND OVERZICHT

De maximale effectafstanden van toxische vloeistoffen en zeer toxische vloeistoffen zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 10.60

Overzicht vrijkomen toxische en zeer toxische vloeistof

Effect		Spoor [m]		Weg [m]		opmerking
		Buiten	Binnen	Buiten	Binnen	
Toxiciteit	Acrylnitril	174	110	340	210	F1,5 – r=14 (spoor) / r=23 (weg)
	Acroleïne	2290	1720	4460	3100	F1,5 – r=14 (spoor) / r=23 (weg)

BIJLAGE 1

Referentielijst

1. Methods for the calculation of physical effects, CPR 14E Part 1&2, het Gele boek, third edition 1997.
2. Methods for the determination of possible damage, CPR16E, het Groene Boek, first edition 1992.
3. Guidelines for Quantitative risk assessment, CPR 18E, het Paarse Boek, first edition 1999.
4. Ammoniak Opslag en Verlading, CPR 13-1, derde druk 1999.
5. Handleiding en achtergronddocument IPO-Risicoberekeningsmethodiek, AVIV iov Ministerie van V&W, 1997.
6. Basisfaalfrequenties voor het transport van gevaarlijke stof over de vrije baan, SAVE, mei 1995.
7. Instrument Domino-effecten (IDE), RIVM/VROM/DCMR/AVIV), mei 2003
8. TNO, Veiligheidsstudie spoorzone Dordrecht / Zwijndrecht, maart 2004
9. TNO, Advies structurele veiligheidsmaatregelen railtransport gevaarlijke stoffen bij Piazza Centre, februari 2004.
10. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1), VROM, maart 2005.
11. NIBRA, Maatregelen zelfredzaamheid, 12 juli 2005
12. Brandweer Breda, scenario-analyse Stationskwartier Breda, april 2004
13. TNO, Toetsingskader Externe Veiligheid Spoorzone Dordrecht / Zwijndrecht, maart 2004

COLOFON

EXTERNE VEILIGHEID LANGS TRANSPORTASSEN STUDIE NAAR BOUWKUNDIGE VOORZIENINGEN

OPDRACHTGEVER:

GEMEENTE TILBURG
Mevrouw. C. Vleer
PROGRAMMA BRABANT VEILIGER

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

Ir. S.A. Lezwijn	ARCADIS Infra
Ir. A.A. van der Giessen	ARCADIS Infra

GECONTROLEERD DOOR:

Drs. J.E. Nieuwenhuis	ARCADIS Infra
-----------------------	---------------

VRIJGEGEVEN DOOR:

Gemeente Tilburg

23 december 2005

ARCADIS Infra BV
Piet Mondriaanlaan 26
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Tel 033 4771 000
Fax 033 4772 000
www.arcadis.nl

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden vervoelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.