

Verkenning omgevingsveiligheidsbeleid met schillen langs de Utrechtsebaan

Project : 163055
Datum : 17 maart 2017
Auteur : J. Heitink
Review : R. Scheres
Status : Eindversie

Opdrachtgever:
Omgevingsdienst Haaglanden
t.a.v. F. van der Meijden
Postbus 14060
2501 GB Den Haag

Pagina niet beschreven

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Groepsrisico: stofcategorieën en zones.....	6
2.1	Werkwijze	6
2.2	Resultaten.....	8
2.3	Conclusies groepsrisico.....	9
3	Eerste lijn bebouwing als barrière	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Plaats van het incident	10
3.3	Bouwkundige maatregelen.....	11
3.4	Drukschade	12
3.5	Schade door warmtestraling	13
3.6	Conclusies eerste lijn bebouwing als barrière	19
4	Conclusies algemeen.....	21
	Referenties.....	22
	Bijlage 1 Beknopte beschrijving vuurbalmodel Martinsen&Marx	23

1 Inleiding

De Omgevingsdienst Haaglanden wenst de mogelijkheid te onderzoeken van een geconcretiseerd schillenmodel voor de Utrechtsebaan, met zijn specifieke omgevingskenmerken. De Utrechtsebaan wordt gekenmerkt door intensieve bebouwing met kantoor- of publieksfuncties direct langs en over de weg. Dat betekent dat het transport van gevaarlijke stoffen plaatsvindt door een omgeving waar hoge personendichtheden voorkomen. Kortom de externe veiligheid is hier een belangrijke omgevingskwaliteit.

In de modernisering van het omgevingsveiligheidsbeleid wordt een explicietere koppeling gelegd tussen het risico en de ruimtelijke invulling. Het ontwerp Besluit kwaliteit leefomgeving (consultatie versie 1 juli 2016) definieert drie aandachtsgebieden voor veiligheidsrisico's: een brandaandachtsgebied, een explosieaandachtsgebied en een gifwolk aandachtsgebied (art. 5.12). Deze worden door de gemeente aangewezen in het omgevingsplan. Binnen het brand- en explosie aandachtsgebied kan de gemeente vastleggen waar bepaalde bouwvoorschriften gaan gelden uit oogpunt van de bescherming van personen in bouwwerken (art.5.13). Deze gebieden hebben de vorm van schillen langs de transportroute. De voorschriftengebieden kunnen kleiner zijn dan de aandachtsgebieden.

Zeer kwetsbare gebouwen (minder zelfredzame of niet mobiele personen) worden in beginsel niet toegestaan binnen een aandachtsgebied, tenzij de kans op overlijden van personen in die gebouwen door een incident met een gevaarlijke stof verwaarloosbaar is (art. 5.14). Kwetsbare gebouwen kunnen in de aandachtsgebieden worden gebouwd, mits rekening is gehouden met het groepsrisico (art. 5.15). Overigens is deze regelgeving nog sterk in ontwikkeling. . Naar aanleiding van de laatste consultatie is door het ministerie van Infrastructuur en Milieu toegezegd om in het besluit het harde 'nee, tenzij' te vervangen door 'als het toch nodig is om binnen het aandachtsgebied te bouwen, doe dan al het mogelijke om de risico's te beperken'. Dat betekent ook dat aanvullende bouweisen niet genegeerd kunnen worden.

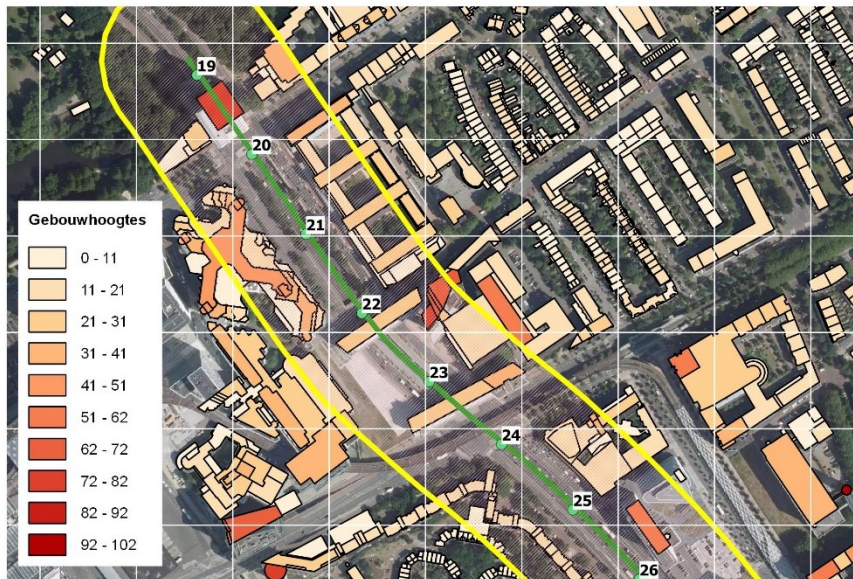
De vraag is nu wat zinvolle afstanden langs de weg zijn voor voorschriftengebieden in relatie tot de effecten die bij de verschillende scenario's van vrijkomen van gevaarlijke stoffen op de weg kunnen optreden. Zinvol betekent hier uit oogpunt van beheersing van het groepsrisico.

Het scenario dat het groepsrisico langs wegen bepaalt, is het BLEVE scenario van een LPG tankwagen. Langs basisnet wegen is daarom een aandachtsgebied van 200 m voorgesteld. De vraag is of dit in het geval van de Utrechtsebaan een geschikte afstand is om een ruimtelijk beleid op te baseren.

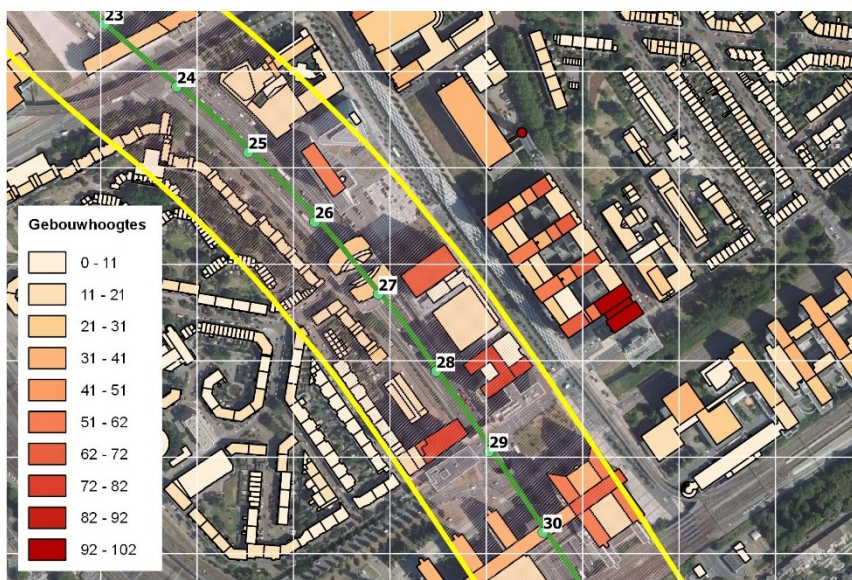
Een BLEVE brengt schade toe aan bouwobjecten door druk- en warmtebelasting¹. In een literatuurstudie is verkend wat het verschil is in afstand tussen deze twee schade toebrengende mechanismen [1]. Het blijkt dat zware schade aan gevels, vloeren en glas tot op 30 m van het ongevalspunt door dit scenario waarschijnlijk is. Glasschade alleen treedt mogelijk tot op grotere afstand (meer dan 100 m) op.

Schade door warmtestraling ten gevolge van een BLEVE bepaalt het groepsrisico. Conform de huidige schademodelering zullen alle in gebouwen aanwezige personen binnen 80 m van het ongevalspunt overlijden. Impliciet betekent dit dat de gebouwen door brand zullen bezwijken. Afscherming van warmtestraling door hoge eerste lijn bebouwing doet zich nauwelijks voor, gegeven de huidige effectmodellering. Dit wordt geïllustreerd in figuur 1 en figuur 2 [1].

¹ Uiteraard ook door gelanceerde fragmenten. De impact daarvan is echter zeer lokaal en wordt normaliter in risico-analyses op grond van het argument van een zeer lage trefkans niet beschouwd.



Figuur 1. Gebouwhoogtes in m binnen gebied 100% overlijden noordelijk gedeelte (grid 100 m)



Figuur 2. Gebouwhoogtes in m binnen gebied 100% overlijden zuidelijk gedeelte (grid 100 m)

Vraagstelling

De vraag is of het voorgestelde aandachtsgebied van 200 m langs een basisnet weg hier zinvol kan worden ingeperkt ten behoeve van het stellen van bouwvoorschriften ter bescherming van personen in gebouwen.

Zoals het ontwerp Besluit Kwaliteit Leefomgeving aangeeft is het groepsrisico bij het overwegen van de vestiging van kwetsbare gebouwen binnen een aandachtsgebied een verplicht criterium om rekening mee te houden (art. 5.15). In de eerste plaats is daarom nagegaan welke combinaties van stoffen en zones in de huidige situatie bepalend zijn voor het groepsrisico.

In de tweede plaats is het op voorhand duidelijk dat de eerste lijn bebouwing wel degelijk een reductie zal betekenen voor de bebouwing die daarachter ligt, hoewel dat in de huidige effect- en schademodelering niet wordt gehonoreerd. Daarom is verkend of in opvolging van de aanbevelingen

uit de literatuurstudie [1] nog vuistregels te formuleren zijn voor de relatie tussen afstand/hoogte/diepte van de eerste lijn bebouwing en de reductiefactor voor warmtestraling die daarachter wordt ontvangen.

2 Groepsrisico: stofcategorieën en zones

2.1 Werkwijze

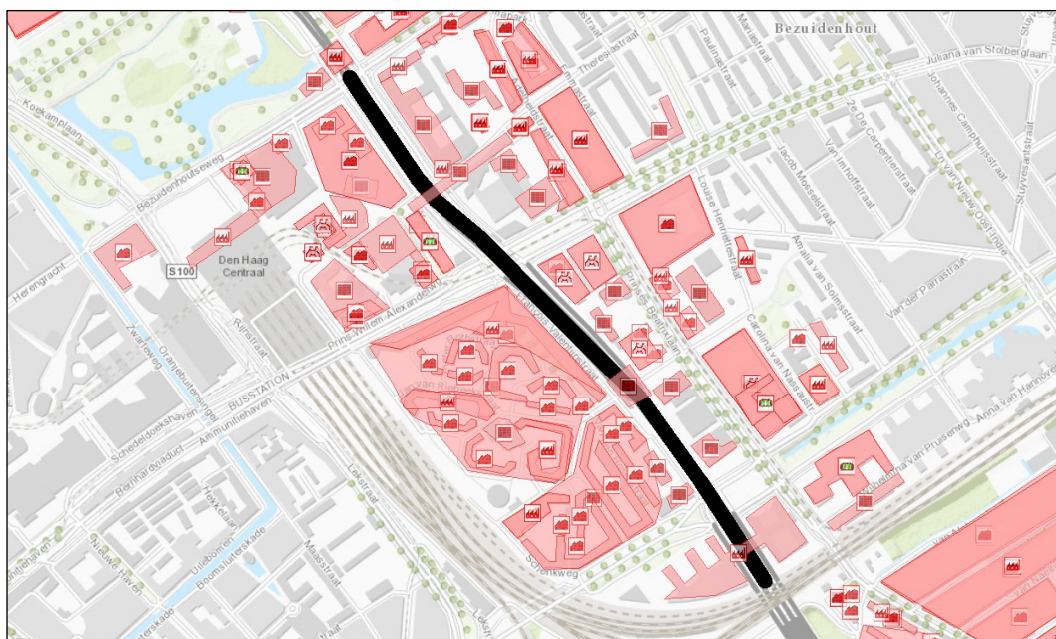
Onderzocht is wat de bijdrage is van verschillende bebouwingszone langs de Utrechtsebaan aan het groepsrisico. Uitgangspunt is het rapport Visie Grotiusplaats Anna van Buerenplein Den Haag [2]. Die studie onderzoekt de gevolgen van de aanleg van de Rijnlandroute o.a. verschillende scenario's voor de afname van het transport van LPG/propaan over de Utrechtsebaan.

De aanwezigheidsgegevens uit genoemde studie zijn gesplitst in een aantal zones langs de Utrechtsebaan: 0-40 m, 40-90 m, 90-200 m en > 200 m vanaf de hartlijn van de weg. Per stofcategorie (brandbaar, explosief, giftig) en per zone is het groepsrisico berekend.

De bewerkingen zijn gedaan op het bestand <Visie KCAP 17 december 2015 reductie GF3 50 procent zonder paviljoens.r2w>, dat hoort bij het eerder genoemde rapport. Het rekenbestand bevat de modellering van de Utrechtsebaan (ligging traject, type en transport gevaarlijke stoffen) en de actuele inventarisatie en modellering van de aanwezige bebouwing.

Traject

De lengte van het traject is aangepast zodat deze begint vanaf het spoorviaduct parallel aan de Von Geusaustraat en eindigt bij de kruising met de Bezuidenhoutseweg. Onderstaande figuur toont de modellering van het traject. Het traject is gemodelleerd als snelweg en een breedte van 25 m.



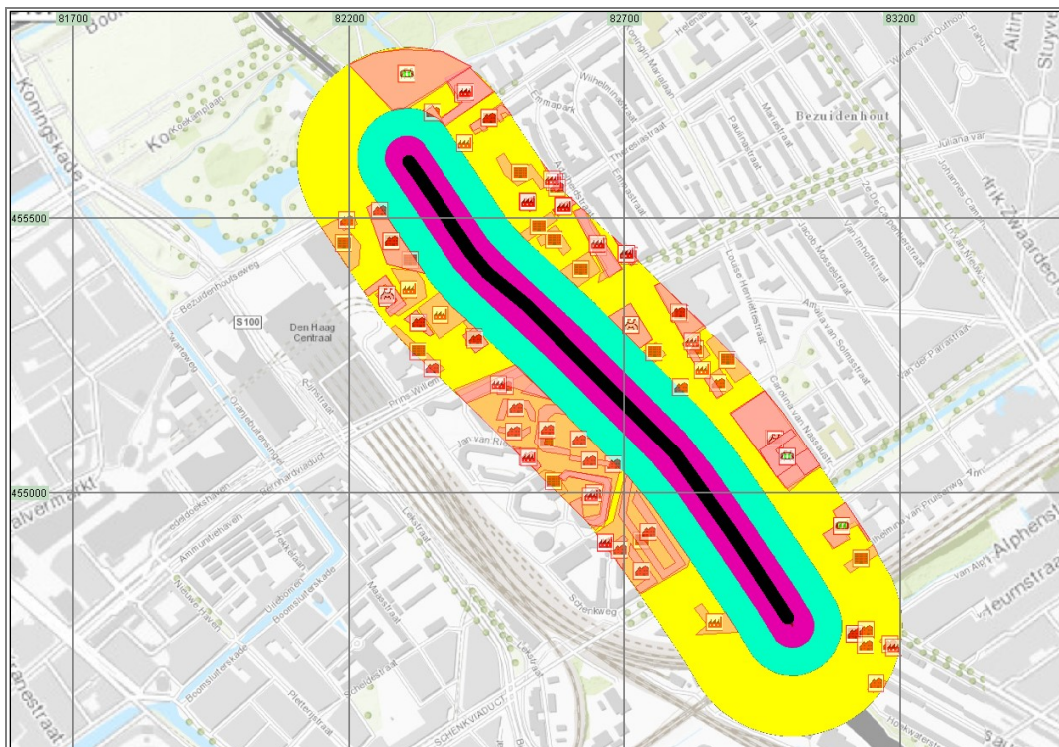
Figuur 3 Gemodelleerd traject Utrechtsebaan in RBMII

Bebouwing

Van het rekenbestand zijn vier kopieën aangemaakt voor de verschillende zones:

- voor de zone 0 - 40 m is alle bebouwing verwijderd vanaf 40 m van het midden van het traject.
- voor de zone 40 - 90 m is alle bebouwing verwijderd tot 40 m van het midden van het traject en vanaf 90 m van het midden van het traject.
- voor de zone 90 - 200 m is alle bebouwing verwijderd tot 90 m van het midden van het traject en vanaf 200 m van het midden van het traject.
- voor de zone 200 m en verder is alle bebouwing verwijderd tot 200 m van het midden van het traject.

De bebouwingsvlakken die in twee zones zijn gelegen zijn langs de begrenzing van de zones geknipt. De dichtheid van de aanwezigheid van personen is hierbij gelijk gehouden. Onderstaande figuur toont als voorbeeld de bebouwing binnen de zone 90 - 200m.



Figuur 4. RBMII modellering bebouwing voor de zone 90 - 200 m (gele zone). Grid is 500 m.

Transport gevaarlijke stoffen

De vervoerssamenstelling is gegeven in tabel 1.

Stofcategorie	Omschrijving	Aantal per jaar	Opmerking
LF1	Brandbare vloeistof	1494	
LF2	Brandbare vloeistof	1262	
GF3	Brandbaar tot vloeistof verdicht gas	383+68	68 transporten in het weekend
LT1	Toxische vloeistof	25+4	4 transporten in het weekend

Tabel 1 Vervoerssamenstelling [2]

Voor elke zone is voor de effecten: brandbaar (LF1 en LF2), explosief (GF3) en giftig (LT1) afzonderlijk het groepsrisico berekend. Het overige vervoer van gevaarlijke stoffen is dan niet meegenomen².

² Uitzondering hierop betreft de stofcategorie LF1/LF2, bij deze categorie is 1 transport van stofcategorie GF3 toegevoegd omdat de berekening anders geen uitkomsten geeft.

Te beschouwen situaties

In onderstaande tabel is aangegeven welke situaties zijn berekend.

Stofcat.	Zone 0 - 40 m	Zone 40 - 90 m	Zone 90 - 200 m	Zone vanaf 200 m
LF1/LF2 (brandbaar)	Ja	Nee (effecten reiken tot ca. 40 m)	Nee (effecten reiken tot ca. 40 m)	Nee (effecten reiken tot ca. 40 m)
LT1 (giftig)	Ja	Ja	Ja	Ja
GF3 (explosief)	Ja	Ja	Ja	Ja

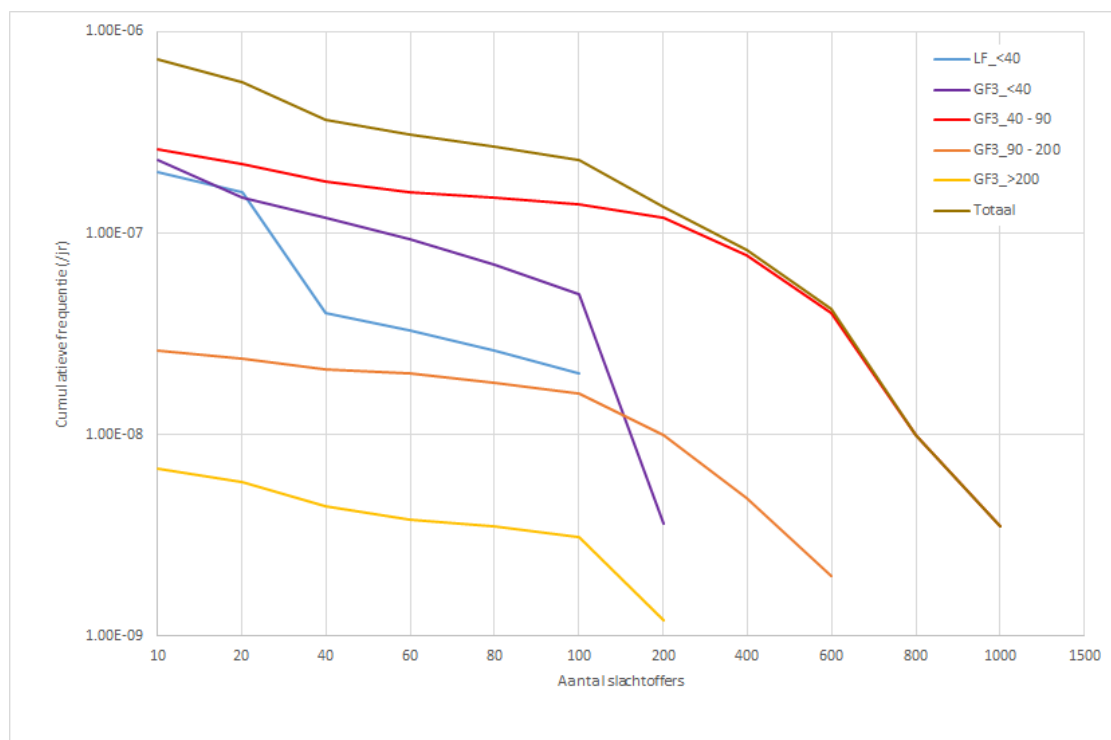
Tabel 2 Doorgerekende situaties

Zones buiten de maximale effectafstand van het grootste scenario van een stofcategorie dragen uiteraard niet bij en zijn dan ook niet doorgerekend, zoals tabel 2 laat zien.

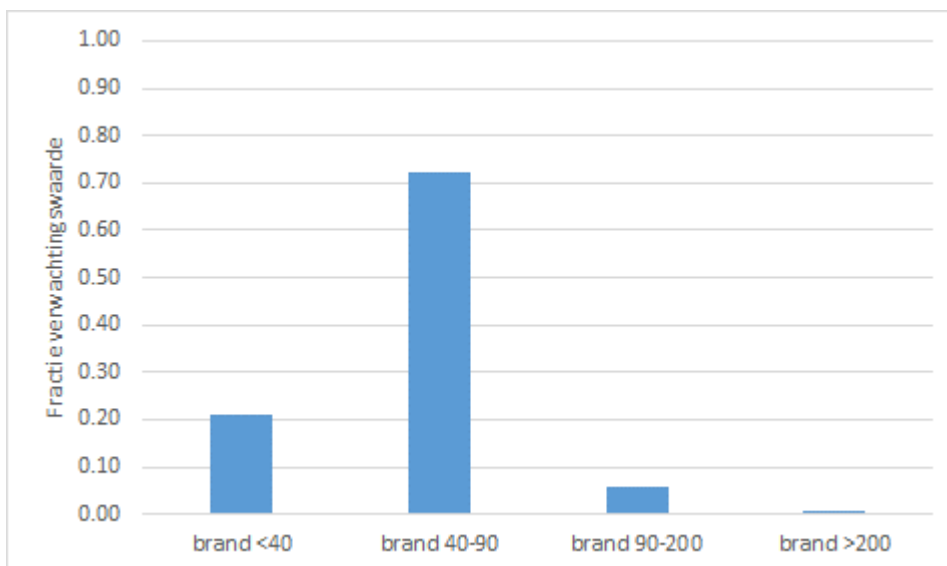
2.2 Resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in figuur 5 en figuur 6. Figuur 5 geeft de groepsrisicocurves per stofcategorie en per zone. Stofcategorie LT1 is niet weergegeven. Deze leidde niet tot een kans groter dan 10^{-9} op 10 slachtoffers of meer.

Het blijkt dat het groepsrisico in de zone tussen 40 en 90 m vanaf de hartlijn van de Utrechtsebaan door het transport van LPG/propana het groepsrisico domineert. Figuur 6 geeft dat op een andere manier weer. Hierin zijn de stofcategorieën brandbare vloeistoffen en gassen gesommeerd. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers (oppervlak onder de groepsrisicocurve) wordt voor meer dan 70% door de zone 40-90 m verklaard. De zones buiten 90 m dragen nog ca. 7% bij.



Figuur 5 Groepsrisicocurves Totaal en per stofcategorie en per schil



Figuur 6 Bijdragen van de schillen aan de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers

2.3 Conclusies groepsrisico

1. De aanwezigheid van personen binnen een aandachtsgebied van 200 m langs de Utrechtsebaan verklaart 99% van het groepsrisico.
2. De aanwezigheid van personen binnen een gebied van 90 m langs de Utrechtsebaan verklaart 93% van het groepsrisico.
3. Dat maakt de schil tot 90 m een geschikte begrenzing van een voorschriftengebied voor nieuwbouw voor brand en explosie in de zin van het ontwerp Besluit bouwwerken leefomgeving. Mogelijke voorschriften hebben betrekking op brandwerendheid, vluchtroutes, sterkte bij brand en beperken van scherfwerking (art. 4.92-4.98).
4. Deze conclusie is geldig voor de meeste situaties. Alleen bij hoge aanwezigheidsdichtheden direct buiten 90 m (kantoorstorens, evenementenhallen, grote hotels e.d.) of bij grootschalige buitenrecreatie is het mogelijk dat de ruimtelijke schil van 90-200 m een hogere bijdrage aan het groepsrisico heeft. Wanneer zich dat voordoet dienen de bijdrages van de schillen met een berekening te worden vastgesteld.
5. Dat maakt ook dat elke reductie van het aantal aanwezigen binnen 90 m van de Utrechtsebaan het groepsrisico in gunstige zin beïnvloedt. Als richtsnoer uitsluiten van nieuwbouw van zeer kwetsbare objecten (groepen o.a. minder zelfredzame personen zoals basisscholen³) is een ruimtelijk voorschrift dat bijdraagt aan het beperkt houden van het groepsrisico.
6. Eventueel kan het voorschriftengebied nog worden gedifferentieerd naar de gebieden 0-40 m en 40-90 m. In de eerste zone (0-40 m) zouden uit oogpunt van explosiebelasting op de gevels en constructie nog aanvullende voorschriften kunnen worden geformuleerd om de gevolgen van een BLEVE voor in de gebouwen verblijvende personen te beperken.

³ Zeer kwetsbare objecten worden opgesomd in bijlage VI van het Besluit kwaliteit leefomgeving. Naast basisscholen worden ook genoemd: gebouwen met een gezondheidszorgfunctie met bedgebed, gebouwen met een zorg-woonfunctie, gebouwen met onderwijsfunctie voor minderjarigen met en zonder lichamelijke of geestelijke beperking, gebouwen met een bijeenkomstfunctie voor kinderopvang en gebouwen met een celfunctie.

3 Eerste lijn bebouwing als barrière

3.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is gebleken dat de aanwezigen binnen de eerste 90 m vanaf de weg bepalend zijn voor de hoogte van het groepsrisico. Met name het scenario BLEVE van een gevulde tankwagen met een brandbaar tot vloeistof verdicht gas is daarvoor verantwoordelijk. Dit gegeven de huidige voorgeschreven rekenmodellen.

In de literatuurstudie [1] is al aangegeven dat

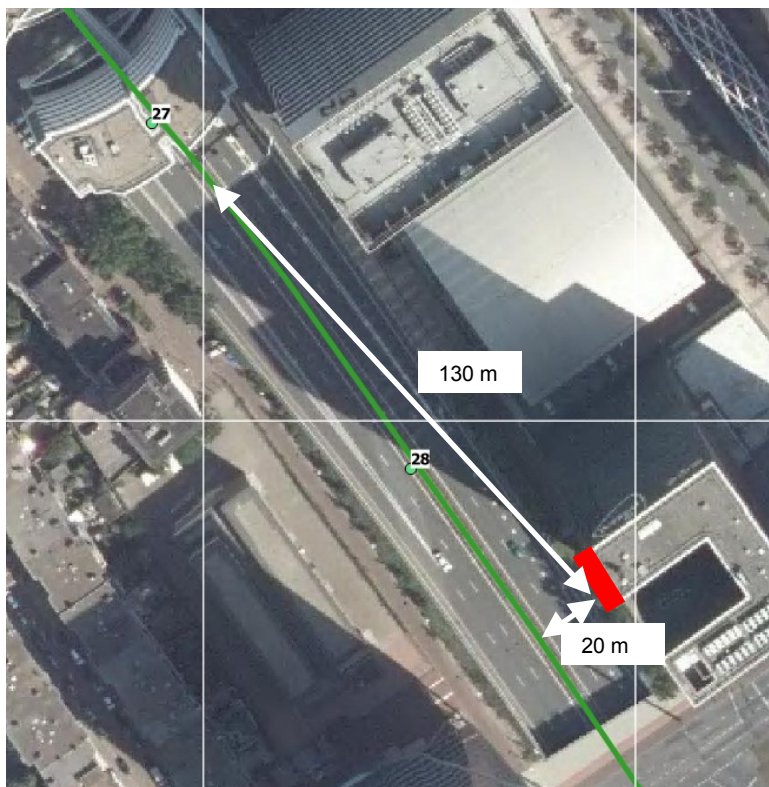
- de schade door warmtestraling verder reikt dan de overdrukschade, althans voor overlijden van personen
- het vuurbalmodel conservatief van opzet is, zodat er nauwelijks sprake is van afscherming van warmtestraling voor tweede lijn bebouwing door de eerste lijn bebouwing.

Door de voorgenomen wijziging van het vuurbalmodel blijft de warmtestraling weliswaar het dominante effect voor overlijden, maar het model geeft ook meer ruimte om de invloed van de hoogte en diepte van de bebouwing in de eerste lijn langs de weg te beschouwen. Dit hoofdstuk bevat een eerste verkenning daarvan.

3.2 Plaats van het incident

In de catalogus voor bouwkundige maatregelen [4] wordt al geconstateerd dat bij lijnbronnen, zoals een transportroute, de locatie van het incident een extra onzekerheid is. De afstand tussen een gevel direct langs de weg en het incident is variabel en dus ook de schade die ontstaat. Figuur 7 illustreert dit.

De kans dat het BLEVE scenario “voor de deur” (bv. voor de in de figuur met rood geaccentueerde gevel) optreedt ligt langs de Utrechtsebaan tussen 10^{-8} en 10^{-9} per jaar. Zinnige bouwkundige maatregelen voor deze situatie met de gevel op korte afstand tot de weg zijn er niet [4]. Maar het incident kan overal op de weg optreden, dus ook op veel grotere afstand, zoals in de figuur getoond. Behalve de afstand varieert ook de oriëntatie van het gevelvlak. Wat in geval van de ene locatie een kopgevel is, kan bij een andere locatie een langsgevel zijn. Beide aspecten, afstand en oriëntatie, zorgen ervoor dat schade door zowel overdruk als warmtestraling met bouwkundige maatregelen significant te verkleinen is. Voor incidenten op wat grotere afstand kan dat zinvol zijn.



Figuur 7. Voorbeeld van uiteenlopende afstanden gevel-ongevalsplaats en oriëntatie gevel

3.3 Bouwkundige maatregelen

Naast de al genoemde IPO catalogus [4] uit 2010 is recent de Handreiking Bouwen binnen een invloedsgebied gepubliceerd [5]. Samen geven ze een overzicht van de mogelijkheden van bouwkundige maatregelen tegen druk- en hittebelasting. Samengevat:

- Bouwkundige maatregelen komen pas in beeld na een ruimtelijke beoordeling: is het wel verstandig om daar te bouwen?
- Zodra die vraag (door het bevoegd gezag) met ja is beantwoord komt de vraag in beeld of met bouwkundige maatregelen de mogelijkheden tot zelfredzaamheid en bestrijdbaarheid vergroot kunnen worden.
- In het Bouwbesluit 2012 (en regeling) zijn voor bouwen in het plasbrandaandachtsgebied voorschriften opgenomen die een aanvullende bescherming bieden tegen plasbrand en toxische stoffen. Een aanvullende bescherming tegen explosies is voorzien in het BBL (Besluit bouwwerken leefomgeving). Art. 4.98 luidt: "In een explosievoorschriftengebied gelegen beglazing is zodanig dat scherfwerking bij een explosie wordt voorkomen".
- De zwakste schakels bij druk- en hittebelasting zijn de glasoppervlakken en daarna de gevel.
- De weerstand van glasoppervlakken tegen hitte- en drukbelasting is afhankelijk van de oppervlakte, de lengte/breedte verhouding, de verankering in het kozijn, de dikte en de glassoort.
- Er zijn geen combinatietesten gedaan, waarbij glas gelijktijdig is blootgesteld aan druk en hitte, zoals het geval is bij een BLEVE. Het gedrag is dan ook in het algemeen niet voorspelbaar.
- De vorm van de gevel (gezien vanuit de explosie bron) is sterk bepalend voor de opgenomen druk- en hittebelasting.
- De drukbestendigheid van een gevel is o.a. afhankelijk van bouwlaaghoogte, dikte binnenblad en de verankering aan de draagconstructie.
- Bij verdiepingshoogtes van 4.2 m, 300 mm binnenbladdikte en glas ER1 (gelamineerd dubbel glas) en hittereflecterend, is tot 40 kPa overdruk opneembaar.

- Vliesgevels, staalversterkt en hittereflecterend, kunnen tot 8 kPa overdruk opnemen.
- Tot 3 m² glasoppervlak is met dubbelglas 8 kPa overdruk goed haalbaar zonder dat het glas breekt.
- Met kleinere oppervlakken en veiligheidsglas is tot meer dan 100 kPa haalbaar zonder dat het glas breekt.

3.4 Drukschade

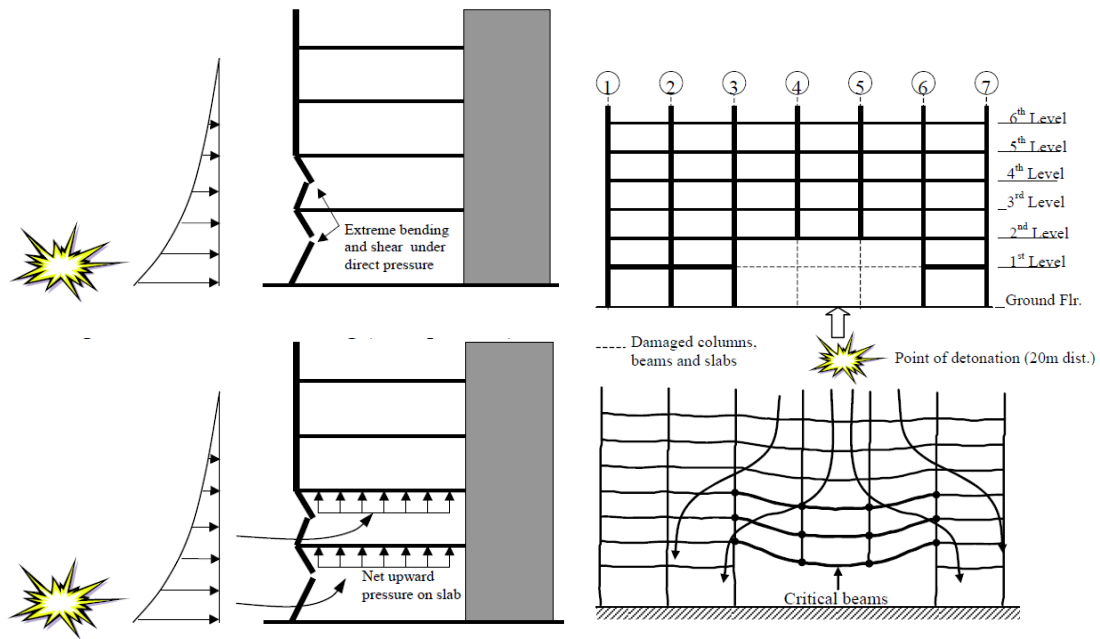
Het overdrukniveau voor de invallende schokgolf van 0.3 bar ten gevolge van een BLEVE van een tankwagen gevuld met propaan ligt op ca. 30 m, 0.1 bar op ca. 50 m [1]. Wanneer de schokgolf loodrecht wordt gereflecteerd (gevel loodrecht op richting schokgolf) is op 30 m een piekoverdruk in de orde van 1 bar mogelijk. Een indruk van de bijbehorende schadebeelden is gegeven in figuur 8⁴.



Figuur 8. Typische schadebeelden door explosie ca. 0.1 bar (links) en ca. 1 bar (rechts) [3]

Schade aan de constructie ontstaat mogelijk o.a. door directe drukbelasting van de schokgolf op de dragende kolommen en de negatieve drukfase op de vloerplaten. Door het bezwijken daarvan worden de overige constructiedelen overbelast, zodat voortschrijdende instorting kan volgen. Dit is geïllustreerd in figuur 9. Welke drukbelasting een constructie kan opnemen is van zeer veel factoren afhankelijk (materialen, verbindingen, paneeldiktes, gevelvormen en meer) en kan alleen met een maatwerk berekening worden vastgesteld.

⁴ Deze foto's zijn ontleend aan het incident in de Chinese havenstad Tianjin in 2015. Het ging hier om een ammoniumnitraat explosie in een containeropslag. De positieve fase duur van de schokgolf verschilt van die van een propaan explosie en daarmee ook de schade afstanden. Het gaat hier om een kwalitatieve indruk.



Figuur 9. Impact blast op kolommen, vloerpanelen en op hele draagconstructie [8]

Mensen in gebouwen tot ca 50 m zullen mogelijk overlijden ten gevolge van impact door gevel- en glasfragmenten⁵. Hierbij zullen de onderste bouwlagen het ernstigst worden beschadigd. Dit is dan ook de reden om aan te bevelen utiliteitsinstallaties en personen niet in ruimten te laten verblijven direct grenzend aan de transportroute [6]. In deze lijn ligt ook een aanbeveling zoals (vlucht)trappenhuizen niet aan de wegzijde, maar in de kern van het gebouw te situeren.

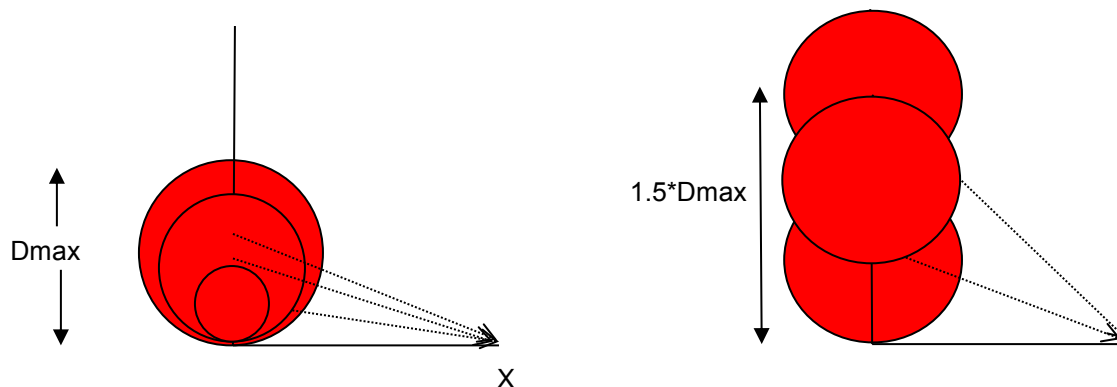
De eerste lijn bebouwing zal, mits voldoende aaneengesloten, de drukbelasting opvangen. In de volgende paragraaf over warmtestraling komt een praktisch criterium voor “voldoende” ter sprake. Bij nieuwbouw in de eerste lijn is het mogelijk rekening te houden met drukbelasting door explosies van buiten in het gevelontwerp (o.a. geometrie, materiaal, verankering aan de draagconstructie, glasoppervlakken en kozijnverankering), niet alleen wat betreft het gebouw zelf, maar ook met drukreflecties naar naast- en achterliggende gebouwen, zie ook de eerdere literatuurstudie [1]. De drukbelasting op gevels in de tweede lijn is in dat geval mogelijk kleiner. De ontwerpeisen voor bebouwing in de tweede lijn zouden dan ook lichter kunnen zijn dan voor de eerste lijn. Dit vraagt maatwerk per bouwproject en een integrale evaluatie en borging van het samenstel (of te wel samenspel) van gebouwen langs de weg.

3.5 Schade door warmtestraling

De diameter van de vuurbal ten gevolge van het instantaan vrijkomen van de inhoud van een tankwagen geladen met een brandbaar tot vloeistof verdicht gas door een verkeersongeval op de weg bedraagt ca. 160 m. Het centrum van de vuurbal ligt op een hoogte van eveneens ca. 160 m. Dit is de huidige voorgeschreven modellering van het verschijnsel [7]. Met gebouwhoogtes tot ca. 100 m is het duidelijk dat de reductie van de warmtestralingsdosis die de tweede lijn bebouwing ontvangt door schaduwwerking van de eerste lijn bebouwing zeer gering is.

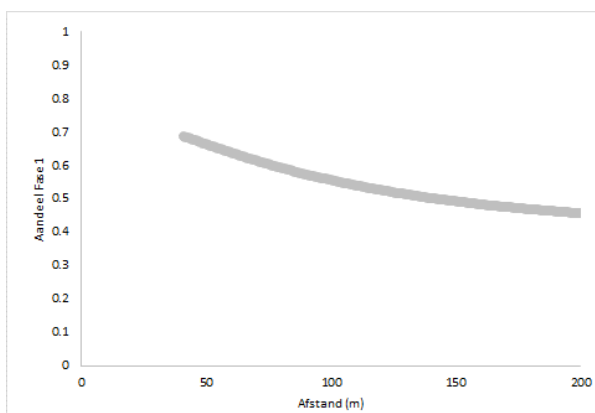
⁵ Buiten 50 m zullen tot op enkele honderden meters incidenteel nog ruiten kunnen bezwijken. Door de reflecties van de schokgolf tegen muuroppervlakken kan een onregelmatig schadepatroon ontstaan. Aan de ene kant van de straat kunnen alle ruiten eruit liggen, terwijl aan de overkant van de straat geen schade te zien is.

In de komende jaren zal naar verwachting het vuurbal model worden geactualiseerd. Het model van Martinsen en Marx (M&M) doet meer recht aan het dynamische karakter van de vuurbal. In de korte brandtijd (10.8 seconden) onderscheidt het model twee fasen. In de eerste fase, de eerste 33% van de brandtijd, neemt de diameter van de vuurbal op grondniveau toe tot de maximale diameter. De resterende tijd stijgt de vuurbal op tot een centrumhoogte van anderhalf maal de diameter. Figuur 10 illustreert dit. Een beknopte beschrijving van het model is opgenomen in bijlage 1.



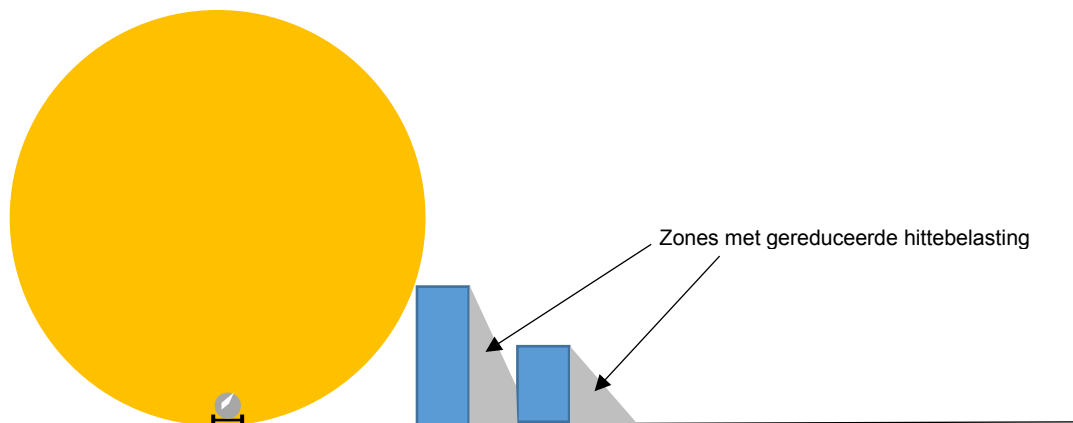
Figuur 10. Schematische weergave vuurbalmodel M&M, eerste 33% brandtijd (links), overige tijd (rechts) [1]

Een evaluatie van dit model laat zien dat de groeifase van de vuurbal, de eerste 33% van de brandtijd, correspondeert met 60-70% van de warmtestralingsdosis op een bepaalde plaats, zie figuur 11.



Figuur 11. Aandeel groeifase vuurbal in warmtestralingsdosis als functie van de afstand

Wanneer 70% van de ontvangen dosis veroorzaakt wordt door de fase waarin de vuurbal zich op grondniveau ontwikkelt, is de invloed van de afscherming door eerste lijn bebouwing potentieel groter dan in het huidige model. Achter de eerste lijn bebouwing zal een zone ontstaan met een gereduceerde hittebelasting, ervan uitgaande dat de draagconstructie van de bebouwing direct langs de weg in stand blijft. Figuur 12 illustreert dit principe. Voorwaarde is uiteraard dat de hoogte van de bebouwing in de tweede lijn kleiner is dan die in de eerste lijn.



Figuur 12. Schaduwwerking eerste lijn bebouwing, vuurbal op grondniveau

De mate van dosisreductie (ten opzichte van de vrije veld situatie) is afhankelijk van

- De afstand van de eerste lijn bebouwing tot de weg
- De hoogte van de eerste lijn bebouwing
- De afmeting van de eerste lijn bebouwing loodrecht op de weg
- De afstand en hoogte van de ontvanger van de warmtestralingsdosis (bv. op dakhoogte van de tweede lijn bebouwing).

Ter oriëntatie zijn berekeningen uitgevoerd voor de situatie zoals geïllustreerd in figuur 13. Voor verschillende gebouwhoogtes van een gebouw op 20 m afstand van de weg en een gebouwbreedte van 20 m zijn voor een ontvanger op grondniveau de dosis en de kans op overlijden als functie van de afstand berekend. De resultaten zijn getoond in figuur 14 en figuur 15. In dit specifieke voorbeeld bij een gebouwhoogte van ca. 50 m zakt de ontvangen dosis onder het niveau van de 1% overlijdenskans (zie figuur 14). De dosisreductie is dan meer dan 70% (figuur 15).

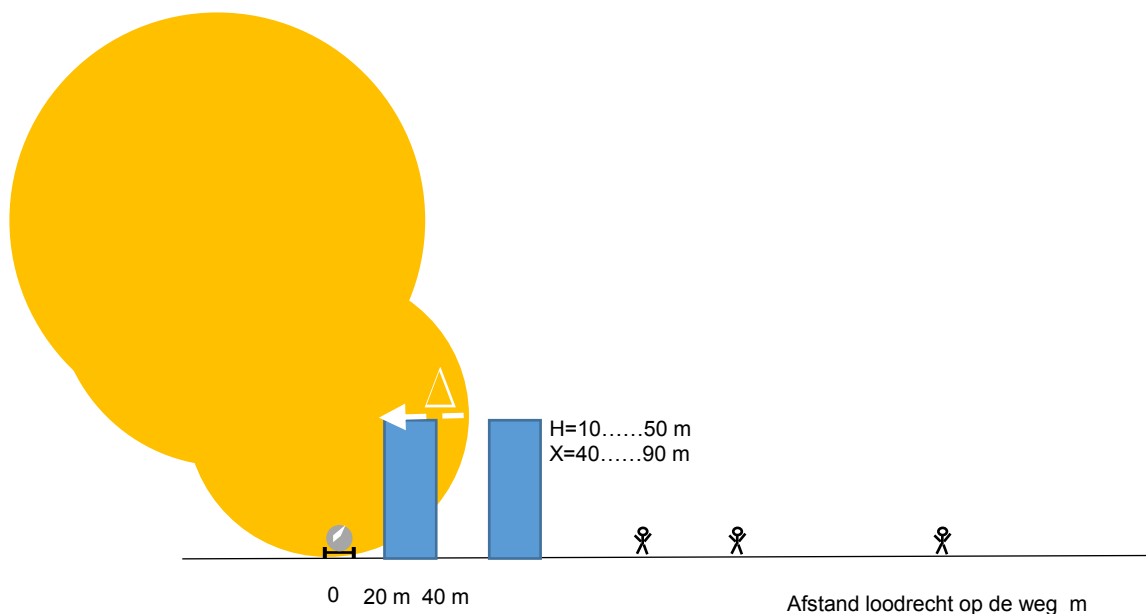
De eerste lijn bebouwing heeft een belangrijke invloed op de ontvangen dosis achter de eerste lijn. Die invloed bestaat uit twee factoren:

- afscherming van een deel van de warmtestraling van de vuurbal voor ontvangende oppervlakken achter de eerste lijn (schaduwwerking) en
- verplaatsing van de vuurbal. Tijdens de ontwikkeling op grondniveau “botst” de vuurbal tegen de façade van de eerste lijn. De uitzetting duwt de vuurbal van de bebouwing af. Dit is geïllustreerd in figuur 13 met de verschuiving Δ . In de modellering is hier verondersteld dat het centrum van de vuurbal over een afstand van 0.5 maal de diameter minus de afstand van de gevel van de eerste lijn tot de weg wordt verplaatst als de gebouwhoogte hoger is dan 0.7 maal de diameter wanneer het gebouw door de vuurbal wordt geraakt (meer dan 80% van het volume van de vuurbal wordt dan voor uitzetting geblokkeerd). Aanname is dat de afmeting van aaneengesloten bebouwing in de eerste lijn in de lengterichting eveneens groter is dan 0.7 maal de diameter van de vuurbal (in dit geval circa 100 m).

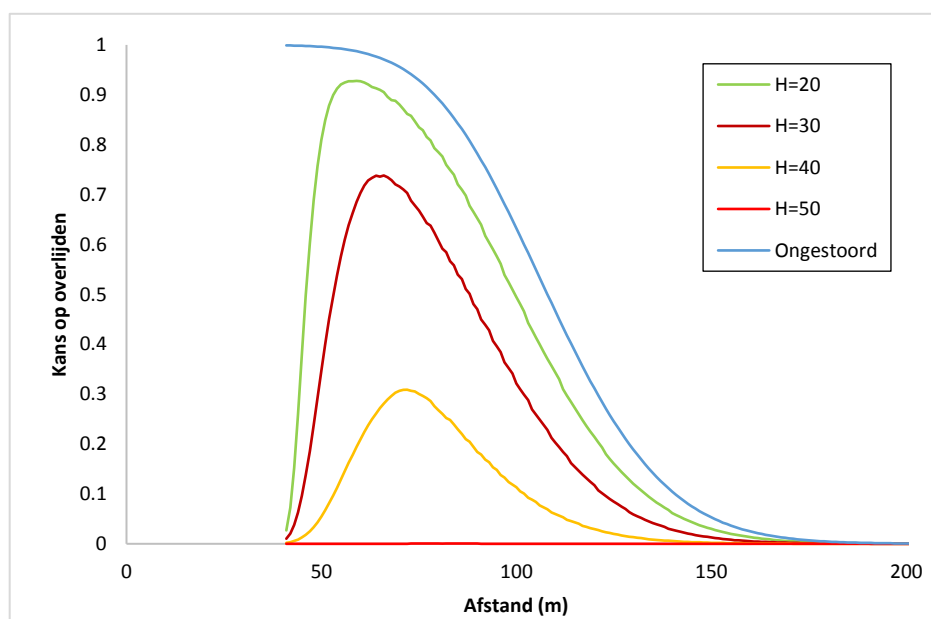
Voor het al dan niet ontstaan van brand kan de huidige grenswaarde voor de warmtestralingsdosis worden gebruikt. Deze grensdosis bedraagt bij 35 kW/m^2 en 20 seconden blootstellingstijd $2.29 \cdot 10^7 \text{ (J/sm}^2)^{4/3} \text{ s}$. Dit is de grenswaarde waarboven binnen verblijvende personen overlijden en waaronder zij voldoende beschermd zijn dankzij hun verblijf binnenshuis. Figuur 17 geeft voor verschillende hoogtes van de bebouwing in de eerste lijn afhankelijk van de hoogte van de ontvanger (de

ongunstigste situatie is op dakhoogte van de tweede lijn) tot op welke afstand deze grensdosis wordt overschreden, met andere woorden mogelijk brand in het gebouw ontstaat. Deze afstand neemt toe naarmate de hoogte van de tweede lijn bebouwing groter wordt. Bij een voldoende groot hoogteverschil blijft de warmtestralingsdosis echter onder de grenswaarde, m.a.w. ontstaat geen brand in het gebouw. Figuur 16 geeft de hoogteverhoudingen tussen de eerste lijn en de tweede lijn waar de afscherming van de warmtestraling zodanig is dat in de tweede lijn de grensdosis niet meer wordt overschreden, m.a.w. de kans op het ontstaan van brand in de tweede lijn significant wordt verkleind.

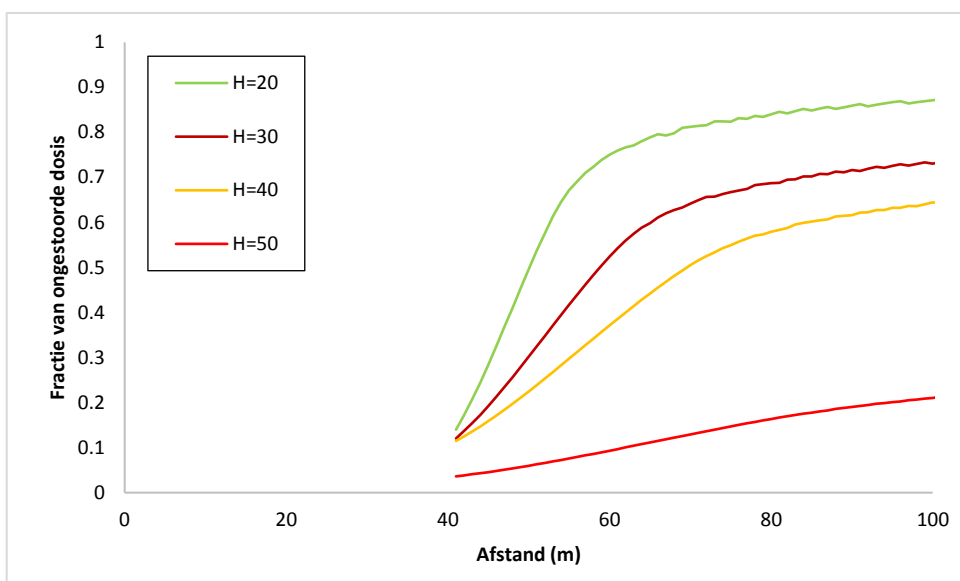
Wanneer de hoogte van de eerste lijn bebouwing groter is dan 60 m, wordt de grensdosis in de tweede lijn niet meer overschreden. Dit is een gevolg van de combinatie van de afscherming van de warmtestraling en de verplaatsing van de vuurbal.



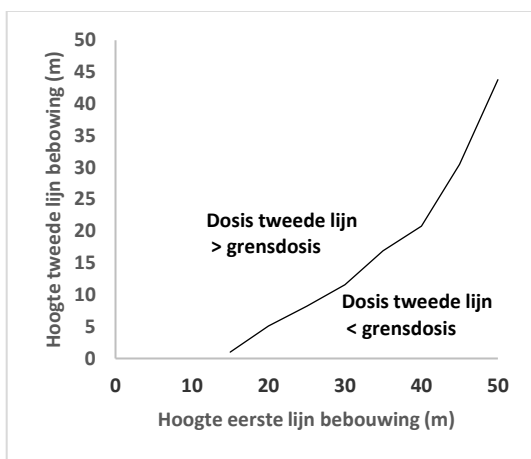
Figuur 13. Doorgerekende situaties



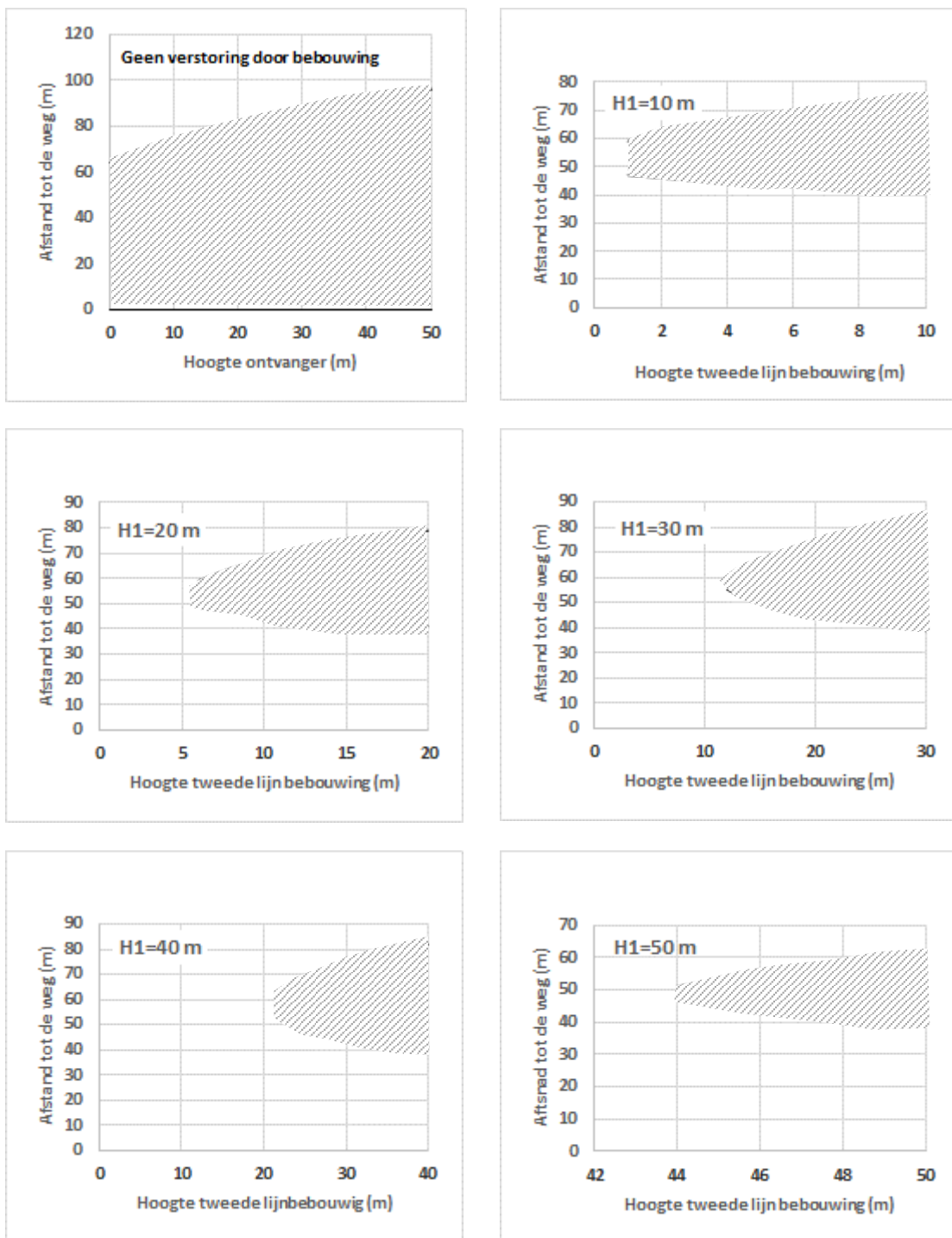
Figuur 14. Kans op overlijden op grondniveau bij verschillende gebouwhoogtes in de eerste lijn



Figuur 15. Ontvangen warmtestralingsdosis op grondniveau, fractie van ongestoorde dosis



Figuur 16. Hoogte tweede lijn bebouwing waarbij de stralingsdosis kleiner is dan de grensdosis als functie van de hoogte van de eerste lijn bebouwing



Figuur 17. Omvang gebied waar secundaire branden in de tweede lijn waarschijnlijk zijn (d.w.z. de grensdosis wordt overschreden), afhankelijk van hoogte eerste (H1) en tweede lijn bebouwing (afstand voorgevel eerste lijn bebouwing tot de weg 20 m, achtergevel 40 m)

3.6 Conclusies eerste lijn bebouwing als barrière

1. Routes introduceren een variabele ongevalsplaats en dus een extra spreiding in de voorspelling van de omvang van de schade.
2. De kans op een scenario “voor de deur” is meestal voor de Utrechtsebaan in de orde van 10^{-8} per jaar. Op een korte bebouwingsafstand van ca. 20 m zijn bouwkundige maatregelen weinig kansrijk in het voorkomen van schade door het instantaan falen van een tankwagen met een tot vloeistof verdicht brandbaar gas (glas, gevel). De overdruk en impuls van de gereflecteerde schokgolf zijn daarvoor te groot.
3. Voor de blootstelling van constructies en oppervlakken aan de combinatie van druk- en hittebelasting zijn weinig praktijktesten beschikbaar. De voorspelling van de schade omvang is daarmee onzeker.
4. Tot ca. 1 bar overdruk zijn wel zinvolle maatregelen mogelijk (glas, gevel, draagconstructie) die kansrijk zijn voor bescherming van binnen verblijvende personen. Een indicatieve afstand hiervoor is 30 m.
5. Voor drukbelasting geldt dat de bebouwing in de eerste lijn de piekdrukken op bebouwing in de tweede lijn reduceert mits er niet te grote gaten zijn in de eerste lijn van aaneengesloten bebouwing. Gevelvormen bepalen drukgolfreflecties. Het ontwerp op drukbelastingen wordt daarmee niet meer beperkt tot 1 gebouw. Gebouwontwerp wordt daarmee een ontwerp van gebouwensembles.
6. In de huidige modellering van het vuurbalverschijnsel (BLEVE) geeft de eerste lijn bebouwing nauwelijks een reductie van de warmtestralingsbelasting op de tweede lijn.
7. Met de verwachte overgang naar een dynamisch vuurbalmodel is wel een significante reductie van de warmtestralingsbelasting op de tweede lijn te verwachten ten gevolge van de bebouwing in de eerste lijn. Een aaneengesloten bebouwingslengte langs de weg in de orde van 100 m of meer is daarvoor wel vereist. De reductie wordt met name veroorzaakt door twee factoren:
 - De schaduwwerking van de eerste lijn bebouwing
 - De verplaatsing van de vuurbal gedurende de groeifase door de belemmering van de uitzetting van de vuurbal in de richting van de bebouwing.
8. Een modelaanpak is ontwikkeld voor de kwantificering van de reductie van de warmtestraling van een vuurbal op de tweede lijn bebouwing door de bebouwing in de eerste lijn. Voor een gebouwconfiguratie die vergelijkbaar is met die langs de Utrechtsebaan zijn verkennende berekeningen uitgevoerd. Enkele resultaten zijn:
 - Wanneer de bouwhoogte in de eerste lijn groter is dan 60 m is de afscherming van de warmtestraling door een BLEVE zodanig dat de kans op het ontstaan van brand in de tweede lijn bebouwing significant kleiner is.
 - Voor elke bouwhoogte in de eerste lijn is een hoogte in de tweede lijn aan te geven waaronder de kans op brand in de tweede lijn door een vuurbal significant kleiner is ten gevolge van de afscherming door de eerste lijn.
 - Bij voldoende hoogteverschil tussen de eerste en de tweede lijn wordt het ontstaan van brand in tweede lijn door een BLEVE voorkomen.
 - Voor elke combinatie van bouwhoogte in de eerste lijn en bouwhoogte in de tweede lijn is een afstandsinterval aan te geven waarbinnen de warmtestralingsdosis de huidige in QRA's gehanteerde grenswaarde voor overlijden van personen in gebouwen (35 kW/m^2 gedurende 20 seconden) overschrijdt. Buiten dat interval is de warmtestralingsdosis lager. Dat biedt wellicht aanknopingspunten voor beschermende maatregelen, zoals de keuze van de brandwerende eigenschappen van het dak- of gevelmateriaal.

- Vanaf een bouwhoogte in de eerste lijn van ca. 20 m is een reductie van praktische betekenis van de warmtebelasting op de tweede lijn te verwachten, afhankelijk van de bouwhoogte in de tweede lijn.
- 9. Als de bouwhoogte in de eerste lijn groter is dan ca. 50 m wordt de bijdrage van aanwezigen in de tweede lijn aan het groepsrisico sterk verminderd.

4 Conclusies algemeen

De volgende conclusies zijn te trekken voor een aanpak met ruimtelijke schillen rond de Utrechtsebaan om de ontwikkeling van het risico voor de externe veiligheid te beheersen.

1. Binnen een aandachtsgebied van 200 m is het beperken van een eventueel voorschriftengebied tot 90 m zinvol. De eerste 90 m is immers de zone die het groepsrisico voor meer dan 90% bepaalt.
2. Binnen die zone van 90 m tot de weg heeft de eerste lijn bebouwing invloed op de schade in de tweede lijn. Bij voldoende hoogte in de eerste lijn en niet te grote gaten in de eerste lijn is de bijdrage van de tweede lijn aan het groepsrisico beperkt. Het dynamisch vuurbalmodel van Martinsen&Marx maakt een kwantitatieve evaluatie hiervan mogelijk. Hiervoor is een eenvoudige modelmatige aanpak ontwikkeld.
3. Binnen de eerste lijn, tot ca. 50 m, kunnen bouwkundige maatregelen gericht op de combinatie van hitte- en drukbelasting de kans op en omvang van de schade door een BLEVE beperken. Er blijven echter scenario's waarvoor bouwkundige maatregelen geen soelaas bieden (explosie "voor de deur"). Personen zullen mogelijk overlijden ten gevolge van impact door gevel- en glasfragmenten. Hierbij zullen de onderste bouwlagen het ernstigst worden beschadigd. Daarom is het aan te bevelen om ruimtes voor utiliteitsinstallaties en personen niet direct te laten grenzen aan de transportroute.
4. De eerste modelresultaten geven aan dat voor bouwhoogtes in de eerste lijn tot ca. 35 m geldt dat, als de hoogte in de tweede lijn ca. 15 m lager is dan de eerste lijn, de kans op het ontstaan van brand in de tweede lijn door een BLEVE zeer klein geworden is. Als de bouwhoogte in de eerste lijn groter is dan ca. 60 m is de kans op het ontstaan van brand in de tweede lijn bebouwing door een BLEVE zeer klein geworden ongeacht de bouwhoogte in de tweede lijn.
5. Bebouwing in de eerste 90 m langs de weg wordt een samenspel. De hele configuratie bepaalt de omvang van de schade bij een brand/explosie scenario. Per nieuw te ontwikkelen gebouw zal gekeken moeten worden hoe dit gebouw ten opzichte van de weg en de andere gebouwen gesitueerd is of kan worden. Afhankelijk daarvan kunnen verschillende aanvullende bouwvoorschriften personen binnen het gebouw extra bescherming bieden tegen de gevolgen van een BLEVE.
6. De ontwikkelde modelaanpak lijkt perspectief te bieden voor het in een specifieke lokale situatie koppelen van bouwkundige en omgevingsmaatregelen aan de mate van bescherming die gebouwen bieden aan binnen verblijvende personen. Het groepsrisico, dat in de voorgeschreven rekenwijze nog geen rekening houdt met obstakels voor warmtestraling, kan met deze maatregelen mogelijk worden verminderd. De modelaanpak zou voor een bredere implementatie nog wel verder moeten worden doorontwikkeld (validatie, robuustheid, meer configuraties).

Referenties

- 1 AVIV 2016, BLEVE scenario bij verdiepte ligging en overkluizing, een literatuurverkenning, AVIV rapport 163055, 18 juli 2016
- 2 Peutz 2015, Visie Grotiusplaats Anna van Buerenplein Den Haag, Berekening groepsrisico, Peutz rapport O15449-3-RA d.d. 16 maart 2016
- 3 ARUP 2015, Tianjin explosions
- 4 IPO 2010, Bouwkundige maatregelen externe veiligheid
- 5 Miltenburg R.T.J. van, Bouwen binnen een invloedsgebied, deel 1 en deel 2, Laboratorium voor externe veiligheid 2016
- 6 Suddle, S.I., Weerheijm, J., Berg, A.C. van den., & Vambersky, J.N.J.A. (2008). Modelling the effects of BLEVE blast on a building spanning an underpass.
- 7 Ministerie I&M, Handleiding risicoanalyse transport versie 1.0, 17 juni 2014, Bijlagenrapport hoofdstuk 3
- 8 Ngo T., Mendis P., Gupta A., Ramsay J., Blast loading and blast effects on structures, an overview, EJSE special issue: loading on structures (2007)
- 9 Martinsen W.E., Marx J.D., An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs, Int. Conference on modeling consequences of accidental releases of hazardous materials, San Fransisco Ca. 1999

Bijlage 1 Beknopte beschrijving vuurbalmodel Martinsen&Marx

De volgende beschrijving is ontleend aan [9].

1. Massa in de vuurbal

De massa die bijdraagt aan de vuurbal is de massa in de tank als het adiabatische flashpercentage bij de temperatuur van falen van de tank groter of gelijk is aan 0.33. Bij lagere temperaturen draagt 3 maal het flashpercentage van de massa bij aan de vuurbal.

2. Brandtijd van de vuurbal

De brandtijd t_b van de vuurbal in seconde bedraagt $0.9 \cdot M^{0.25}$, waarbij M de massa die bijdraagt aan de vuurbal in kg.

3. Diameter van de vuurbal

De maximale vuurbaldiameter bedraagt $5.8 \cdot M^{(1/3)}$, waarbij M de massa die bijdraagt aan de vuurbal in kg. Deze diameter wordt bereikt aan het einde van de groeifase d.i. op $t = t_b/3$.

De groeifase van de vuurbal wordt beschreven met de diameter als functie van de tijd:

$D(t) = 8.664 \cdot M^{(1/4)} \cdot t^{(1/3)}$, waarbij D de diameter in m, M de massa in kg en t de tijd in s. Deze vergelijking geldt voor tijden tussen 0 en $t_b/3$. Daarna stijgt de vuurbal op met een constante diameter.

4. Hoogte van de vuurbal

Gedurende de groeifase van de vuurbal ligt de vuurbal op de grond, d.w.z. het centrum van de vuurbal ligt op hoogte 0.5D, waarbij D de diameter van de vuurbal in m. Deze fase eindigt op $t_b/3$. Daarna stijgt de vuurbal met constante snelheid op tot een maximum hoogte van 1.5 maal de maximale diameter aan het einde van de brandtijd.

5. Stralingssterkte van de vuurbal

De stralingsfractie is ontleend aan de vergelijking van Roberts: $f = 0.27 \cdot P^{0.32}$, waarbij f de stralingsfractie, en P de druk bij bezwijken tank in MPa.

De stralingssterkte van de vuurbal wordt hiermee berekend als:

$$q = \frac{f \cdot M \cdot H_c}{0.8888 \pi D^2 t_b} \text{ waarbij}$$

q	Stralingssterkte (kW/m ²)	D	Maximum diameter vuurbal (m)
f	Stralingsfractie (-)	t_b	Brandtijd vuurbal (s)
H_c	Verbrandingswarmte (J/kg)		

$0.8888 \pi D^2$ is het tijdgewogen gemiddelde oppervlak van de vuurbal.

Voor de stralingssterkte geldt een maximum van 400 kW/m².

6. Viewfactor

Voor de toepassing is dit rapport is de viewfactor berekend als $F = \frac{R^2}{X^2}$, waarbij

- F Viewfactor (-)
- R Straal vuurbal (m)
- X Afstand ontvanger tot centrum vuurbal (m)

Dit veronderstelt dat het ontvangende oppervlak altijd optimaal naar de vuurbal toe is georiënteerd.
Dit is een conservatieve aanname.