

# De meekoppeling van geluid en omgevingsveiligheid

Wat is er voor nodig om een betonnen geluidsscherm en aarden wal bescherming te laten bieden tegen de effecten van een brand en explosie?

*Een eerste aanzet voor kwantitatief onderzoek*

*Door*

Iris van Malsen

Voor het behalen van de Bachelor Built Environment aan de Hogeschool Utrecht

In opdracht van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Hogeschool Utrecht  
Faculteit Natuur & Techniek  
Built Environment  
IGO-BBE-MOST-19

Iris van Malsen  
Van Utenhoveweg 56, 4191MB Geldermalsen  
0615940392  
iris.vanmalsen@student.hu.nl  
1679304

Gegevens stagebedrijf  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu  
Antonie van Leeuwenhoeklaan 9, 3721 MA Bilthoven

Begeleider RIVM  
Kyra Kieskamp, MSc  
Wetenschappelijk medewerker Omgevingsveiligheid  
Kyra.Kieskamp@rivm.nl  
0650051790

Begeleider Hogeschool Utrecht  
Bas Ouwehand, Dr  
Senior hogeschooldocent  
Bas.Ouwehand@hu.nl  
0638150420

2<sup>e</sup> beoordelaar Hogeschool Utrecht: Rien van Stigt

Datum en versienummer: 27-05-2019 – V1

Sleutelwoorden: omgevingsveiligheid, geluidbeperkende constructies, brand, explosie, meekoppelkans

Aantal woorden excl. voorblad en bijlagen: 12333

Aantal woorden incl. voorblad en bijlagen: 14518



*Linksboven en Linksonder: betonnen geluidsscherm Vught A2. Rechtsboven: aarden wal langs A15 bij Botlek. Rechts-midden: goederenwagon met gevaarlijke stoffen, Station Geldermalsen. Rechtsonder: Chemische industrie Botlek (eigen archief)*

# Voorwoord

Voor u ligt mijn bachelorscriptie ter afronding van mijn vierjarige studie Built Environment aan de Hogeschool Utrecht. Het schrijven van deze scriptie was niet mogelijk geweest zonder de steun van een aantal mensen. Allereerst wil ik mijn begeleidster Kyra Kieskamp bedanken voor haar begeleiding. Dankzij Kyra heb ik ontzettend veel geleerd over het onderzoeksproces. Kyra stond altijd voor mij klaar en dankzij haar heb ik mijn creatieve denkprocessen weten te structureren. Ten tweede wil ik mijn collega-studenten Daphne Heemsbergen en Lars Helmond bedanken. Zij hebben mij vaak voorzien van wijze raad en motiverende woorden. Ook wil ik mijn dank uitbrengen aan alle instanties die ik heb gesproken voor mijn onderzoek. Zonder hun medewerking had ik dit onderzoek nooit kunnen voltooien. Tevens wil ik Rien van Stigt en Bas Ouwehand bedanken voor de begeleiding vanuit de Hogeschool Utrecht én het Team Omgevingsveiligheid vanuit het RIVM. Tot slot wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun steun tijdens alle fases van mijn studie.

Ik wens u veel plezier met het lezen van deze scriptie!

Iris van Malsen

Bilthoven, 27 mei 2019

# Samenvatting

Door het voormalige beleid en de plek waarop externe veiligheid aanbod kwam in het ontwerptraject is een meekoppeling tussen maatregelen ten behoeve van veiligheid en andere opgaven uitgebleven. Het nieuwe beleid biedt wel mogelijkheden voor een meekoppeling. In dit onderzoek wordt gekeken wat er voor nodig is om geluidsmaatregelen en veiligheidsmaatregelen te integreren. Er wordt een eerste aanzet gegeven voor verder kwantitatief onderzoek. De onderzoeksvraag luidt: wat is er voor nodig om een betonnen geluidsscherm en aarden wal bescherming te laten bieden tegen de effecten van een brand en explosie? Er is gekozen voor een betonnen geluidsscherm en aarden wal omdat deze twee constructies vaak voorkomen in Nederland en verwacht wordt dat ze bescherming kunnen bieden tegen een brand en explosie vanwege hun massieve eigenschappen. De hypothese vanuit het theoretisch kader is dat een betonnen geluidsscherm voornamelijk bescherming biedt tegen een brand. Voor het onderzoek is contact gelegd met Veiligheidsregio's, adviesbureaus, een geluidsbedrijf, het Instituut Fysieke Veiligheid, Rijkswaterstaat en ProRail.

Allereerst is het speelveld inzichtelijk gemaakt waarbinnen een koppeling kan worden geïntroduceerd. Bij het proces van het plaatsen van een geluidbeperkende constructie is input nodig van de adviseur omgevingsveiligheid. Momenteel wordt er voornamelijk geadviseerd over de bereikbaarheid van hulpdiensten. De bereikbaarheid en bestrijdbaarheid van een incident wordt verslechterd door een geluidbeperkende constructie. Van de adviseur omgevingsveiligheid wordt verwacht dat deze een integraal advies uitbrengt en tevens kijkt naar de beschermende werking van een geluidbeperkende constructie bij een ongevalsscenario. Er wordt gekeken of er momenteel al een koppeling plaatsvindt. In bestemmingsplannen brengen adviesbureaus en veiligheidsregio's een kwalitatief advies uit over de beschermende werking van geluidbeperkende constructies. Deze advisering is voornamelijk gebaseerd op ervaringen. Uit interviews blijkt dat de kennis over de effectiviteit van maatregelen voornamelijk bij adviesbureaus ligt maar dat zij tot op heden niet vaak de vraag hebben gekregen om de effectiviteit van maatregelen kwantitatief te bepalen (vooral niet voor geluidbeperkende constructies).

Om een eerste aanzet tot kwantitatief onderzoek te geven zijn in dit onderzoek 2 casussen uitgewerkt. De beschermende werking van een betonnen geluidsscherm en een aarden wal bij een plasbrand en een BLEVE zijn bepaald. In onderstaand schema zijn de resultaten weergegeven.

		Scenario				
		Plasbrand		BLEVE		
		Warmtestraling	Vloeistofuitstroming	Overdruk	Vuurbal	Brokstukken
Bescherming achterliggend gebied?	Aarden wal	Een aarden wal houdt warmte tegen en biedt daarom bescherming.	Ja, een aarden wal zorgt ervoor dat er geen vloeistofuitstroming naar achterliggend gebied kan plaatsvinden.	Ja, indien de bebouwing direct tegen de aarden wal gelegen is.	De vuurbal is te hoog waardoor de aarden wal nauwelijks bescherming biedt.	Kan bebouwing direct tegen de aarden wal beschermen.
	Betonnen geluidsscherm	Beton is een slechte warmtegeleider. Het duurt lang voordat beton warmte doorstraalt. Een betonnen geluidsscherm biedt daarom bescherming.	Ja, indien de onderkant van het geluidsscherm dicht is óf er een opvangcapaciteit voor of achter het scherm gerealiseerd is.	Het is niet bekend of een betonnen geluidsscherm bestand is tegen de overdruk.	De vuurbal is te hoog waardoor het betonnen geluidsscherm nauwelijks bescherming biedt.	Niet bekend. Een betonnen geluidsscherm kan mogelijk zorgen voor extra brokstukken.

De mate van bescherming is afhankelijk van de opbouw van het plangebied, de eigenschappen van het incident en de eisen die gesteld worden aan de bereikbaarheid van hulpdiensten en ontvluchtbaarheid vanaf een incident. Om de bescherming kwantitatief te bepalen is nader onderzoek nodig. Hiervoor dienen de volgende domeinen te worden samengebracht:

- Constructieleer
- Bouwfysica
- Brandveiligheid
- Omgevingsveiligheid
- Geluid

# Inhoudsopgave

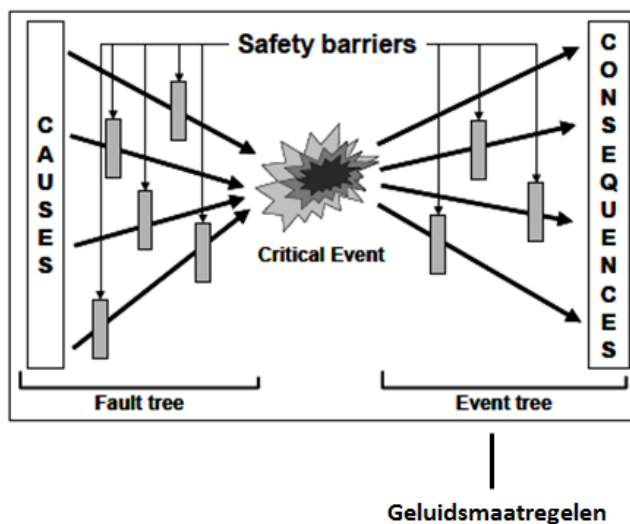
Voorwoord .....	3
Samenvatting .....	4
Begrippenlijst .....	6
1. Introductie .....	7
2. Onderzoeksmethodiek .....	9
3. Theoretisch kader .....	10
Box 1. Scenariobeschrijvingen.....	15
4. Het speelveld van geluid en omgevingsveiligheid.....	17
5. De koppeling van geluidsmaatregelen en omgevingsveiligheid in de praktijk .....	19
Box 2. Onderzoek en uitspraken in relatie tot veiligheid en geluidbeperkende constructies.....	21
6. Betonnen geluidsscherm en aarden wal.....	24
Box 3. Nadere eigenschappen beton en aarden wal.....	27
Box 4. Geluidbeperkende constructies en bereikbaarheid en ontvluchtbaarheid .....	28
7. Twee casussen – eigen onderzoek .....	30
Box 5. Casus 1 betonnen geluidsscherm en plasbrand .....	32
Box 6. Casus 2 aarden wal en BLEVE .....	34
8. Conclusie .....	36
9. Discussie .....	41
10. Referenties.....	44
Bijlage 1. Berekening uitstroom brandbare vloeistof casus 1.....	46
Bijlage 2. Overzicht interviewverslagen.....	47

# Begrippenlijst

Basisnet	Landelijk aangewezen netwerk waarover gevaarlijke stoffen mogen worden vervoerd. Stelt eisen aan het vaststellen en beheersen van de risico's voor het vervoer van gevaarlijke stoffen.
Besluit kwaliteit leefomgeving	Het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) wordt één van de vier Algemene Maatregelen van Bestuur onder de Omgevingswet. In het Bkl worden voor Omgevingsveiligheid onder meer standaard afstanden voor risicovolle activiteiten genoemd.
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
Bouwbesluit	Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) met daarin de minimale technische eisen waaraan alle bouwwerken moeten voldoen in Nederland.
Brokstukken	Brokstukken ontstaan uit de explosiebron ofwel doordat voorwerpen uit de omgeving van de explosiebron als gevolg van de drukgolf worden weggeslingerd.
BRZO bedrijven	Besluit Risico's zware ongevallen en betreft bedrijven die met gevaarlijke stoffen werken
CFD-berekening	CFD staat voor Computational Fluid Dynamics. Met behulp van een CFD-berekening kan er een stromingsanalyse worden uitgevoerd.
Omgevingsdienst	Een omgevingsdienst zorgt, in opdracht van gemeenten en provincies, voor vergunningverlening, toezicht en handhaving op het gebied van milieu. In totaal zijn er 29 omgevingsdiensten in Nederland.
Overdruk	Bij een explosie vindt er een drukverhoging plaats. De drukverhoging beweegt zich in de vorm van een golf van het explosie punt af. Het verschil tussen de statische druk en de atmosferische druk wordt de piekoverdruk genoemd. De piekoverdruk wordt uitgedrukt in pascal (bar). Na de piekoverdruk neemt de overdruk af tot nul en wordt gedurende enige tijd negatief (onderdruk).
Rode contour	Provincies hebben in hun ruimtelijke regelgeving vastgelegd waar verstedelijking plaats mag vinden en waar het landelijke gebied gehandhaafd moet blijven. De rode contour markeert de grens tussen stedelijk gebied en landelijk gebied.
Veiligheidsregio	Verantwoordelijk voor de brandweezorg, organiseren van de rampenbestrijding en crisisbeheersing en de geneeskundige hulpverleningsorganisatie. Nederland is ingedeeld in 25 veiligheidsregio's.

# 1. Introductie

Vanwege de schaarse ruimte in Nederland concurreren tal van functies, zoals wonen, werken, mobiliteit, natuur en recreatie met elkaar. Geluidsmaatregelen zijn onderdeel van een integrale gebiedsontwikkeling. Met behulp van geluidbeperkende constructies kunnen de concurrerende functies doorwerking naast elkaar vinden. Geluidbeperkende constructies doen het geluidsniveau verminderen en dragen daarom bij aan een beter woon-en leefklimaat. Waar sprake is van geluidhinder kan ook sprake zijn van veiligheidsproblematiek. Inrichtingen die gevaarlijke stoffen gebruiken en/of opslaan of het transport van gevaarlijke stoffen over (spoor)wegen, brengen een risico met zich mee. Deze inrichtingen kunnen daarnaast geluidoverlast veroorzaken en ook de transportroute waarover het vervoer van gevaarlijke stoffen plaatsvindt, kent een afgifte van geluid naar de omgeving toe. Vanuit het veiligheidsperspectief kunnen er mitigerende maatregelen worden toegepast die het effect van een incident op de omgeving beperken en de veiligheid zo vergroten. Mitigerende maatregelen zijn effect verminderende maatregelen en kennen een specifieke plaats in het zogeheten BowTie model. Het BowTie model laat een relatie zien tussen de oorzaken van incidenten, de kritische gebeurtenis, de veiligheidsbarrières en de consequenties van het incident (Ibrahim & Rao, 2017). Wanneer geluidsmaatregelen in dit model geplaatst worden staan deze op dezelfde plek als veiligheidsmaatregelen (figuur 1). Geluidsmaatregelen zorgen voor een effect verminderende werking van het geluidsniveau naar achterliggend gebied.



Figuur 1. BowTie met preventie-en migratieveiligheidsfuncties inclusief de plaatsing van geluidsmaatregelen (De Dianous, Fievez, 2006)

Ondanks dat geluids- en veiligheidsmaatregelen mitigerende maatregelen zijn die het effect van een 'gebeurtenis' trachten te verminderen, is de koppeling van geluids- en veiligheidsmaatregelen nog nauwelijks gemaakt. Het doel van dit onderzoek is om een eerste inventarisatie te geven van welke aspecten van belang zijn voor deze koppeling. De volgende aanleiding is hiertoe van belang: door het inwerking treden van de Omgevingswet en de vernieuwing van het externe veiligheidsbeleid verandert er wet- en regelgeving en de manier waarop de leefomgeving wordt benaderd. Het externe veiligheidsbeleid maakt gebruik van een plaatsgebonden risico en een groepsrisico. Deze twee normen kwamen pas laat in het ruimtelijke ordeningsproces aanbod. Voor bestuurders bleek het lastig te overzien wat het betekende om van de richtlijnen af te wijken. Als veiligheid al werd meegenomen, dan werd het vaak verstoppt in een bijlage met een verwijzing naar een technisch rapport met risicoberekeningen (Boxman & van Vliet, 2016). Onder de Omgevingswet wordt aan het groepsrisico invulling gegeven door aandachtsgebieden aan te wijzen. Aandachtsgebieden laten zien tot waar incidenten met gevaarlijke stoffen dodelijke effecten in de omgeving veroorzaken. Deze maximale effectafstanden zijn vanaf het begin van een nieuwe ruimtelijke ontwikkeling al bekend en zo kan veiligheid als ontwerpvariabele worden meegenomen in het ontwerpproces. Door het aanwijzen van aandachtsgebieden komt de focus te liggen op effectieve ruimtelijke veiligheidsmaatregelen in plaats van risicoberekeningen (Arcadis et al, 2016).



Bij de vernieuwing van het beleid vindt een naamsverandering plaats waardoor externe veiligheid omgevingsveiligheid zal gaan heten. Door het voormalige beleid en de plek waarop externe veiligheid aanbod kwam in het ontwerptraject is een meekoppeling tussen maatregelen ten behoeve van veiligheid en andere opgaven uitgebleven. Het nieuwe beleid biedt wel mogelijkheden voor een meekoppeling. Geluidsmaatregelen blijken nu al een meekoppelkans te kennen met andere componenten van de omgeving en wordt wel in samenhang benaderd. Te denken valt aan geluidsmaatregelen die tevens stikstof kunnen opnemen, of zijn uitgevoerd als zonnepanelen voor de opwekking van duurzame energie. Voor omgevingsveiligheid kan het mogelijk ook een meekoppeling bieden. Er bestaan veel soorten geluidwerende constructies. Om het onderzoek behapbaar te houden wordt er gekeken naar twee soorten constructies; een betonnen geluidsscherm en een aarden wal. Deze twee geluidsmaatregelen komen in Nederland vaak voor en de hypothese is dat door hun volumineuze massa ze de meeste bescherming kunnen bieden.

Bescherming moet worden geboden tegen specifieke veiligheidsscenario's. Er bestaan drie veiligheidsscenario's, namelijk explosie, brand en gifwolk. In dit onderzoek zal worden gekeken naar het scenario brand en explosie. Maatregelen voor een gifwolk zijn complex door de vluchtigheid ervan. Een betonnen geluidsscherm of aarden wal zal hier nauwelijks bescherming tegen kunnen bieden.

Technische kennis van geluidsmaatregelen en veiligheid is niet als zodanig gekoppeld. Dit onderzoek heeft als doel een eerste aanzet te geven voor verder kwantitatief onderzoek. Het oorspronkelijke onderzoek (zoals beschreven in het plan van aanpak) had de onderzoeksvraag: 'wat is de meekoppelkans tussen de omgevingsmaatregelen voor geluid en omgevingsveiligheid, hoe wordt deze bepaald en hoe kan dit procesmatig geïntegreerd worden in het omgevingsplan?'. De vraag heeft een kwantitatieve ondertoon. In de beschikbare tijd die de afstudeerder had bleek deze vraag niet te beantwoorden. In het huidige onderzoek wordt een eerste aanzet gegeven die de basis kan vormen voor verder kwantitatief onderzoek. Het doel van het onderzoek is het meegeven van verschillende denkrichtingen waarvan de afstudeerder denkt dat ze van belang zijn. Het onderzoek wordt uitgevoerd als onderdeel van het Handboek Omgevingsveiligheid, opgesteld door het RIVM. Onderdeel van dit handboek is een maatregelencatalogus waarin maatregelen worden beschreven die een effectieve bescherming bieden tegen ongevallen met gevaarlijke stoffen. Bij nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen kan de maatregelencatalogus geraadpleegd worden. De uitkomsten van onderhavig onderzoek bieden een startpunt om verdere invulling aan de catalogus te geven.



## 2. Onderzoeksmethodiek

Om een eerste aanzet te geven voor verder kwantitatief onderzoek zijn de volgende vragen opgesteld:

**Wat is er voor nodig om een betonnen geluidsscherm en aarden wal bescherming te laten bieden tegen de effecten van een brand en explosie?**

Deelvraag 1. Wat is het speelveld waarbinnen maatregelen voor zowel omgevingsveiligheid als geluid gekoppeld kunnen worden?

Deelvraag 2. Vindt er momenteel een koppeling plaats en zo ja, hoe wordt deze gemaakt?

Deelvraag 3. Wat zijn de specificaties van een betonnen geluidsscherm en een aarden wal?

Deelvraag 4. Bieden deze geluidbeperkende constructies bescherming tegen een explosie en brand?

*Deelvraag 1.*

Om tot de juiste partijen en informatie te komen voor het onderzoek wordt er allereerst bepaald wat het speelveld is rondom geluidsmaatregelen en maatregelen voor omgevingsveiligheid. Het speelveld bepaald waarbinnen een mogelijke meekoppelkans kan worden geïntroduceerd. Er wordt contact gezocht met een geluidsbedrijf, adviesbureaus, veiligheidsregio's en beheerders van (spoor)wegen. Met behulp van deze actoren wordt het huidige proces bepaald en kan de uiteindelijke advisering gericht worden uitgebracht.

*Deelvraag 2.*

Hierna wordt onderzocht of er momenteel een koppeling plaatsvindt tussen geluidsmaatregelen en veiligheid. Er wordt bij veiligheidsregio's en adviesbureaus naar praktijkervaringen gevraagd. Er wordt gevraagd waarop zij hun advisering baseren en of zij denken dat een betonnen geluidsscherm of aarden wal bescherming biedt tegen een explosie of brand. Op basis van interviews met de veiligheidsregio's Noord-Brabant, Amsterdam-Amstelland, adviesbureau Peutz, Rijkswaterstaat en ProRail worden de verschillende visies op geluidbeperkende constructies in relatie tot veiligheid uiteengezet. De interviews zijn semigestructureerd omdat er voornamelijk behoefte is aan zoveel mogelijk input vanuit alle partijen.

*Deelvraag 3.*

Vervolgens worden de technische specificaties van een betonnen geluidsscherm en een aarden wal bepaald. De verduidelijking van technische specificaties biedt input voor het kwantitatieve onderzoek. De technische specificaties worden bepaald aan de hand van een gestructureerd interview met geluidsbedrijf Van Schie. Er is voor deze vorm gekozen vanwege de gerichtheid van de deelvraag. Hiernaast wordt er op basis van richtlijnen die gehanteerd worden voor geluidbeperkende constructies langs wegen en het spoor een definitieve specificatie opgesteld.

*Deelvraag 4.*

Bij deelvraag 4 wordt er een eigen onderzoek uitgevoerd naar de effectiviteit van een betonnen geluidsscherm en een aarden wal. Het onderzoek behandelt twee casussen waarbij er gekeken wordt naar de beschermende werking van een betonnen geluidsscherm bij een plasbrand en de beschermende werking van een aarden wal bij een explosie (BLEVE). Hiernaast wordt er gevraagd aan ingenieursbedrijf Volantis en TNO of er kwalitatief iets gezegd kan worden over de beschermende werking van deze twee geluidbeperkende constructies. De keuze om bij een betonnen geluidsscherm te kijken naar de beschermende werking tegen de effecten van een plasbrand, en niet naar de effecten van een explosie, komt door de hypothese vanuit het theoretisch kader. Voor wat betreft de aarden wal wordt gekeken naar de beschermende werking ervan tegen de effecten van een explosie. Een aarden wal is massiever dan een betonnen geluidsscherm en uit inventariserende gesprekken komt naar voren dat verwacht wordt dat deze bescherming kan bieden tegen de overdruk van een explosie.

### 3. Theoretisch kader

Voordat de deelvragen beantwoord kunnen worden zal eerst inzichtelijk moeten worden gemaakt hoe de systematiek van geluid en omgevingsveiligheid zich tot elkaar verhoudt en waartegen een geluidbeperkende constructie precies bescherming moet bieden. Dit wordt gedaan vanuit de systematiek die gehanteerd wordt onder de Omgevingswet. Hoewel deze nog niet inwerking is getreden, zal deze in de toekomst wel bepalend zijn. Er wordt eerst gekeken naar de systematiek van geluid, vervolgens naar die van omgevingsveiligheid. Hierna worden een effectieve bescherming tegen de effecten van geluid en het scenario brand en explosie gedefinieerd en gekoppeld aan een betonnen geluidsscherm en een aarden wal.

#### Geluid

Onder de Omgevingswet wordt de geluidwet-en regelgeving aangepast. Geluidsregels worden via de Aanvullingswet Geluid geïntegreerd in de Omgevingswet. De Aanvullingswet is ten opzichte van de huidige wet-en regelgeving sterk vereenvoudigd (*Omgevingswetportaal, z.d.*). In de aanvullingswet Geluid wordt gewerkt met geluidsproductieplafonds voor wegen, spoorwegen en industrieterreinen. Het bevoegd gezag en het bijbehorende instrument zijn verschillend voor de soort (spoor)wegen. De desbetreffende beheerder dient zorg te dragen voor een goed onderhoud en rekening te houden met het effect van de activiteit op de omgeving. Het bevoegd gezag kan via onderstaande instrumenten de gebruikruimte van geluid laten doorwerken.

Bevoegd gezag	Instrument	Specificatie	Beheerder
Rijk	Ministeriële regeling	Rijkswegen	Rijkswaterstaat
		Hoofdspoorwegen	ProRail
Provincie	Omgevingsverordening	Provinciale wegen	Provincie
		Lokale spoorwegen (o.b.v. Artikel 20,3 <sup>e</sup> lid Wet personenvervoer 2000)	ProRail/ Provincie
Gemeente	Omgevingsplan	Gemeentewegen	Gemeente
		Lokale spoorwegen	Gemeente/stadsregio's
		Industrieterreinen	Gemeente (provincie indien gemeente-overstijgend)

*Figuur 2. Bevoegd gezag en instrument voor type geluidsbron (gebaseerd op wetsvoorstel Invoeringswet Omgevingswet & wetsvoorstel Aanvullingswet geluid Omgevingswet, 35054, nr. 2, 2018)*

De gebruikruimte van geluid wordt bepaald door een normstelling die drie landelijke waarden bevat: een voorkeurswaarde (VKW), een maximale waarde (MW) en een binnenwaarde (BW). De voorkeurswaarde is de ondergrens en is gezondheidskundig toereikend. Het bevoegd gezag heeft boven deze voorkeurswaarde een afwegingsruimte om een gemotiveerde afweging te maken tussen de verschillende betrokken belangen zoals gezondheid, woningbouw, mobiliteit en economie (*Kamerstuk 28663, nr. 64, 2015*). De binnenwaarde waarborgt dat ook bij hogere geluidsniveaus buiten gebouwen de gezondheid van personen binnen acceptabel blijft. De afwegingsruimte van het bevoegd gezag wordt daarnaast aan de bovenkant begrensd door een landelijk geldende maximale waarde. De drie landelijke waarden van geluidsbelasting worden uitgedrukt in  $L_{den}$  (Level day-evening-night). De  $L_{den}$  is het logaritmisches gemiddelde van de dag-, avond- en nachtwaarde, uitgedrukt in decibel. In figuur 3 zijn de VKW, MW en BW per type geluidsbron weergegeven.

Geluidbron	Voorkeurswaarde (dB)	Maximale waarde (dB)		Binnenwaarde <sup>1</sup> (dB)
		Nieuwe woningen	Aanleg/ aanpassing geluidbron	
Industrieterreinen	50	55	60	33, 36 of 41
Rijkswegen, provinciale en gemeentelijke wegen buiten de bebouwde kom	50	60	65	
Provinciale en gemeentelijke wegen binnen de bebouwde kom	53	70	70	
Vrijliggende spoorwegen	55	65	70	

Figuur 3. Normen voor geluidshinder (gebaseerd op Kamerstuk 28663 nr. 64, 2015)

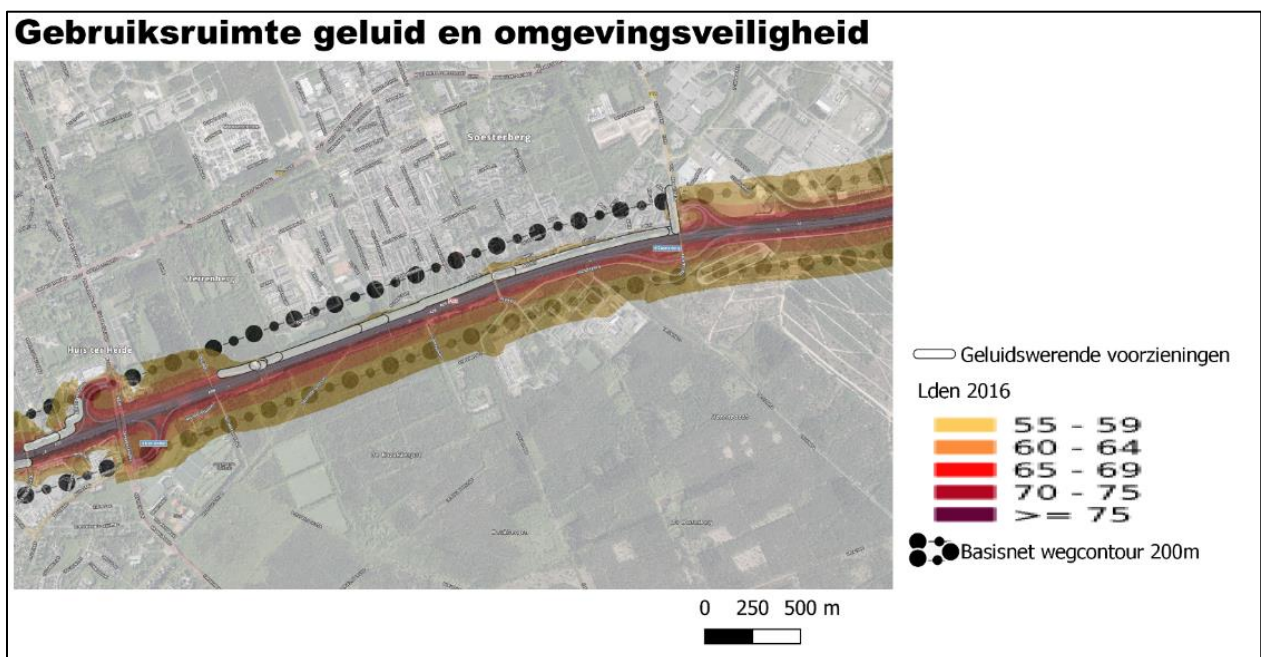
<sup>1</sup>Hierbij geldt 33 dB voor de realisatie van nieuwe woningen. Bij de realisatie of aanpassing van een geluidbron bij bestaande woningen geldt 36dB voor situaties die zijn ontstaan onder de werking van de Wet geluidshinder (de wet die op dit moment inwerking is uit 1979). 41 dB geldt voor situaties van vóór de Wet geluidshinder.

In de praktijk wordt de meeste hinder ondervonden van geluid dat geproduceerd wordt door wegen (*Compendium voor de Leefomgeving, 2008*). Onder de Omgevingswet worden de normen van geluid vertaald naar aandachtsgebieden. Wanneer er nieuwe gevoelige functies nabij wegen, spoorwegen en industrieterreinen worden gerealiseerd, is er een akoestisch onderzoek nodig indien de nieuwe functies geprojecteerd worden binnen deze aandachtsgebieden. Een aandachtsgebied is een gebied waarbinnen de kans bestaat op overschrijding van de voorkeurswaarde (*Kamerstuk 35054 nr.3, 2018*).

#### *Omgevingsveiligheid*

Bij omgevingsveiligheid gelden er risiconormen ten opzichte van beperkt kwetsbare, kwetsbare en zeer kwetsbare objecten in relatie tot drie omgevingsveiligheidsscenario's, namelijk brand, explosie en een gifwolk. Of een object beperkt kwetsbaar, kwetsbaar of zeer kwetsbaar is wordt bepaald aan de hand van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl). Omgevingsveiligheid maakt net als geluid gebruik van aandachtsgebieden. Een aandachtsgebied vanuit omgevingsveiligheid is een gebied waar mensen binnenshuis, zonder aanvullende maatregelen onvoldoende beschermd zijn tegen de scenario's brand, explosie en gifwolk. De begrenzing van aandachtsgebieden is vastgelegd in het Bkl. De aandachtsgebieden van omgevingsveiligheid worden onderverdeeld in een brandaandachtsgebied, explosieaandachtsgebied en een gifwolkaandachtsgebied. In dit onderzoek wordt enkel gekeken naar brand en explosie. Binnen een aandachtsgebied zijn verschillende zones te onderscheiden die bepalend kunnen zijn voor de mate waarin het bevoegd gezag van oordeel is dat het bieden van bescherming zinvol, haalbaar en betaalbaar is (*Handboek Omgevingsveiligheid, 2018*). Bij brand en explosie kan op basis van artikel 5.14 Bkl worden besloten om een aandachtsgebied (gedeeltelijk) aan te wijzen als een voorschriftengebied. Binnen voorschriftengebieden gelden aanvullende brand-of explosiewerende bouweisen (of daaraan gelijkwaardige maatregelen) voor nieuwbouw en vervangende nieuwbouw van beperkt kwetsbare, kwetsbare en zeer kwetsbare gebouwen. Het is aan het bevoegd gezag om te bepalen wat voor soort bescherming in een specifieke situatie als voldoende effectief wordt geacht. Per type activiteit zijn er in de regelgeving vaste afstanden vastgesteld of zijn deze afstanden specifiek te berekenen (*Handboek Omgevingsveiligheid, 2018*).

Bouwen in een aandachtsgebied stelt aanvullende ontwerpisen aan gebouwen volgens het Bouwbesluit. Het Bouwbesluit gaat onder de Omgevingswet op in de Bkl. Het Bouwbesluit stelt dat niet aan de gestelde voorschriften aan een bouwwerk hoeft worden voldaan indien op een andere manier dezelfde mate van veiligheid, bescherming van de gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en bescherming van het milieu wordt geboden als de in de gestelde voorschriften van het Bouwbesluit (*Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012*). Deze regel impliceert een gelijkwaardigheidsprincipe. Een aarden wal of betonnen geluidsscherm die een aangetoonde bescherming biedt kan op deze manier het aantal aanvullende ontwerpisen aan gebouwen doen verminderen. Vanuit de initiatiefnemer van een ontwikkeling of de bestuurder is het nemen van maatregelen om risico's te verminderen vaak een dure stap waarvan de kosten niet direct terug te verhalen zijn. De kosteneffectiviteit van maatregelen wordt bepaald door de verhouding tussen de kosten die gemaakt moeten worden om het effect van een incident met gevaarlijke stoffen te verminderen én de milieuwinst die een maatregel oplevert (*Milieufocus, 2008*). De kosteneffectiviteit kan vergroot worden door een maatregel meerdere milieuproblemen te laten aanpakken. Geluidsmaatregelen zorgen niet voor een smallere risicocontour voor omgevingsveiligheid maar kunnen wel effect hebben op de aanvullende bouweisen die aan nieuwe bebouwing binnen de contour worden gesteld (figuur 4).



Figuur 4. Geluid en risicocontour Basisnet met ingeladen geluidswerende voorzieningen (gemaakt in Qgis, datasets van: Rijkswaterstaat, Risicokaart en PDOK)

De scenario's brand en explosie kunnen bij zowel vaste inrichtingen optreden als bij het transport van gevaarlijke stoffen. Inrichtingen die met gevaarlijke stoffen werken zijn geclassificeerd als BRZO-bedrijven. Het transport van gevaarlijke stoffen vindt grotendeels plaats over het Basisnet. Het Basisnet bepaald wat er over weg, water en het spoor vervoerd mag worden. Het Basisnet kan de risico's van gevaarlijke stoffen beter beheersen omdat het transport van gevaarlijke stoffen wordt geconcentreerd en eisen worden gesteld aan de vervoerskant (*IFV & Rijkswaterstaat, 2015*). Het Basisnet hanteert veiligheidszones die eveneens voorwaarden stellen aan ruimtelijke ontwikkelingen.

### Effectieve bescherming van geluid en omgevingsveiligheid

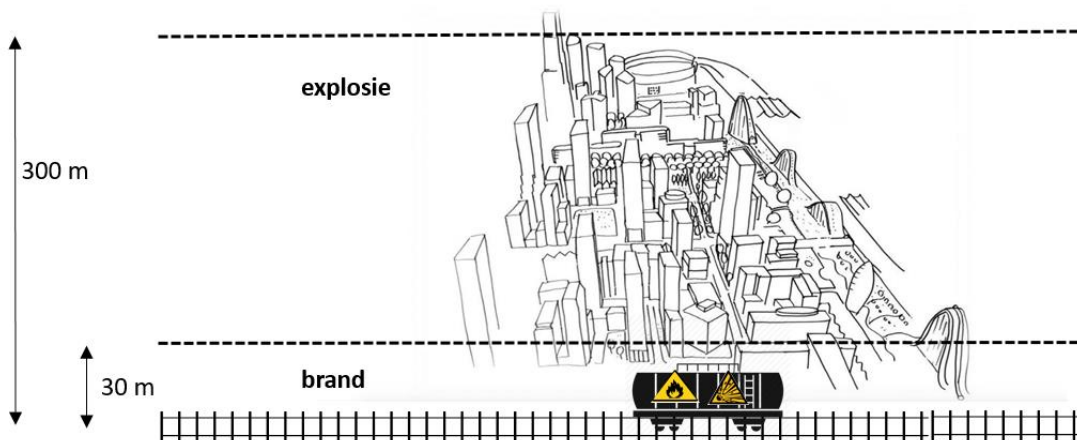
De beschermingsopgave van geluid en omgevingsveiligheid dient te worden vertaald naar omgevingsmaatregelen. Hiervoor is het van belang te weten tegen welke effecten van geluid, en tegen welke risico's van omgevingsveiligheid bescherming moet worden geboden. De definitie van een effectieve bescherming voor geluid is wanneer de geluidbelasting zowel buiten als binnen een geluidgevoelig gebouw aanvaardbaar wordt geacht. De aanvaardbaarheid is een afweging die op bestuurlijk niveau bepaald wordt (zie tabel 2). De geluidbelasting kan in ontoereikende situaties verbeterd worden door geluidsmaatregelen toe te passen. De soort geluidsmaatregel is afhankelijk van de locatie.

De beschermingsopgave bij omgevingsveiligheid wordt bepaald door twee handelingsperspectieven die bij een ongeval met gevaarlijke stoffen mogelijk zijn, namelijk schuilen of vluchten. Het type ongevalsscenario, de opbouw ervan en de duur bepaalt het handelingsperspectief. Het doel van omgevingsmaatregelen is een dempend effect uit te oefenen op de mate waarin een omgeving wordt blootgesteld aan een gevaar. Doordat omgevingsmaatregelen de effecten van een explosie of brand waaraan mensen, gebouwen en locaties worden blootgesteld verminderen, vergroten ze de vlucht- en schuilmogelijkheden (*Handboek omgevingsveiligheid, 2018*). De effectiviteit van een aarden wal of betonnen geluidsscherm is afhankelijk van de mate waarin ze bescherming kunnen bieden tegen de effecten van de scenario's explosie en brand (figuur 5).

Scenario	Effecten	Impact	Schaalniveau
Explosie (BLEVE)	Warmtebelasting	0-300 meter	Wijkniveau
	Piekoverdruk	0-300 meter	Wijkniveau
	Brokstukken	0-300 meter	Wijkniveau
Brand	Warmtebelasting	0-30 meter	Gebouwniveau
	Convectie	0-30 meter	Gebouwniveau

Figuur 5. Effecten van de scenario's explosie en brand gekoppeld aan schaalniveaus, gebaseerd op Suddle 2010

De effecten van een explosie en brand vinden uitwerking op twee heel verschillende schaalniveaus (figuur 6). Daarnaast kennen beide scenario's verschillende subtypen, afhankelijk van verschillende parameters en de soort gevaarlijke stof die bij een ongeval aanwezig is. Het nieuwe omgevingsveiligheidsbeleid maakt de onderverdeling per type stof op grote lijnen niet. De effecten van de twee scenario's zijn namelijk per type stof hetzelfde, enkel de intensiteit en reikwijdte van het ongeval verschilt. Voor een gedetailleerdere beschrijving van scenario's wordt verwezen naar Box 1. Figuur 5 laat zien dat een explosie een grote effectafstand heeft (0-300 meter) en er daarom maatregelen het beste op wijkniveau genomen kunnen worden. Bouwkundige maatregelen op gebouwniveau zullen bij dit scenario nauwelijks helpen of onevenredig duur zijn. Het scenario brand kent een kleine effectafstand (0-30 meter) en kan op gebouwniveau door het toepassen van gerichte maatregelen goed beheerst worden (*Suddle, 2010*). De afstanden zijn gemiddelden en kunnen per type stof die bij een ongeval betrokken is afwijken. Een aantal voorbeeldmaatregelen gericht op het niveau van de wijk en het niveau van het gebouw zijn weergegeven in figuur 7. Geluidwerende constructies zullen voor de twee scenario's een andere uitwerking hebben.



Figuur 6. Schaalniveau van een explosie en brand (gebaseerd op Suddle 2010, eigen archief)

<b>Maatregelen op wijkniveau</b>	<b>Maatregelen op gebouwniveau</b>
Bebouwingsdichtheid	Brandwerendheid materialen
Bezettingsgraad	Type constructie van gebouw
Functietoedeling (en mate van zelfredzaamheid op basis van toegekende functies)	Robuustheid bouwwerk
Situering van gebouwen	Type gebouw

*Figuur 7. Voorbeelden van maatregelen op wijk-en gebouwniveau (gebaseerd op Suddle 2010 & Handboek omgevingsveiligheid RIVM 2018)*

Op wijkniveau zullen geluidwerende constructies weinig invloed uitoefenen. Een geluidwerende constructies zorgt niet direct voor een andere bebouwingsdichtheid of bezettingsgraad van een gebied. Geluidwerende constructies kunnen echter wel invloed uitoefenen op het niveau van het gebouw. Wanneer geluidwerende constructies de maatregelen die op gebouwniveau worden toegepast over kan nemen, hoeft er mogelijk aan een gebouw minder maatregelen toegepast te worden. De hypothese vanuit het theoretisch kader is dat geluidwerende constructies dan ook meer bescherming zullen bieden voor brand dan voor een explosie. Het scenario brand wordt namelijk grotendeels op gebouwniveau beheerst.

## Box 1. Scenariobeschrijvingen

Voor ongevallen met gevaarlijke stoffen worden vaak scenario's uitgewerkt per type gevaarlijke stof (*Scenarioboek Externe Veiligheid, z.d.*). Het scenarioverloop is van verschillende parameters afhankelijk, zoals de hoeveelheid stof, de duur van afgifte, diameter van het lek etc.. Bij het vervoer van gevaarlijke stoffen worden de stoffen ingedeeld in veiligheidsklassen. Deze veiligheidsklassen zijn voor het spoor, de weg en het water verschillend. De voorschriften van gevaarlijke stoffen zijn vastgelegd in een Europese overeenkomst (voor spoor, weg en water respectievelijk RID, ADR en KRW). Bij elke soort stof kunnen meerdere ongevalsscenario's voorkomen. In onderstaande tabel staat per type stof de ongevalsscenario's benoemd, gespecificeerd per locatie.

	Bedrijven	Weg	Spoor	Water	Buisleiding
Aardgas					Fakkelfbrand
Acrylnitril		Giftige wolk Plasbrand	Giftige wolk Plasbrand		
Ammoniak		Giftige wolk	Giftige wolk	Giftige wolk	
Benzine	plasbrand	Plasbrand	Plasbrand	Plasbrand	
Chloor			Giftige wolk		
CNG	Fakkelfbrand Wolkbrand				
Kooldioxide					Giftige wolk
LNG	Fakkelfbrand Koude BLEVE Warme BLEVE Wolkbrand Plasbrand	Fakkelfbrand Koude BLEVE Warme BLEVE Wolkbrand Plasbrand		Plasbrand Wolkbrand	
LPG	Fakkelfbrand Koude BLEVE Warme BLEVE Wolkbrand	Fakkelfbrand Koude BLEVE Warme BLEVE Wolkbrand	Fakkelfbrand Koude BLEVE Warme BLEVE Wolkbrand	Fakkelfbrand Koude BLEVE	
Methanol		Plasbrand			
Propaan	Fakkelfbrand Koude BLEVE Warme BLEVE Wolkbrand				
Ruwe aardolie					Plasbrand
Waterstof	Fakkelfbrand	Tubetrailer fakkelfbrand Cilinderpakket fakkelfbrand			Fakkelfbrand
Zwaveltrioxide		Giftige wolk			

Figuur 8. (gebaseerd op het Scenarioboek Externe Veiligheid, geraadpleegd op 13-05-2019, eigen archief)

Voor brand en explosie wordt onderscheid gemaakt in verschillende typen. Het nieuwe omgevingsveiligheidsbeleid maakt bij een brand onderscheidt tussen een fakkelfbrand en een plasbrand. Een fakkelfbrand is een brand van een brandbare vloeistof of gas die met enige kracht vrijkomt gedurende langere tijd (continu emissie). De fakkelfbrand kan leiden tot een fakkel van enkele tientallen meters hoog (*Kleijer, 2015*). Het scenario fakkelfbrand wordt bij het transport van gevaarlijke stoffen door buisleidingen als worst-case scenario gezien (*van Rosmalen, 2011*). Wanneer er een zeer brandbare vloeistof uit een tank lekt en in brand raakt, ontstaat er een plasbrand. Hoe groter het oppervlak van deze plas, hoe korter de brandduur, maar ook hoe schadelijker het effect kan zijn. Een groter oppervlak van de plasbrand heeft als gevaar dat het secundaire branden kan veroorzaken of aan kan zetten tot domino-effecten (*Eggink et al, 2015*). Het maatgevende scenario is afhankelijk per locatie. Bij het Basisnet wordt er voornamelijk rekening gehouden met een plasbrandaandachtsgebied. Een plasbrandaandachtsgebied bedraagt 30 meter vanaf de rand van de weg of de buitenste spoorrails.





*Figuur 9. Fakkelflam (overgenomen uit Disaster Management Institute Bhopal, z.d. geraadpleegd op 15-05-2019)*



*Figuur 10. Plasbrand (overgenomen uit Brandnew fire test facilities at BAM test site technical safety, Droste et al, 2011, geraadpleegd op 14-05-2019)*

Voor explosietypen bestaat er een warme BLEVE, koude BLEVE en een gaswolkexplosie. Een BLEVE staat voor boiling liquid expanding vapour explosion en refereert aan het explosieve openscheuren van een tank en de plotselinge verdamping van een vloeistof óf van een tot vloeistof verdicht gas (*van den Berg et al, 2004*). Er wordt onderscheid gemaakt tussen een warme BLEVE en een koude BLEVE. Een warme BLEVE ontstaat wanneer door een externe brand of fakkel de tankwand sterk wordt verhit. De tankwand zal na enige tijd bezwijken vanwege de verzwakking van de mechanische eigenschappen van de tankwand en de opbouwende dampspanning. Een warme BLEVE zorgt voor een grote vuurbal die vooral bepalend is voor het slachtofferbeeld en welke in mindere mate afhankelijk is van de overdruk. Bij een warme BLEVE kan het enige tijd duren voordat de BLEVE zal optreden. In principe is er dan nog enige tijd voor zelfredzaamheid. De BLEVE kan worden voorkomen door de tank te koelen en de brand in de omgeving van de tank te blussen. Een koude BLEVE ontstaat door een externe kracht, bijvoorbeeld een botsing, waarbij er een grote scheur in de tank ontstaat. De overdruk in de tank valt op deze manier weg en het tot vloeistof verdichte gas zal verdampen. Uit deze damp ontstaat er een vuurbal en een drukgolf. Het scenario koude BLEVE treedt direct op waardoor er geen tijd is voor zelfredzaamheid. Een warme BLEVE richt over het algemeen meer schade aan dan een koude BLEVE (*Petiet & van der Vorm, 2012*).

Een gaswolkexplosie ontstaat uit een wolkbrand. Wanneer er een gat ontstaat in een tank of wagon kan zich een wolk vormen die zich over de grond verspreid. Het effect van een wolkbrand is een kortdurende vlammenzee. Wanneer de brandbare wolk wordt ingesloten kan er naast de brand ook een drukeffect ontstaan: een gaswolkexplosie. Insluiting kan bijvoorbeeld voorkomen in een besloten ruimte, bossen of een gebied met veel bebouwing. De effecten van een gaswolkexplosie zijn hittestraaling en overdruk (*Scenarioboek Externe Veiligheid, z.d.*).



*Figuur 11. BLEVE (overgenomen uit Consequence Modelling: Overview of hazards, Marsden E. 2018, geraadpleegd op 14-05-2019)*



*Figuur 12. Wolkbrand (overgenomen uit Scenarioboek Externe Veiligheid, 21 augustus 2018, geraadpleegd op 14-05-2019)*

## 4. Het speelveld van geluid en omgevingsveiligheid

In dit hoofdstuk wordt het speelveld bepaald waar geluid en omgevingsveiligheid onderdeel van uitmaken. Het proces rondom ruimtelijke ontwikkelingen en de actoren die betrokken zijn bij de plaatsing van geluidbeperkende constructies nabij risicobronnen wordt uiteengezet.

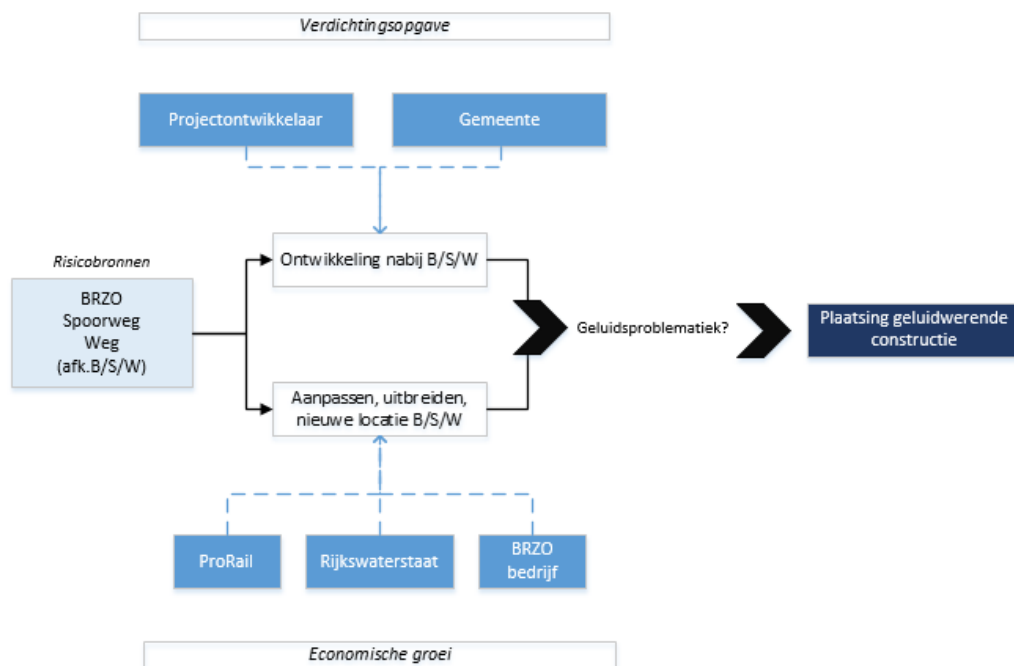
De actoren die van belang zijn voor de koppeling van geluidsmaatregelen en omgevingsveiligheid worden bepaald door het soort ruimtelijke ontwikkeling. Vanuit het perspectief van veiligheidsgeïntegreerd ontwikkelen bestaan er drie parameters die als uitgangspunt genomen kunnen worden bij ruimtelijke ontwikkelingen (Suddle, 2010):

- *Scheiden van functies (scheiden van risicobron en de ontvanger);*
- *Clusteren van functies (clusteren van risicobronnen);*
- *Combineren van functies (risicobronnen en ontvangers dichtbij elkaar realiseren, bijvoorbeeld in de vorm van bebouwing nabij transportassen met gevaarlijke stoffen).*

De combinatie van functies (combineren van risicobronnen en ontvangers van het risico) zorgt voor een meekoppelkans tussen geluidsmaatregelen en omgevingsveiligheid omdat deze risicobron en risico-ontvanger combineren. Er vallen twee situaties te onderscheiden in ruimtelijke ontwikkelingen:

1. Er vindt een nieuwe ruimtelijke ontwikkeling plaats nabij een risicobron;
2. Er vindt uitbreiding of aanpassing plaats van een risicobron, of er komt een nieuwe risicobron in de buurt van kwetsbare objecten te liggen.

In beiden situaties kan er sprake zijn van geluidsproblematiek bij geluidgevoelige bestemmingen (figuur 13). Afhankelijk van de situatie hebben de betrokken actoren andere verantwoordelijkheden. De betrokken actoren bij het proces worden hieronder verder beschreven.



Figuur 13. Mogelijkheden tot plaatsing van geluidwerende constructie gezien vanuit ontwikkeling aan/of nabij risicobronnen (eigen archief)

#### *Ontwikkeling vanuit de verdichtingsopgave*

Gemeenten hebben te maken met een toenemende verdichtingsopgave (VROM et al, 2007). Deze verdichtingsopgave speelt zich steeds meer binnenstedelijk en binnen de rode contouren af. Het initiatief voor het aanpakken van een gebied komt vaak van een gemeente of wordt vanuit hogere overheden aangewezen, waarbij de regierol in handen is van de gemeente. Gemeenten zoeken meer toenadering tot private actoren (Robbe & Hendrickx, 2017) waarbij gemeenten een faciliterende rol aannemen. Op basis van het beleid en de ambities van desbetreffende gemeente kan er een tender worden uitgeschreven. Op deze tender kunnen partijen zoals projectontwikkelaars zich inschrijven. Onderdeel van de tender is een programma van eisen waarin de wensen van de gemeente worden benoemd ten aanzien van de geplande (her)ontwikkeling. Dit programma van eisen wordt vaak samen opgesteld met adviesbureaus en in deze fase wordt de globale opbouw van de locatie bepaald. Het programma van eisen is een vertaling van de ambities en het beleid van de gemeente. Volgens Paul de Kort (*persoonlijke communicatie, 25-03-2019*) blijkt dat tijdens het tenderproces bijeenkomsten plaatsvinden waarin projectontwikkelaars met verschillende adviseurs kunnen praten om zich zo te kunnen onderscheiden in het aanbestedingstraject. De veiligheidsexpert en expert geluid zijn hierbij ook aanwezig en geven advies over maatregelen die op deze manier vooraf geïntegreerd kunnen worden in het ontwerptraject.

Wanneer er een ontwerp gekozen is wordt deze in de planvormingsfase getoetst op de haalbaarheid. Voor geluid wordt er een akoestisch onderzoek uitgevoerd. Geluidwerende constructies zijn onderdeel van een grotere gebiedsontwikkeling en het akoestisch onderzoek stelt randvoorwaarden waaraan een geluidwerende constructie dient te voldoen. Het akoestisch onderzoek stelt geen eisen aan de constructie zelf (Peutz, *persoonlijke communicatie, 8-05-2019*). De veiligheid van het integrale ontwerp wordt getoetst door de Omgevingsdienst/ Veiligheidsregio. De Omgevingsdienst/Veiligheidsregio adviseert over het voorkomen, beperken en bestrijden van ongevallen met gevaarlijke stoffen. Het bevoegd gezag heeft de bevoegdheid om delen van het advies wel en andere delen niet over te nemen (NVBR, VNG, IPO, 2010). Wanneer het bevoegd gezag afwijkt van het advies moet zij motiveren waarom daartoe besloten is. Adviesbureaus adviseren eveneens over de maatregelen die toegepast kunnen worden om de veiligheid te vergroten.

#### *Ontwikkeling vanuit de economische groei*

Een uitbreiding of aanpassing bij van een risicobron of de plaatsing van een nieuwe risicobron is vaak het gevolg van economische groei. Door de economische groei nemen bedrijvigheid en investeringen- en hiermee samenhangend transport en gebruik van gevaarlijke stoffen- toe (Berrevoets-Steenbakker & van der Vlies, 2017). Rijkswaterstaat en ProRail zijn verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van respectievelijk Rijkswegen en het spoor. Beide beheerders faciliteren het vervoer van gevaarlijke stoffen door het Basisnet. BRZO bedrijven zijn bedrijven die werken met gevaarlijke stoffen. De uitbreiding, aanpassing of vernieuwing van het (spoor)wegennetwerk is een gevolg van economische groei (of juist economische recessie), net zoals de uitbreiding, aanpassing of plaatsing van een BRZO-bedrijf.

Het planproces bij de plaatsing van geluidwerende constructies als gevolg van aanpassing/vernieuwing of uitbreiding van het basisnet of een BRZO-bedrijf is niet veel anders dan het proces dat gevolgd wordt bij een nieuwe gebiedsontwikkeling. In de praktijk komt dit type ontwikkeling alleen minder vaak voor (Peter Robbe, *persoonlijke communicatie, 26-03-2019*).

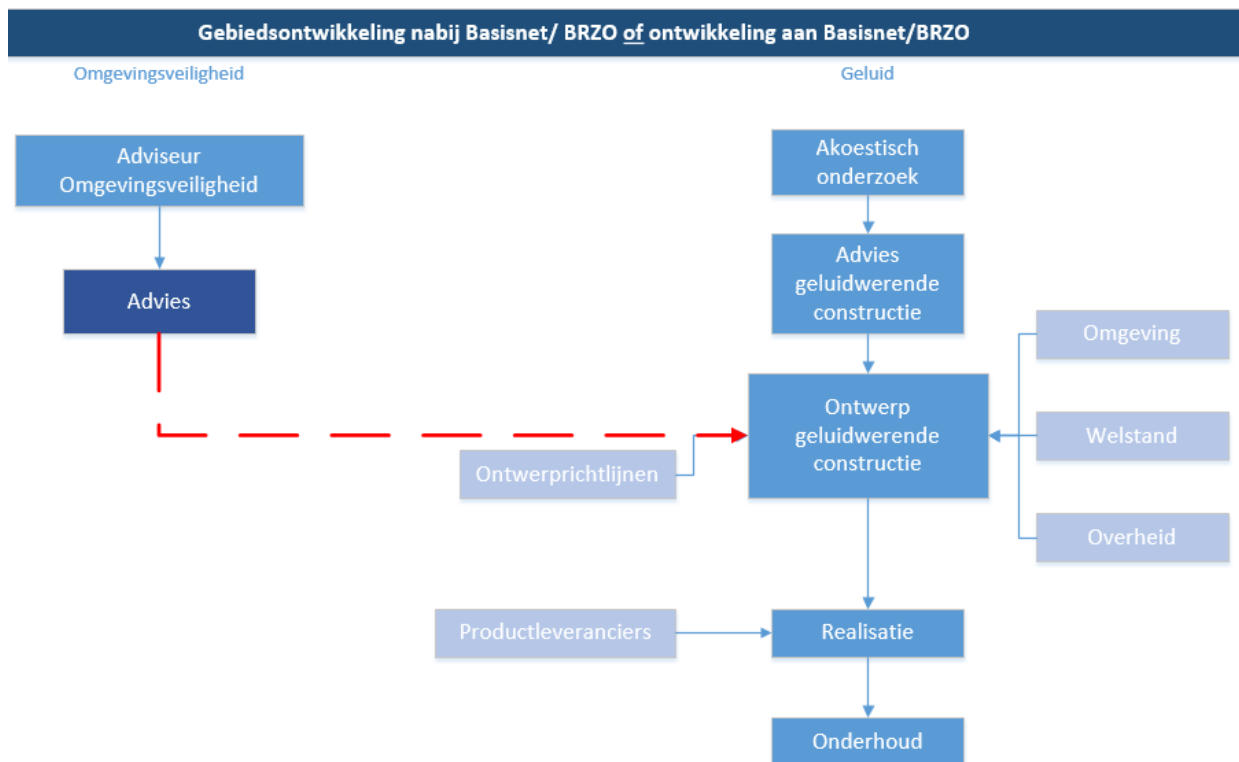
Op basis van de informatie die in dit hoofdstuk aanbod is gekomen is het speelveld inzichtelijk gemaakt en wordt hiermee een antwoord gegeven op de eerste deelvraag: wat is het speelveld waarbinnen maatregelen voor zowel omgevingsveiligheid als geluid gekoppeld kunnen worden?

## 5. De koppeling van geluidsmaatregelen en omgevingsveiligheid in de praktijk

In het vorige hoofdstuk is inzichtelijk gemaakt binnen welk speelveld de koppeling van geluidsmaatregelen en omgevingsveiligheid geïntroduceerd kan worden. De vraag is of deze koppeling momenteel in de praktijk al gemaakt wordt. Het proces rondom de plaatsing van een geluidbeperkende constructies wordt bekeken en er worden praktijkvoorbeelden aangehaald. Ook worden de verschillende visies van actoren behandeld.

Bij de plaatsing van geluidbeperkende constructies is input nodig van verschillende partijen (figuur 14). Een onderdeel van het proces is een advisering rondom veiligheid. Bij deze advisering wordt momenteel voornamelijk gekeken naar de bereikbaarheid en bestrijdbaarheid van een incident door hulpdiensten en de Veiligheidsregio. De plaatsing van geluidbeperkende constructies kan de bereikbaarheid en bestrijdbaarheid verslechteren (*Brandweer Amsterdam-Amstelland, persoonlijke communicatie, 2-04-2019*). Toch zien veiligheidsregio's ook de beschermende werking van zo'n constructie in en in sommige gevallen wordt er een link tussen geluidsmaatregelen en omgevingsveiligheid gelegd. Deze link wordt in kwalitatieve zin benoemd en is gebaseerd op ervaringen (*Paul de Kort, persoonlijke communicatie, 25-03-2019*.) Hoe deze link in de praktijk gelegd wordt komt in Box 2 aanbod. Onder de Omgevingswet zal de adviseur Omgevingsveiligheid iets over de veiligheid zeggen. Van deze adviseur wordt verwacht dat hij/zij integraal kijkt en tevens de beschermende werking van een geluidbeperkende constructie in acht neemt.

Bij het proces weergegeven in figuur 9 spelen adviesbureaus een belangrijke rol. Uit interviews blijkt dat de



Figuur 14. Visualisatie van het proces rondom geluidbeperkende constructies. De rode pijl geeft het adviseringsmoment van de adviseur omgevingsveiligheid weer (gebaseerd op GCW 2012 en brandweeradvisering externe veiligheid 2010, eigen archief)

kennis rondom veiligheidsmaatregelen voornamelijk bij adviesbureaus ligt (*Volantis, persoonlijke communicatie, 10-04-2019* & *Peutz, persoonlijke communicatie, 8-05-2019*). Adviesbureaus zijn in meerdere fasen en domeinen van projecten actief op zowel proces als inhoud. Kleinere gemeenten besteden afdelingen vaak uit omdat ze zelf de kennis niet in huis hebben (*Rho, persoonlijke communicatie, 29-04-2019*). Adviesbureaus nemen elementen over van gemeenten en krijgen op deze manier een nog sterkere machtpositie als het gaat om kennis. Omdat er momenteel niet inzichtelijk is in welke mate geluidsmaatregelen bescherming bieden voor omgevingsveiligheid zijn er verschillende visies op geluidsmaatregelen ontstaan – voortkomend uit de belangen van desbetreffende partij.

Als conclusie kan worden gesteld dat de koppeling tussen geluidbeperkende constructies en omgevingsveiligheid in de praktijk gelegd wordt in kwalitatieve zin. Voor betrokken partijen is niet duidelijk in welke mate geluidbeperkende constructies bescherming bieden en daarom bestaan er onderling verschillende interpretaties. In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op deelvraag 2: vindt er momenteel een koppeling plaats en zo ja, hoe wordt deze gemaakt?

## Box 2. Onderzoek en uitspraken in relatie tot veiligheid en geluidbeperkende constructies

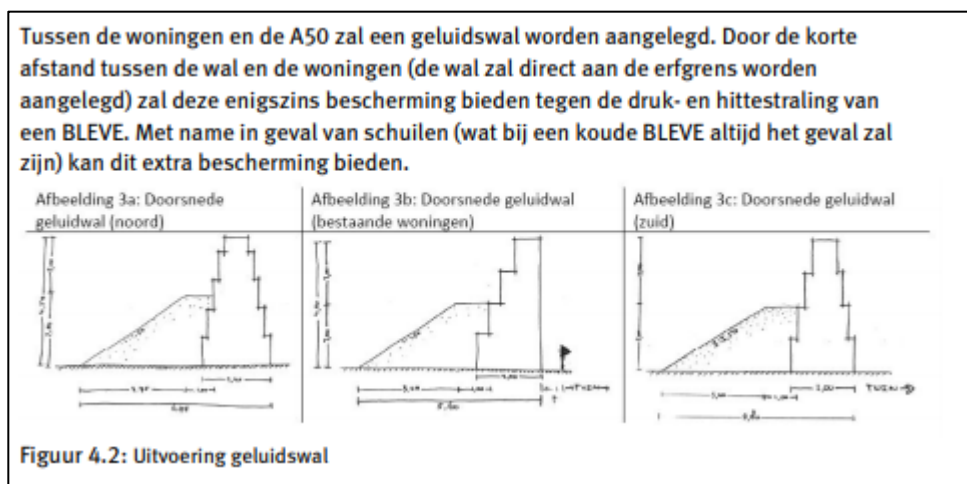
Bij ruimtelijke ontwikkelingen brengt de brandweer een advisering uit. Deze advisering bevat een wettelijk en een niet-wettelijk deel. Het wettelijke gedeelte slaat op de bestrijdbaarheid en zelfredzaamheid. De vermindering van effecten op de omgeving wordt in het wettelijk gedeelte niet meegenomen maar de brandweer zegt vaak wel iets over effect-verminderde maatregelen. In bestemmingsplannen en in adviesrapporten is terug te zien dat de invloed van geluidwerende constructies op een ongeval met gevaarlijke stoffen een matige onderbouwing kent. Er is nog geen kwantitatief onderzoek verricht. Toch wordt er benoemd dat geluidsschermen de invloed van een ongeval met gevaarlijke stoffen kunnen beperken. Uitspraken van de veiligheidsregio's zijn verdeeld. Dit is terug te zien bij BRZO-bedrijven met meerdere vestigingen in Nederland die geconfronteerd worden met andere eisen waaraan maatregelen moeten voldoen (*persoonlijke documentatie, Paul de Kort, 26-04-2019*). De Veiligheidsregio's onderling laten eveneens een mate van verdeeldheid zien als het gaat om de beschermende werking van geluidwerende constructies. Bij de uitspraken van Veiligheidsregio's moet in het achterhoofd worden gehouden dat zij in eerste instantie kijken naar de bestrijdbaarheid. Het onderzoek naar de invloed van geluidsschermen bij de Betuweroute op de bestrijdbaarheid van de brandweer door IFV en TNO is hier een goed voorbeeld van. Uitkomst van het onderzoek is dat de plaatsing van geluidsschermen hoger dan 2 meter de bestrijdbaarheid doen verminderen. Ook vergroten geluidsschermen die dicht zijn aan de onderkant de kans op domino-effecten. Een vloeistofplas vormt zich min of meer als een ronde plas, bij een geluidsscherm kan de vloeistof over het schouwpad langs het scherm stromen en zich zo langwerpig verspreiden. Indien zo'n plas wordt ontstoken betekent dit dat er meerdere wagons kunnen worden aangestraald met warmte. Wanneer er in deze wagons een met brandbaar tot vloeistof verdicht gas bevindt, kan er een BLEVE ontstaan (*Molag et al, 2007*). Het onderzoek stelt ook dat de invloed van een geluidsscherm bij bepaalde scenario's geen afname van externe veiligheid veroorzaakt (*figuur 15*).

Treinincidentscenario	Afname externe veiligheid door hoge geluidsschermen en oorzaak
Brand, geen gevaarlijke stof, in één wagon/tractievoertuig	nee
Brandbaar tot vloeistof verdicht gas: fakkel	nee
Brandbare vloeistof: kleine plas(brand) = 100 m <sup>2</sup>	nee
Brandbare vloeistof: grote plas(brand) = 600 m <sup>2</sup>	ja, langgerekte plas vergroot kans op escalatie naar andere wagons
Brandbaar tot vloeistof verdicht gas: dreigende BLEVE	ja, hogere kans van optreden door escalatie grote plasbrand. Moeilijkere bestrijding, effectieve koeling bedreigde ketelwagen niet tijdig mogelijk
Kleine zeer toxische vloeistofplas	nee
Grote zeer toxische vloeistofplas	nee
Lekkage toxisch gas, tot vloeistof verdicht	nee
Instantaan vrijkomen toxisch gas, tot vloeistof verdicht	ja, hogere kans van optreden door escalatie grote plasbrand. Moeilijkere bestrijding, effectieve koeling bedreigde ketelwagen niet tijdig mogelijk

Figuur 15. Invloed van hoge geluidsschermen (>2 meter) op de externe veiligheid langs de Betuweroute (*Molag et al, 2007*)

In het onderzoek wordt de mogelijke beschermende werking van een geluidsscherm kort benoemd. Echter wordt benoemd dat dit nader onderzoek vergt. Het onderzoek is het enige onderzoek dat zo gedetailleerd heeft gekeken naar geluidsschermen in relatie tot externe veiligheid maar vooral de focus heeft gelegd op de bestrijdbaarheid. Adviesbureaus die het externe veiligheidsrapport schrijven bij ruimtelijke plannen behandelen in sommige gevallen de mogelijke beschermende werking die een geluidbeperkende constructie kan hebben. Net als bij Veiligheidsregio's is deze advisering grotendeels kwalitatief. Dit betekent echter niet dat adviesbureaus geen kennis hebben van effectieve veiligheidsmaatregelen. Vanwege de lage noodzaak om bescherming te kwantificeren betekent dat dit in de praktijk niet veel wordt gedaan. Adviesbureaus werken op basis van projecten. De vraag naar kwalificatie van effectieve maatregelen is op projectbasis weinig neergelegd maar sommige adviesbureaus (in samenwerking met Veiligheidsregio's) zijn zelf wel bezig geweest met het aantonen van de effectiviteit van maatregelen (zie bijvoorbeeld Bouwkundige maatregelen externe veiligheid, 2010 Antea Group). Voor geluidbeperkende constructies is dit echter nog zeer beperkt. Hieronder worden een drietal uitspraken over geluidbeperkende constructies in relatie tot veiligheid belicht.

*Bestemmingsplan Scherpsweg te Uden 2012 – Antea Group (adviesbureau)*



In het Bestemmingsplan Scherpsweg te Uden wordt de link gelegd tussen een geluidswal en bescherming tegen een BLEVE. Er worden 20 woningen gerealiseerd nabij de A50 waarover transport van gevaarlijke stoffen plaatsvindt. Er zal ook een geluidswal worden gerealiseerd tussen de A50 en de woningen. Er wordt gesteld dat de geluidswal enige bescherming kan bieden tegen de druk-en hittestraling van een BLEVE. De wal heeft een positieve invloed op de verantwoording van het groepsrisico. Het groepsrisico blijft onder de orientatiewaarde en dit is waarschijnlijk de reden dat de mate van bescherming van de geluidswal niet verder gekwantificeerd is.

*Bestemmingsplan Groenrijk terrein te Waalwijk 2010 – Bilfinger Tebodin (adviesbureau)*

Door de verhoogde ligging van de N261 (ten op zichten van de gasleiding) en de aanwezigheid van fysieke afscheidingen (aarden wallen, ca. 2,5 meter hoog t.o.v. de N261 en dichte begroeiing) is er sprake van afscherming van het tuincentrum, gelet op de mogelijke effecten (voornamelijk warmte straling, evt. overdruk) in het geval van een incident bij de gasleiding of op de weg.

In het bestemmingsplan Groenrijk terrein te Waalwijk wordt de uitbreiding van een tuincentrum behandeld. Er wordt gesteld dat de aarden wallen van ongeveer 2.5 meter hoog ten opzichte van de N261 afscherming bieden voor het tuincentrum. De aarden wallen bieden afscherming tegen warmtestraling en overdruk. De mate van afscherming is verder niet gekwantificeerd. De aarden wallen hebben geluidsdemping als primaire functie.



Plasbrandaandachtsgebied

Zorg ervoor dat de geluidswal dusdanig wordt uitgevoerd dat een zogenaamde plasbrand zich niet verder richting het plangebied kan verspreiden. Hierbij is ook van belang dat de hulpverleningsdiensten nog wel bij het spoor kunnen komen. Ik adviseer om contact op te nemen met het team Risicobeheersing van brandweercluster Veluwe Noord om een goede bereikbaarheid van het spoor te blijven garanderen.

Bij het ontwerpbestemmingsplan Wezep, De Zeuven Heuvels 2016 adviseert de Brandweer Veluwe Noord bij een project waarbij nieuwe woningbouw plaatsvindt en een geluidswal wordt aangelegd. De brandweer geeft aan dat de geluidswal moet voorkomen dat de plasbrand zich richting het plangebied zal verspreiden. De geluidswal wordt hier een veiligheidsfunctie toegekend. Uit het advies blijkt dat de beschermende functie haaks staat op een goede bereikbaarheid van een mogelijk incident.

## 6. Betonnen geluidsscherm en aarden wal

In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van een betonnen geluidsscherm en een aarden wal behandeld. Er wordt hiernaast ook een focus gelegd op de invloed van geluidbeperkende constructies op de ontvluchtbaarheid en bereikbaarheid van locaties. De informatie in dit hoofdstuk is nodig voor de twee casussen die in volgend hoofdstuk worden uitgewerkt én is van belang voor kwantitatief vervolgonderzoek.

Voor de definitie van een betonnen geluidsscherm en aarden wal wordt aangehaakt bij de definities die de Objecttypenbibliotheek van Rijkswaterstaat geeft (*RWS Objectenbibliotheek PRODO1, 2019*). Deze Objecttypenbibliotheek legt naast het wegennetwerk ook nadruk op spoorwegennetwerken en bouwwerken ten behoeve van het gebruik door personen en het produceren en verwerken van goederen.

De bibliotheek hanteert het objecttype geluidbeperkende constructie en geeft als definitie: ‘scheiding bedoeld om geluidhinder in de buitenlucht te verminderen’. Er worden drie uitvoeringsvormen onderscheiden, namelijk een scherm, wand en een wal. In dit onderzoek wordt gekeken naar een betonnen geluidsscherm en een aarden wal. De definitie van een geluidsscherm is: ‘wandvormige geluidbeperkende constructie, bestaande uit constructie-elementen zoals stijlen en regels, waartussen geluidbeperkende elementen zijn aangebracht’. De definitie van een wal is: ‘geluidbeperkende constructie bestaande uit een kern van zand of een ander vulmateriaal afgedekt met een laag grond waarop begroeiing mogelijk is’.

Het doel van een geluidbeperkende constructie is het verminderen van geluidhinder. De geluidsreductie wordt bepaald door de positie van de constructie, de hoogte, de lengte, de hoogte van de bestemming (ontvanger van geluid) en de afstand tussen de bestemming en de weg. Hiernaast zijn de vormgeving en de akoestische eigenschappen van de constructie van invloed op het effect op de geluidbelasting (*CROW, 2012*).

### Ontwerpnormen en ontwerpproces

Het ontwerp van geluidsmaatregelen zijn gebaseerd op ontwerpnormen. Het spoor en de weg hanteren ontwerpnormen die grote overeenkomsten vertonen tussen geluidbeperkende constructies maar kennen op sommige vlakken verschillen. De verschillen hebben te maken met de belasting, veiligheid, bereikbaarheid en de vorm. Om deze reden bestaat er een aparte richtlijn voor het spoor en de weg.

- GCW Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen 2012 CROW
- ProRail-ontwerpvoorschrift OVS0058 Geluidbeperkende constructies bij spoorwegen

In beide richtlijnen vinden doorwerkingen plaats van de grondslagen volgens NEN-normen. Een op de markt gebracht geluidwerende constructie dient te voldoen aan deze normen en dit wordt aangetoond middels een CE-markering. Bij de plaatsing van geluidsschermen bij industrie bestaat geen aparte richtlijn maar wordt aangesloten bij de NEN-normen.

### *Betonnen geluidsscherm*

Van alle toepasbare materialen waaruit een geluidsscherm gemaakt kan worden biedt beton de meeste mogelijkheden voor vormgeving (*CROW, 2012*). Het meest voorkomende geluidsscherm bestaat dan ook als hoofdmateriaal uit constructiebeton (*Wilco van der sar, persoonlijke communicatie, 28-03-2019*). Vanuit veiligheidsoogpunt gezien is dit ook het type wat het meeste bescherming kan bieden tegen een explosie of brand vanwege de massieve en brandwerende eigenschappen van beton (*Paul de Kort, persoonlijke communicatie, 25-04-2019*). Betonnen geluidsschermen zijn vaak gewapend uitgevoerd met wapeningsstaal en zijn gefundeerd (*figuur 16 & 17*).



Figuur 16 Betonnen geluidsscherm Vught A2 (fotograaf: Henri Cormont, 29-10-1991)



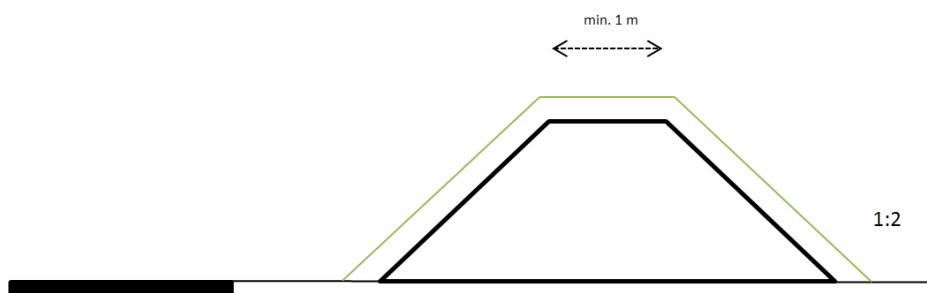
Figuur 17. Fundering voor een geluidsscherm bij Weert Slingertrace Rijksweg A2 (fotograaf: Bart van Eyck, 6-2-1990)

#### Aarden wal

Een aarden wal bestaat uit een kern van zand, grond of steenachtig materiaal die is afgedekt met gebiedseigen grond. Op deze grond kan de gewenste vegetatiesoort worden beplant. Geluid-en onderhoudsaspecten bepalen de helling van de taluds en de breedte van de kruin. Een aarden wal neemt relatief veel ruimte in beslag en om het ruimtegebruik te beperken kunnen de taluds steiler worden uitgevoerd door gebruik te maken van de volgende materialen:

- Geotextiel, bij hellingen tot 75 graden;
- Schanskorven en samengestelde constructies, bij hellingen tot 90 graden.

Over het algemeen wordt ernaar gestreefd taluds met een grasachtige begroeiing niet steiler te maken dan 1:2. Voor effectief onderhoud is het wenselijk om voor de breedte van de kruin, indien mogelijk, minimaal 1 meter aan te houden (CROW, 2012).



Figuur 18. Aarden wal (eigen archief)

Een aarden wal is in de praktijk minder effectief dan een geluidsschermband omdat het geluid de neiging heeft om over de top van de glooiende wal te buigen (CROW, 2012). Aarden wallen worden om deze reden ook vaak uitgevoerd met een geluidsschermband op de top van de helling (Wilco van der Sar, persoonlijke communicatie, 28-03-2019).

In de twee casussen die volgend hoofdstuk worden behandeld zijn de brandeigenschappen van beton en een aarden wal van belang. Deze eigenschappen worden behandeld in Box 3. Hoe momenteel met de bereikbaarheid en ontluchtbaarheid wordt rekening gehouden bij het ontwerp van geluidbeperkende constructies komt aanbod in Box 4. De informatie die is behandeld in dit hoofdstuk biedt een antwoord op deelvraag 3: wat zijn de specificaties van een betonnen geluidsschermband en een aarden wal?

### **Box 3. Nadere eigenschappen beton en aarden wal**

Voor de casus die in hoofdstuk 4 uitgewerkt zal worden én voor een aanzet tot verder kwantitatief onderzoek, is het van belang de brandeigenschappen van beton en een aarden wal inzichtelijk te krijgen.

Als beton door brand wordt verwarmd dan dringt de warmte via het betonoppervlak het beton door. De hitte die door een brand wordt ontwikkeld zal door straling en via stroming van hete lucht op het betonoppervlak inwerken. Beton bestaat uit een mengsel van toeslagstoffen (zand en grind), cement en water. Beton kenmerkt zich door de ongestructureerde aanwezigheid van toeslagstoffen met daartussen cementsteen en holle ruimtes. De verhouding tussen het volume aan poriën en het betonvolume bepaald de porositeit van beton (*Betonlexicon, 2018*). In de betonconstructie zelf wordt warmte verder getransporteerd door warmtegeleiding. Beton is een slechte warmtegeleider waardoor het warmtetransport in beton traag is (*Kramer, 2005*). In de poriën van het beton zit poriënwater, dat door de warmtebelasting zich kan vormen naar stoom. Bij hoge temperaturen kan er een stoomdruk ontstaan waardoor de oppervlaktelaag van beton op een vrij explosieve wijze door een te hoge stoomdruk kan worden afgeduwd (*De Schutter & Taerwe, 2008*). Dit wordt ook wel het spatten van beton genoemd. Er kunnen hierbij stukken beton door de lucht vliegen en de stalen wapening van het beton kan bloot komen te liggen (*Peutz, persoonlijke communicatie, 8-05-2019*). Een betonnen geluidsscherm is vrijwel altijd gewapend uitgevoerd. Een wapening geeft samenhang, verhoogt het draagvermogen en overbrugt mogelijke scheurvorming van beton. Beton is slecht in het opnemen van trekkrachten, krachten die door een stalen wapening wel goed worden opgenomen. Wanneer staal wordt verhit kan het echter minder trekspanning opnemen wat de stabiliteit van het geluidsscherm in gevaar kan brengen. Wanneer een betonnen geluidsscherm aan een zijde wordt verhit, zet de verhitte zijde uit en treedt er een kromming op van het vuur af (bolle zijde is de verhitte zijde) (*Peutz, persoonlijke communicatie, 8-05-2019*).

Ondanks de instabiliteit die bij een brand op kan treden, heeft beton goede brandwerende eigenschappen. Beton is een onbrandbaar materiaal en door de trage warmtegeleiding kan na een uur brand de aangestraalde zijde een temperatuur van 600 graden hebben, terwijl aan de achterzijde nauwelijks 60 graden wordt gemeten (*Eurocode 2, 2004*). Vanwege de trage inwerkingstijd van de warmtestraling is de warmteafgifte ná de brand pas het hoogst.

Een aarden wal zal ongeveer net zoveel hittestraling tegen houden als beton. In hoofdstuk 4 is behandeld dat een aarden wal begroeiing heeft. Door een brand zal deze begroeiing op een gegeven moment verschroeien. Dit gebeurt tot op de top van de aarden wal (*Peutz, persoonlijke communicatie, 8-05-2019*). De warmte van een brand gaat omhoog door straling van de verwarmde luchtlagen waardoor het aan de achterzijde van de aarden wal koeler blijft.

## Box 4. Geluidbeperkende constructies en bereikbaarheid en ontvluchtbaarheid

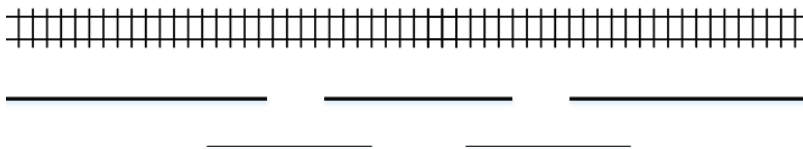
In deze box wordt de bereikbaarheid en ontvluchtbaarheid van geluidbeperkende constructies behandeld. De bereikbaarheid en ontvluchtbaarheid van een locatie is van belang wanneer er zich hier een incident met gevaarlijke stoffen voordoet. Er wordt gekeken naar de bereikbaarheid en ontvluchtbaarheid bij het spoor en bij de weg. Tevens wordt er gekeken naar hemelwaterafvoer.

### Betonnen geluidsscherm en veiligheid

#### Spoor:

Bij de planvorming en het ontwerp van het spoor wordt er rekening gehouden met de ontvluchtbaarheid en bereikbaarheid van de spoorweginfrastructuur. Er bestaan geen wettelijke eisen die gesteld worden aan de ontvluchtbaarheid of bereikbaarheid maar generieke eisen zijn benoemd in Voorzieningen spoorweginfrastructuur voor vluchten en bereikbaarheid 2015 van ProRail. Bij het spoor wordt er voorkeur gegeven aan geluidsschermen die geen extra risico toevoegen aan de plasomvang of vorm bij het vrijkomen van gevaarlijke vloeistoffen. Technisch wordt hier een invulling aan gegeven door openingen onder het geluidsscherm te realiseren, die voorkomen dat de oppervlakte van een plasbrand wordt vergroot. Daarnaast wordt het ballastbed door ProRail als een beheersmaatregel gezien en beperkt deze de uitstroming van gevaarlijke vloeistoffen (*Peter Robbe, persoonlijke communicatie, 26-03-2019*). De OVS schrijft bij een plasaandachtsgebied een kier aan de onderkant van een geluidsscherm voor. Deze ruimte is ten minste 50 mm en ten hoogste 80 mm óf 1m<sup>2</sup> per 20 meter lengte geluidswering om accumulatie van vloeistoffen te voorkomen.

De ontvluchtbaarheid van personen op het spoor wordt door de plaatsing van geluidsschermen vermoeilijkt. Het spoor is per definitie slecht bereikbaar door hoogteverschillen en de wens om het spoor af te schermen voor de omgeving (*Paul de Kort, persoonlijke communicatie 25-03-2019*) en wordt door de plaatsing van geluidsschermen extra verslechterd. Er worden vluchtdeuren geplaatst om vanaf het spoor naar achterliggend gebied te kunnen vluchten. De vluchtdeuren openen naar buiten toe. In plaats van vluchtdeuren kunnen er ook sluisopeningen worden toegepast. Een sluisopening is een opening in het scherm met een tweede scherm daarachter (*ProRail & Bureau Spoorbouwmeester, 2016*).



Figuur 19. Sluisopeningen in geluidsscherm (eigen archief, Visio2013)

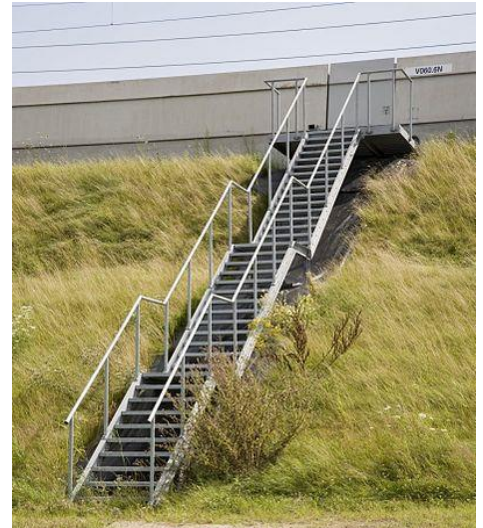
Aan de bereikbaarheid van het spoor voor hulpdiensten wordt invulling gegeven door infrasleutels te hanteren waarmee de vluchtdeuren van buitenaf geopend kunnen worden. Hiernaast worden er doorvoervoorzieningen ten behoeve van brandslangen toegepast. Bij de Betuweroute is om de honderd meter een brandslangopening aanwezig (*Paul de Kort, persoonlijke communicatie, 25-03-2019*). De opstelplaatsen en toetredingspunten van de spoorbaan worden met de Veiligheidsregio's afgestemd en de maximale loopafstanden bij planmatig vervoer van gevaarlijke stoffen bedragen 200 of 100 meter (afhankelijk van hoogte groepsrisico).

#### Weg:

Bij de weg wordt eveneens rekening gehouden met ontvluchtbaarheid en bereikbaarheid. De eisen komen grotendeels overeen met de eisen die aan de veiligheid van geluidsschermen bij het spoor worden gesteld. Geluidsschermen langs wegen kunnen een afwateringsspleet hebben voor de afwatering van hemelwater. In tegenstelling tot het spoor dat voor de afvoer van hemelwater grotendeels gebruik kan maken van het ballastbed, stroomt het hemelwater bij de weg af naar de berm. Bij een doorlopende spleet mag de maximale hoogte 200mm bedragen wanneer de afstand tussen het scherm en het dichtstbijzijnde waarneempunt (woning) groter dan 25 meter bedraagt. Bij een kleinere afstand mag een doorlopende spleet maximaal 100mm hoog zijn. Bij een onderbroken spleet (minstens helft van de scherm lengte gesloten) bedraagt de maximale hoogte 200mm (*CROW, 2012*). Bij hogere spleten zal de geluidstransmissie teveel toenemen. Een kier aan de onderzijde van een geluidsscherm heeft als ander voordeel dat er gemakkelijk (maai)onderhoud aan het talud kan worden uitgevoerd (*Peutz, persoonlijke communicatie, 8-05-2019*). Bij de weg worden er vluchtdeuren of

als alternatief sluisopeningen toegepast. De vluchtdeuren openen naar buiten toe en hulpdiensten hebben infrasleutels om de deuren van buiten te openen bij een incident. Een incident met gevaarlijke stoffen op de weg is beter bereikbaar voor de hulpdiensten dan het spoor. In geluidsschermen langs wegen worden daarom nauwelijks brandslangopeningen toegepast.

Een generieke eis is het toepassen van taludtrappen voor de vluchtroute achter het geluidsscherm bij taludhellingen van meer dan 30 graden (figuur 20).



*Figuur 20. Trap tegen talud van de Betuwelijn bij Tiel (fotograaf C.S. Booms, 2007)*

### **Aarden wal en veiligheid**

De vluchtmogelijkheden bij een aarden wal zijn beperkter. In aarden wallen worden geen vluchtdeuren aangebracht. In tegenstelling tot geluidsschermen kan er in sommige gevallen over de aarden wal gevlucht worden indien deze niet te stijl is. De vluchtmogelijkheden worden bepaald door de hellingshoek van de aarden wal. Bij aarden wallen kunnen er eveneens taludtrappen worden toegepast.



## 7. Twee casussen – eigen onderzoek

In dit hoofdstuk worden er twee casussen behandeld die kijken naar de beschermende werking van een betonnen geluidsscherm bij het scenario plasbrand en de beschermende werking van een aarden wal bij een BLEVE. Beide casussen gaan uit van een incident op de weg. De uitwerkingen van de casussen zijn terug te vinden in box 5 en box 6. De resultaten worden in dit hoofdstuk besproken en aangevuld met resultaten uit interviews.

### *Betonnen geluidsscherm en plasbrand*

Om achterliggend gebied zo goed mogelijk te beschermen tegen de warmtestraling van een plasbrand zijn kieropeningen bij een betonnen geluidsscherm onwenselijk. Door kieropeningen kan een brandbare vloeistof uitstromen en zo dichtbij woningen terecht komen. Indien kieropeningen noodzakelijk zijn voor de afvoer van hemelwater kan er een keermuur of een opvanglocatie achter het geluidsscherm worden gerealiseerd die de uitstroming van de brandbare vloeistof beperkt. Een betonnen geluidsscherm houdt warmte tegen, er valt echter niet te zeggen hoeveel warmtestraling dit precies is. Dit is afhankelijk van de betonnen geluidskonstructie, de afstand van het incident tot het geluidsscherm en de opbouw van het plangebied. Een betonnen geluidsscherm beschermt enkel achterliggend gebied dat zich in de 'schaduw' van het scherm bevindt. Met het ontwerp van een plangebied dient hier rekening mee te worden gehouden (figuur 21). Tevens zal een windvrije zone achter het scherm ervoor kunnen zorgen dat het warmer wordt door thermische geleiding. Een planontwerp wat voorziet in een goede luchtdoorstroming kan dit effect verminderen.



Figuur 21. Schaduwwerking in relatie tot bouwtype (eigen archief)

### *Aarden wal en BLEVE*

Of een aarden wal bescherming biedt tegen de effecten van een BLEVE is niet in algemene zin te zeggen. De mate van bescherming is afhankelijk van de opbouw van de omgeving en de kenmerken van de BLEVE. De effecten van een BLEVE zijn onder te verdelen in overdruk, warmtestraling en brokstukken. Een aarden wal biedt bescherming tegen overdruk wanneer bebouwing direct tegen de aarden wal wordt geplaatst. Voor de vuurbal zal een aarden wal niet veel bescherming bieden. Brokstukken kunnen mogelijk worden tegengehouden maar dit is afhankelijk van de opbouw van het plangebied.

In onderstaand schema zijn de bevindingen van dit hoofdstuk weergegeven. Er is in het schema eveneens gekeken naar de beschermende werking van een betonnen geluidsscherm bij een BLEVE en de beschermende werking van een aarden wal bij een plasbrand.

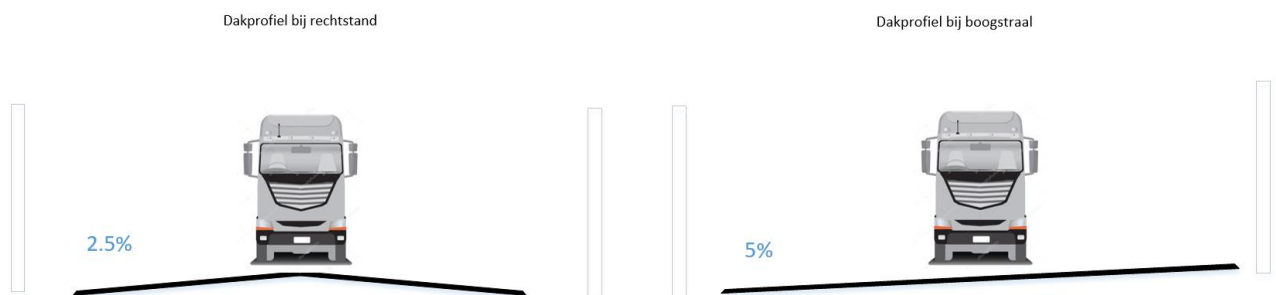
		Scenario				
		Plasbrand		BLEVE		
		Warmtestraling	Vloeistofuitstroming	Overdruk	Vuurbal	Brokstukken
Bescherming achterliggend gebied?	Aarden wal	Een aarden wal houdt warmte tegen en biedt daarom bescherming.	Ja, een aarden wal zorgt ervoor dat er geen vloeistofuitstroming naar achterliggend gebied kan plaatsvinden.	Ja, indien de bebouwing direct tegen de aarden wal gelegen is.	De vuurbal is te hoog waardoor de aarden wal nauwelijks bescherming biedt.	Kan bebouwing direct tegen de aarden wal beschermen.
	Betonnen geluidsscherm	Beton is een slechte warmtegeleider. Het duurt lang voordat beton warmte doorstraalt. Een betonnen geluidsscherm biedt daarom bescherming.	Ja, indien de onderkant van het geluidsscherm dicht is óf er een opvangcapaciteit voor of achter het scherm gerealiseerd is.	Het is niet bekend of een betonnen geluidsscherm bestand is tegen de overdruk.	De vuurbal is te hoog waardoor het betonnen geluidsscherm nauwelijks bescherming biedt.	Niet bekend. Een betonnen geluidsscherm kan mogelijk zorgen voor extra brokstukken.

*Figuur 22. Bescherming betonnen geluidsscherm en aarden wal bij een plasbrand en BLEVE (gebaseerd op de 2 casussen en persoonlijke communicatie met Inge Trijssenaar, Luc Stoot en Peutz).*

In dit hoofdstuk is een antwoord gegeven op deelvraag 4: bieden deze geluidbeperkende constructies bescherming tegen een explosie en brand?.

## Box 5. Casus 1 betonnen geluidsscherm en plasbrand

Plasbranden worden gemodelleerd als een ronde plasbrand. Bij een geluidsscherm of aarden wal is er sprake van een beperkende mate van uitstroming en zal de plas uitstromen in de vorm van een langwerpige plas. In de bochten van (spoor)wegen wordt verkanting toegepast om bij voertuigen in een bocht de middelvliepende krachten te compenseren en te voorkomen dat een voertuig uit de bocht vliegt (*Rijkswaterstaat, 2012*). Bij rechtstand kan er tevens een verkanting worden toegepast om hemelwater af te voeren naar de berm. Wanneer er bij een ongeval een tank met gevaarlijke vloeistoffen openscheurt en de tankinhoud vrijkomt, zal de vloeistof uitstromen naar het laagste horizontale en verticale punt. Bij een verticaal rechtliggende weg met een horizontale verkanting stroomt de vloeistof af naar de berm. Bij een verticaal rechtliggende weg met in een boogstraal is de verkanting nog groter waardoor vloeistoffen nog sneller zullen afstromen naar de berm. Wanneer er sprake is van een verdiepte ligging van een weg, zal de vloeistof zich concentreren rondom het laagste verticale punt.

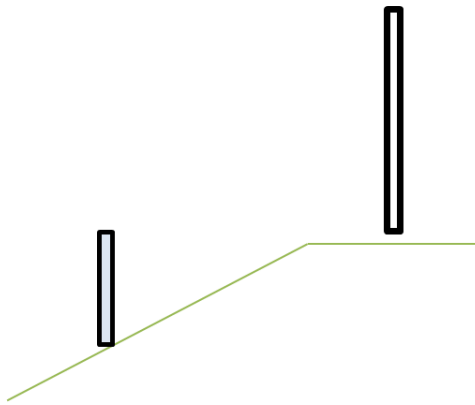


Figuur 23. Verkantingspercentage bij rechtstand en boogstraal van een Rijksweg (gebaseerd op Richtlijnen Ontwerp Hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken, 2012, eigen archief)

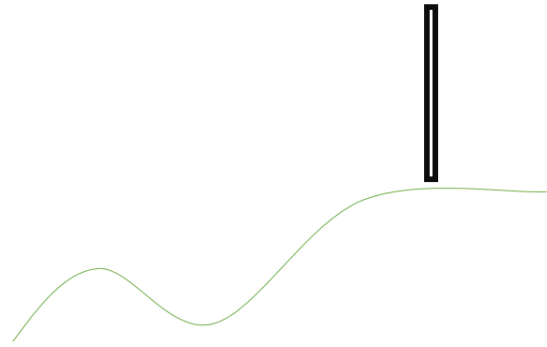
Het is wenselijk om de uitstroming van een brandbare vloeistof te beperken. Geluidsschermen kunnen kieropeningen bevatten voor de afvoer van hemelwater. Vanwege de verkanting van de weg zal het hemelwater aflopen naar de berm en via de kieropening uitstromen naar achterliggend gebied. Een brandbare vloeistof kan op deze manier eveneens uitstromen. Het uitstromen van een brandbare vloeistof naar de achterzijde van een betonnen geluidsscherm wordt in onderstaande casus behandeld.

In deze fictieve casus wordt uitgegaan van het instantaan vrijkomen van een tankinhoud van 23000 liter benzine die een plasbrand veroorzaakt. Het scenario vindt plaats op een weg. De diameter waarover de plasbrand uitstroomt, is volgens de scenariobeschrijving van het Scenarioboek Externe Veiligheid 40 meter. Er wordt uitgegaan van een worst-case scenario waarbij de uitstroming van de plasbrand over 40 meter direct naast een betonnen geluidsscherm plaatsvindt. Er komt dus 23000 liter over een lengte van 40 meter vrij. Het geluidsscherm bevat een kieropening voor de afvoer van hemelwater. Er wordt uitgegaan dat alle vloeistof hierdoor uitstroomt naar achterliggend gebied zonder te worden opgenomen in de grond. Het geluidsscherm staat op een talud van 30 graden dat afloopt naar achterliggend gebied toe. Een berekening is uitgevoerd om te bepalen wat het oppervlak is en de hoogte van de vloeistof die afstroomt (bijlage berekening uitstroom brandbare vloeistof). Een muur van minimaal 96 cm hoog is nodig om de vloeistof tegen te houden. Er is hierbij geen rekening gehouden met de uitstroming van de plasbrand aan weerszijden van deze muur.

In praktijk zal de muur lager kunnen zijn vanwege de opname van vloeistof door de vluchtberm, het talud en het feit dat niet alle vloeistof af zal stromen. De plaatsing van een muur van bijna 1 meter hoog kan de vluchtmogelijkheden vermoeilijken eveneens als het (groen)onderhoud aan het talud. Als alternatief kan er een extra helling in het talud worden aangebracht. Men kan zo beter vluchten en het (groen)onderhoud wordt vergemakkelijkt. Hoe steiler het talud, hoe hoger de keermuur of hoe dieper de opvanglocatie dient te zijn. Tevens dient er dan een vluchtrap te worden aangebracht (bij een helling van meer dan 30 graden).



*Figuur 24 Toepassing van een keermuur in het talud (eigen archief)*



*Figuur 25. Toepassing van een opvanglocatie in het talud (eigen archief)*

#### *Waarom de uitstroom van vloeistoffen laten accumuleren?*

Door het plaatsen van een keermuur of extra helling in het talud zal de plasbrand zich accumuleren. Bij het spoor wordt dit als een onwenselijke situatie gezien. Een brandbare vloeistof kan zo bij een andere tankwagon komen en domino-effecten veroorzaken. Bij de weg is er sprake van afzonderlijk rijdende tankwagons. De kans op domino-effecten op de weg is bijzonder klein (*Gert Lems & Manon Kruiskamp, persoonlijke communicatie, 11-04-2019*). De kans op domino-effecten achter een geluidsscherm is eveneens klein en juist het voorkomen van afstroming naar woningen is van belang (*Peutz, persoonlijke communicatie, 9-5-2019*).

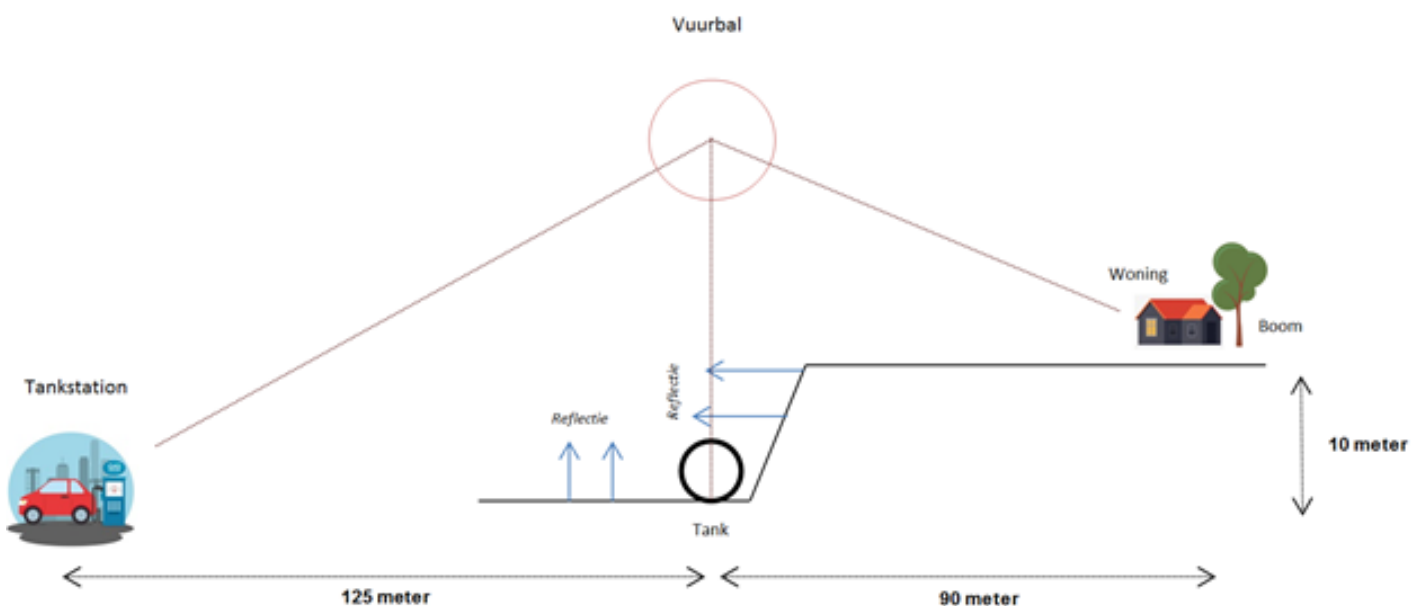
#### *Bescherming warmtestraling*

In Box 3 komt naar voren dat beton goed warmte tegen kan houden. TNO heeft onderzoek gedaan naar de brandwerende werking van een betonnen muur. Een betonnen muur kan bij een plasbrand ervoor zorgen dat een optredende warmtestraling van  $44\text{kW/m}^2$  kan worden gereduceerd met 90% achter de muur (*Suddle, 2004*). De hoeveelheid warmtestraling die een betonnen geluidsscherm tegenhoudt kan op dit moment niet kwantitatief worden bepaald. Een betonnen geluidsscherm is dunner dan een betonnen muur en de mate waarin deze warmtestraling tegenhoudt zal dan ook minder zijn. Ondanks dat een betonnen geluidsscherm bescherming biedt, kan het op den duur achter het scherm warm worden door de warmtegeleiding door het beton heen, maar ook door thermische straling. De luchttemperatuur wordt door thermische straling verwarmd. Op deze manier kan het achter het scherm warm worden. Een goede luchtverversing zorgt ervoor dat de luchttemperatuur laag blijft (*Luc Stoot, persoonlijke communicatie, 10-04-2019*).

Bij kieropeningen wordt het betonnen geluidsscherm niet alleen aan de aanstralingskant verhit, maar ook aan de onderkant én de achterzijde van het scherm. Het scherm kan op deze manier nog sneller stabiliteit verliezen en het beton kan op deze manier gaan spatten aan twee zijdes (*Peutz, persoonlijke communicatie, 9-05-2019*). Tevens wordt de beschermende functie van beton tegen warmtestraling gedeeltelijk teniet gedaan door de realisatie van kieropeningen.

## Box 6. Casus 2 aarden wal en BLEVE

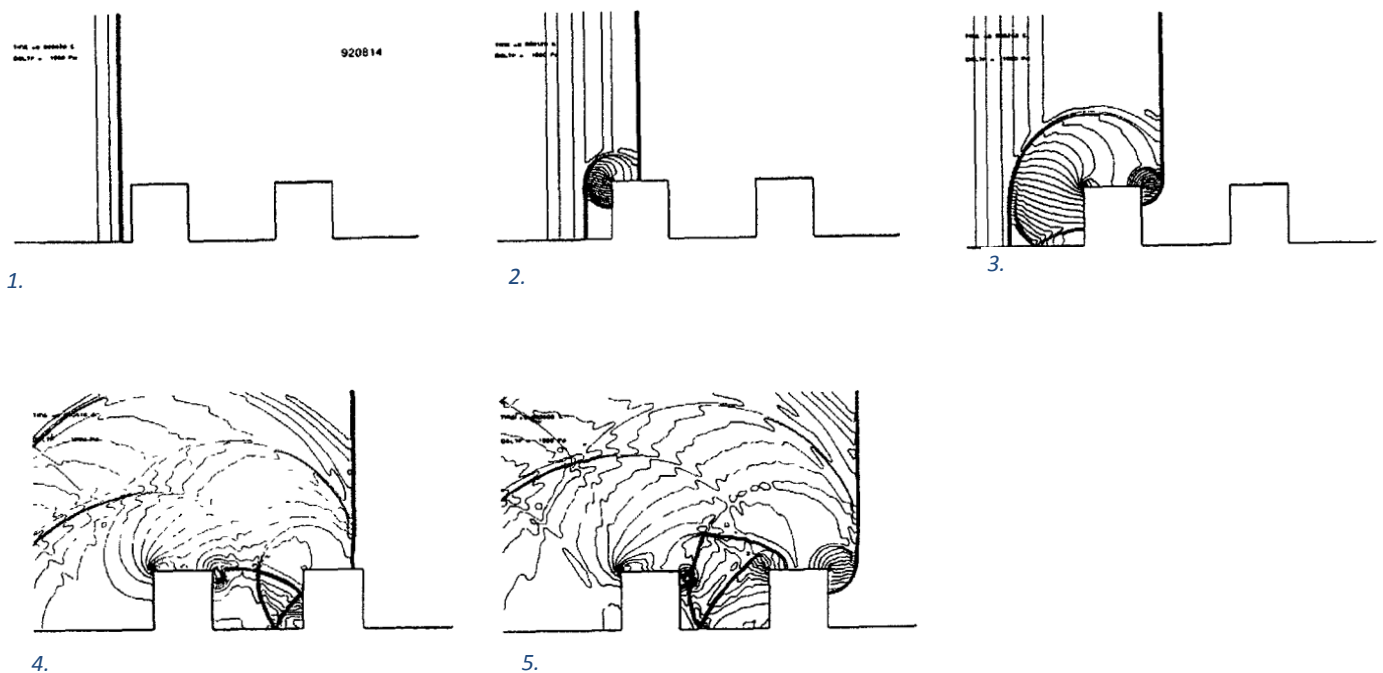
Op 20 oktober 2011 vond er een ongeval plaats met een tankwagen geladen met LNG in Zarzalico (Spanje). LNG staat voor liquid natural gas en wordt ook wel vloeibaar aardgas genoemd. De tankwagen botst tegen een betonnen vangrail in een eenzijdig ongeval waardoor de tank van de wagen afrolt en tussen de vangrail en een aarden wal terecht komt. Er ontstaat een brand die grotendeels het gevolg is van een lek in de tank met LNG. De brandweer besluit om een gebied van 200 meter af te zetten vanwege de kans op een BLEVE. Enkele seconde nadat het gebied is ontruimd vindt de BLEVE plaats. Door Planas, Pastor, Casal, Bonilla (2015) is onderzoek verricht naar de impact en effecten van het ongeval. In het onderzoek worden drie gevolgen van de BLEVE beschreven, namelijk de overdruk, brokstukken en hittestraling. Vanwege de tank die tegen een aarden wal van 10 meter hoog ligt, treedt er een andere reflectie op dan wanneer de BLEVE plaatsvindt in het 'vrije veld'. De gevolgen van de overdruk zijn dan ook het meest waarneembaar aan de linkerkant van de tank (figuur 26). Op 125 meter vanaf de linkerkant van tank is een tankstation en koffiewinkeltje gelegen. Er wordt geschat op basis van de schade (ruitbreuk van grotere raampartijen) dat er hier een overdruk tussen de 0,02 en 0,03 bar is bereikt. Er is geen informatie over de afmetingen en hoogte van de vuurbal die is ontstaan, er wordt geschat dat deze tot 100 meter hoog reikte op basis van een boom die op 90 meter afstand van de tank stond en pyrolyse heeft ondergaan. De hittestraling die nodig is geweest om pyrolyse te veroorzaken wordt geschat op  $55\text{kW/m}^2$  (bij een vuurbalduur van 10 seconde, gebaseerd op initiële inhoud van de tank). De vuurbal die ontstaat tijdens de BLEVE ondervindt geen invloed van de aarden wal. De brokstukken van de tank liggen grotendeels nog tegen de aarden wal aan maar kleinere fragmenten zijn gevonden in een straal van 200 meter. De verspreiding van de fragmenten werd door de aarden wal gedeeltelijk tegengehouden. De kleinere fragmenten zijn voornamelijk gevonden aan de kant van het tankstation.



Figuur 26. Figuur gebaseerd op onderzoek Planas et al, 2011 (eigen archief)

Uit het analyseonderzoek blijkt dat de aarden wal invloed uitoefent op de overdruk en verspreiding van brokstukken. Door een aarden wal treedt er reflectie op waardoor de overdruk aan de zijde zonder aarden wal wordt versterkt. Een aarden wal heeft veel volume waardoor het tevens een deel van de drukgolf op kan nemen (Luc Stoot, *persoonlijke communicatie*, 10-04-2019). De precieze invloed van de aarden wal op de overdruk van de BLEVE is niet bekend. Een aarden wal ter bescherming van de vuurbal naar de omgeving heeft nauwelijks invloed en dit wordt onderschreven door Inge Trijselaar (*persoonlijke communicatie*, 26-04-2019). Inge Trijselaar geeft aan dat aarden wallen simpelweg niet hoog genoeg zijn. De woning die gelegen is op de aarden wal ligt dicht bij de vuurbal vanwege de ligging op de aarden wal. De woning krijgt dus meer hittestraling dan wanneer deze op maaiveld hoogte gelegen is.

Een obstakel beïnvloedt de voortplanting van een drukgolf. Achter een obstakel kan een luwtezone ontstaan. TNO heeft onderzoek gedaan naar de invloed van een dijklichaam op de overdruk van een explosie. De beïnvloedde zone achter dijklichamen heeft ongeveer een grootte van drie á vijfmaal de hoogte van de dijk (Mercx, 1991). Een aarden wal kent eenzelfde massiviteit als een dijklichaam. Een aarden wal kan bescherming bieden voor woningen tegen de overdruk van een explosie. De woningen genieten bescherming wanneer deze direct tegen de aarden wal worden aangelegd (Luc Stoot, persoonlijke communicatie, 10-04-2019). Bij een BRZO bedrijf is dit principe toegepast<sup>1</sup>. Teveel ruimte tussen twee obstakels zorgt ervoor dat de drukgolf gereflecteerd wordt en cirkelvormig uitbreidt vanuit alle hoeken van het obstakel waarop de drukgolf als eerste valt. Tussen de twee obstakels ontstaat zo een ingewikkeld interactieproces van de drukgolf. Door Booij et al, 1999 is onderzoek gedaan naar de drukgolf tussen twee objecten (figuur 27). Te zien is dat de golf die invalt op het tweede gebouw gedeeltelijk reflecteert en terugkaatst naar de achterkant van het eerste gebouw. Dit verklaart waarom de achterkant van een gebouw dat omringd is door andere gebouwen vaak ook veel schade vertoont na een explosie (Booij et al, 1999).



Figuur 27. Simulatie drukgolf van 10kPa die invalt op twee 10 meter hoge huizen met een onderlinge afstand van 15 meter (Booij et al, 1999)

Wanneer er teveel ruimte tussen een aarden wal en woningen zit, heeft de aarden wal geen beschermende werking meer tegen de drukgolf. Naast overdruk is hittestraling een belangrijk effect wat optreedt bij een explosie. De hittestraling van een BLEVE is voornamelijk bepalend voor het slachtofferbeeld. Een aarden wal biedt weinig effect tegen deze hittestraling. De vuurbal die bij een BLEVE ontstaat heeft een omvang van 200-300 meter. De overdruk van een BLEVE blijft beperkt tot ongeveer 30 meter. Voor brokstukken kan een aarden wal mogelijk bescherming bieden. Echter is dit niet in algemene zin te zeggen en afhankelijk van de opbouw van het plangebied.

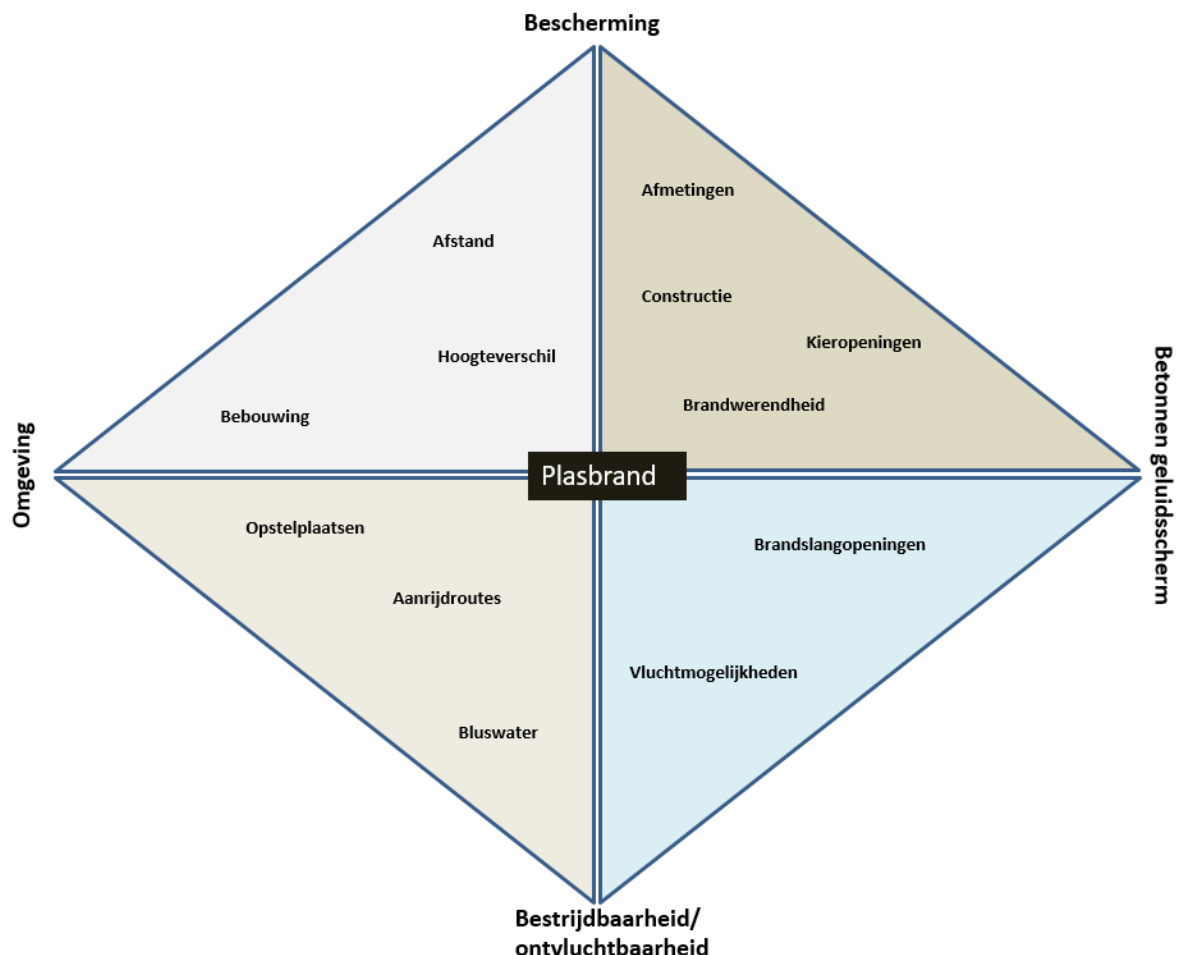
<sup>1</sup> Het desbetreffende BRZO bedrijf wil anoniem blijven.

## 8. Conclusie

Dit onderzoek heeft aangetoond dat partijen die van belang zijn voor de koppeling van geluid en omgevingsveiligheidsmaatregelen niet hetzelfde denken over de beschermende werking van geluidbeperkende constructies tegen de effecten van een brand en explosie. Er is op dit moment te weinig kennis om een onderbouwde uitspraak te doen, iets wat ook verklaard waarom partijen er verschillend in staan. Met behulp van twee casussen is een eerste aanzet gegeven voor verdere kwantificering. Een betonnen geluidsscherm is voor bescherming tegen brand effectiever dan voor een explosie. Een aarden wal is voor bescherming tegen brand effectief en kan effectief zijn tegen de overdruk van een explosie.

Er kan nu een antwoord worden gegeven op de vraag: wat is ervoor nodig om een betonnen geluidsscherm of een aarden wal bescherming te laten bieden tegen de effecten van een explosie en brand?

De vraag wordt procesmatig en inhoudelijk beantwoord. Inhoudelijk is de beschermende werking van een geluidsscherm afhankelijk van de opbouw van het plangebied, de eigenschappen van de geluidbeperkende constructie en de eisen die aan de bestrijdbaarheid en ontvluchtbaarheid worden gesteld. In figuur 28 en 29 is dit weergegeven voor het scenario plasbrand bij een betonnen geluidsscherm en het scenario BLEVE bij een aarden wal. Wat er voor nodig is om bescherming te bieden is het integraal op elkaar afstemmen van de parameters in de figuren. Mogelijk zijn er nog aanvullende parameters van belang. Onderstaande parameters in het figuur zijn tijdens het onderzoeksproces naar voren gekomen.

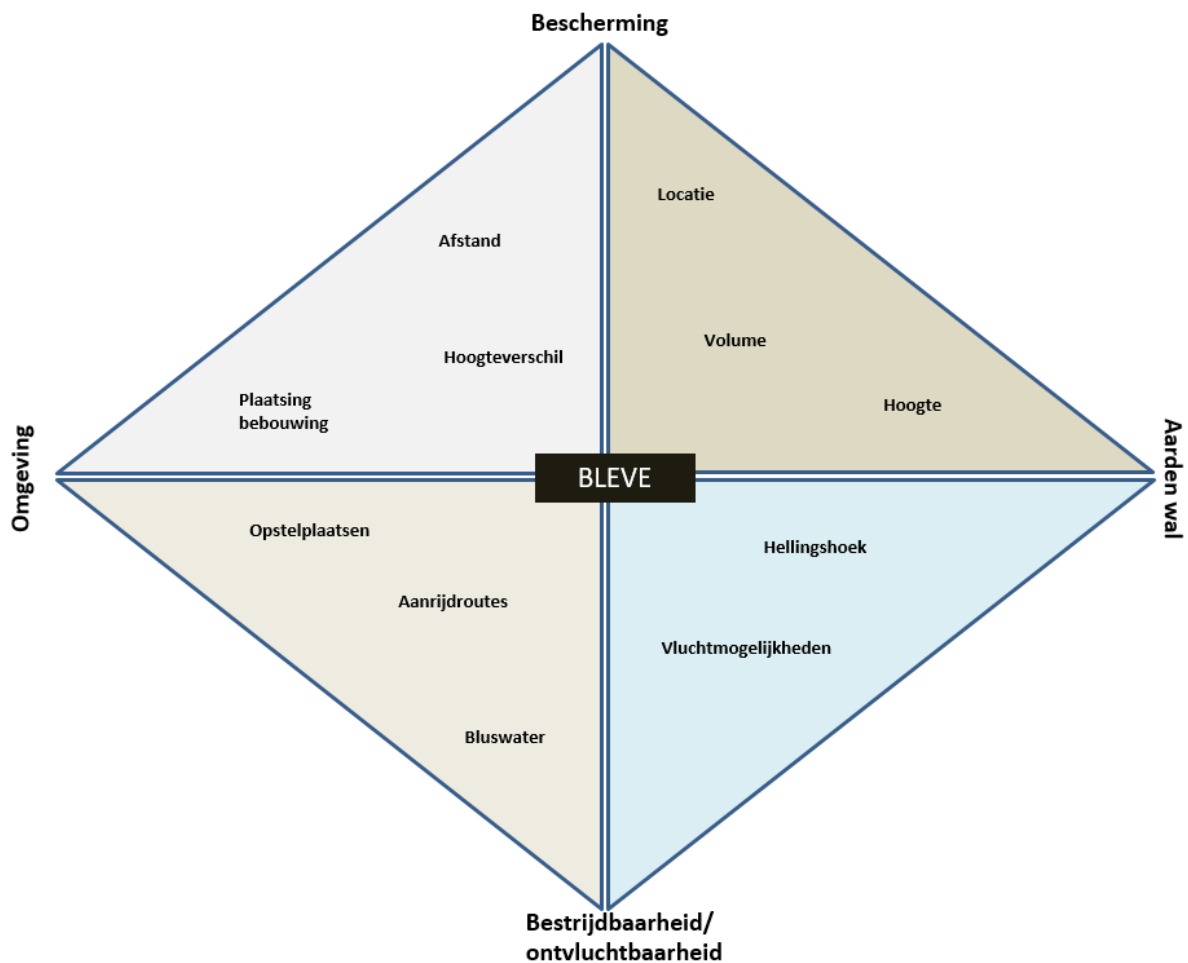


*Figuur 28. Matrix met de verschillende parameters bij een plasbrandscenario. Leeswijzer: de matrix is opgebouwd uit vier vakken met verschillende parameters. De parameters zijn per vlak willekeurig geplaatst. Er zit dus geen betekenis aan de plek waarop ze zijn weergegeven binnen het desbetreffende vlak. (eigen archief)*

<b>Bescherming x betonnen geluidsscherm</b>	
Afmetingen	De mate van bescherming is afhankelijk van de afmetingen van het scherm. Hoe hoger en dikker het scherm, hoe meer bescherming er kan worden geboden tegen de warmtestraling.
Constructie	Hoe steviger het geluidsscherm, hoe langer deze blijft staan en hoe meer bescherming er geboden kan worden tegen de warmtestraling. Stevigheid wordt geboden door de fundering, wapening en aansluiting van constructieonderdelen op elkaar.
Kieropeningen	Kieropeningen kunnen zorgen voor uitstroming van brandende vloeistof naar achterliggend gebied. Indien kieropeningen noodzakelijk zijn, is het wenselijk een opvanglocatie te creëren achter het geluidsscherm (indien mogelijk al voor het scherm).
Brandwerendheid	De brandwerendheid is afhankelijk van de toegepaste materialen en de aansluiting hiervan op elkaar. Tevens kan begroeiing van een geluidsscherm zorgen voor het vergroten van de brand.
<b>Betonnen geluidsscherm x bestrijdbaarheid/ontvluchtbaarheid</b>	
Vluchtmogelijkheden	Er bestaan twee typen vluchtmogelijkheden: een sluisopening en een vluchtdeur. Bij een plasbrand is de uitstroming van brandbare vloeistof naar achterliggend gebied ongewenst. Door een sluisopening kan meer vloeistof uitstromen dan door een vluchtdeur. Bij een brand kan het echter zo zijn dat de vluchtdeur zo heet wordt dat deze niet meer gebruikt kan worden op een veilige manier. Een sluisopening als vluchtmogelijkheid is dan beter.
Brandslangopeningen	Door een betonnen geluidsscherm wordt de bestrijdbaarheid van een incident verslechterd. Brandslangopeningen kunnen worden toegepast om de brand beter te bestrijden.
<b>Bestrijdbaarheid/ontvluchtbaarheid x omgeving</b>	
Opstelplaatsen	Door goede opstelplaatsen te realiseren in een plangebied kan er een snelle bestrijding van het incident plaatsvinden. Opstelplaatsen nemen ruimte in beslag en hiervoor dient een omgeving ruimte voor te bieden.
Aanrijdroutes	Door duidelijke en snelle aanrijdroutes te realiseren kan het incident sneller worden bereikt. Aan wegen worden bepaalde eisen gesteld wat betreft afmetingen, bochtstralen en maximale belastingen.
Bluswater	De aanwezigheid van een bluswatervoorziening vergroot de bestrijdbaarheid.



Omgeving x bescherming	
Afstand	De afstand van bebouwing tot de plek waar een plasbrand plaats kan vinden is van belang voor de mate waarop bescherming kan worden geboden. In algemene zin kan gesteld worden: hoe meer afstand hoe meer bescherming.
Bebouwing	Het soort bebouwing is van belang voor de mate waarop bescherming kan worden geboden. Hoe hoger de bebouwing die dichtbij een plek waarop een plasbrand kan plaatsvinden, hoe meer deze wordt aangestraald. Hoge bebouwing biedt echter wel bescherming aan achterliggend gebied (schaduwwerking).
Hoogteverschil	Wanneer de plek waarop een plasbrand kan ontstaan lager ligt dan omliggend gebied, wordt de omgeving minder aangestraald. Indien omliggend gebied lager ligt dan de plek waarop een plasbrand kan ontstaan, zal er meer aanstraling plaatsvinden.

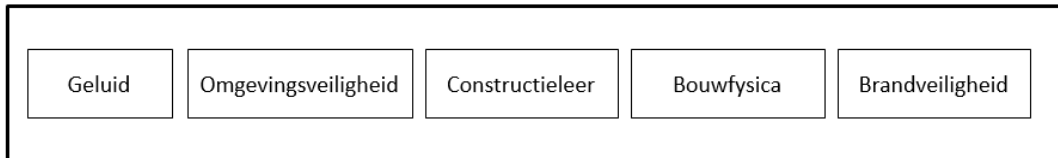


Figuur 29. Matrix met de verschillende parameters voor een BLEVE-scenario. Leeswijzer: de matrix is opgebouwd uit vier vakken met verschillende parameters. De parameters zijn per vlak willekeurig geplaatst. Er zit dus geen betekenis aan de plek waarop ze zijn weergegeven binnen het desbetreffende vlak. (eigen archief) 18

<b>Bescherming x aarden wal</b>	
Volume	Hoe groter het volume van de aarden wal, hoe meer de overdruk van een BLEVE geabsorbeerd kan worden.
Locatie	De mate van bescherming is afhankelijk van de locatie van de aarden wal. Vlakbij een plek waarop de kans bestaat op een BLEVE zal een aarden wal weinig bescherming bieden tegen de warmtestraling van de vuurbal. Wanneer een aarden wal op enige afstand geplaatst wordt kan deze mogelijk wel bescherming bieden tegen de warmtestraling aan achterliggend gebied.
Hoogte	Hoe hoger de aarden wal, hoe meer bescherming deze biedt tegen de overdruk en brokstukken aan achterliggend gebied.
Brandwerendheid	De brandwerendheid is afhankelijk van de toegepaste materialen en de aansluiting hiervan op elkaar. Tevens kan begroeiing van een geluidsscherm zorgen voor het vergroten van de brand.
<b>Aarden wal x bestrijdbaarheid/ontvluchtbaarheid</b>	
Hellingshoek	Hoe groter de hellingshoek van een aarden wal, hoe lastiger de ontvluchtbaarheid en bestrijdbaarheid wordt. Wanneer de brandweer vanaf een aarden wal het incident bestrijdt, genieten ze weinig bescherming.
Vluchtmogelijkheden	Dit punt hangt samen met de hellingshoek van een aarden wal. Vluchtmogelijkheden van een aarden wal onder een hellingshoek zijn beperkt. Bij een hellingshoek groter dan 30 graden dient een taludtrap te worden toegepast.
<b>Bestrijdbaarheid/ontvluchtbaarheid x omgeving</b>	
Opstelplaatsen	Door goede opstelplaatsen te realiseren in een plangebied kan er een snelle bestrijding van het incident plaatsvinden. Opstelplaatsen nemen ruimte in beslag en hiervoor dient een omgeving ruimte voor te bieden.
Aanrijdroutes	Door duidelijke en snelle aanrijdroutes te realiseren kan het incident sneller worden bereikt. Aan wegen worden bepaalde eisen gesteld wat betreft afmetingen, bochtstralen en maximale belastingen.
Bluswater	De aanwezigheid van een bluswatervoorziening vergroot de bestrijdbaarheid.

Omgeving x bescherming	
Afstand	De afstand van bebouwing tot de plek waar een BLEVE plaats kan vinden is van belang voor de mate waarop bescherming kan worden geboden. In algemene zin kan gesteld worden: hoe meer afstand hoe meer bescherming.
Plaatsing bebouwing	Bebouwing direct aan de achterzijde van een aarden wal geniet bescherming. Wanneer er teveel ruimte tussen de aarden wal en bebouwing zit, treden er juist reflecties op van de drukgolf.
Hoogteverschil	Bebouwing die hoger gelegen is dan de aarden wal geniet nauwelijks bescherming van de aarden wal. Bebouwing die hoger ligt dan de plek waarop kans is op een BLEVE heeft minder afstand tot de mogelijke vuurbal die kan optreden en wordt zo meer aangestraald door warmte.

Omdat de mate van bescherming met onderhavig onderzoek nog niet kan worden vastgesteld is het van belang te benoemen wat hiervoor nodig is. Er is kwantitatief onderzoek nodig wat bepaald in welke mate bescherming wordt geboden of wat hier voor nodig is. Hiervoor dienen de volgende vakgebieden bij elkaar te worden gebracht:



## 9. Discussie

De discussie kan als een belangrijk onderdeel van het onderzoek gezien worden omdat het de handvatten biedt voor vervolgonderzoek.

### *Kennis verbinding*

Om als adviseur omgevingsveiligheid in de toekomst een gericht advies uit te brengen is het van belang om de nu aanwezige kennis rondom veiligheidsmaatregelen van adviesbureaus en veiligheidsregio's met elkaar te koppelen. Het onderlinge kennisniveau van veiligheidsregio's is erg verschillend. De koppeling van de nu aanwezige kennis is het startpunt voor verder kwantitatief onderzoek. Met behulp van dit onderzoek is hier een eerste aanzet toegegeven. De kennis die nodig is voor het kwantitatieve onderzoek naar de beschermende werking van geluidbeperkende constructies bevindt zich op het snijvlak van geluid, omgevingsveiligheid, bouwfysica, constructieleer (sterkteleer) en brandveiligheid. Er zijn andere disciplines die deze kennis meer geïntegreerd hebben. Tunnelbouwveiligheid heeft onderzoeken gedaan naar het brandgedrag van beton. Een aanbeveling is om te kijken of er kennis van tunnelbouwveiligheid overgenomen kan worden.

Op kleine schaal is kennis van geluid, omgevingsveiligheid en brandveiligheid bij elkaar gebracht tijdens een interview dat is afgenomen bij Peutz. Tijdens dit interview waren een expert geluid, expert omgevingsveiligheid en een expert brandveiligheid aanwezig. De kennis uit dit interview is waardevol geweest voor onderhavig onderzoek. Een aanbeveling is om deze expertises nogmaals bijeen te brengen en op integrale wijze te kijken naar een betonnen geluidsscherm.

### *Aanbevelingen plasbrandscenario*

De effectiviteit van de beschermende werking van een geluidbeperkende constructie bij een plasbrand dient te worden bepaald. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van full scale-experimenten, schaaltesten of CFD-berekeningen. Er zal moeten worden aangetoond voor welke omstandigheden de effectiviteit geldig is. Het effect van een plasbrand is warmtestraling en een bijkomend ongewenst effect is de uitstroming van de brandbare vloeistof naar achterliggend gebied. Om te bepalen hoe de vloeistof zich verspreidt kan er gebruik worden gemaakt van een modellering. CFD kan de vloeistof verspreiding en warmteoverdracht modelleren. Van belang is om, naast de gangbare parameters, de volgende punten hierbij mee te nemen:

- Verkanting van de (spoor)weg/ hoogteverschillen
- Onverharde oppervlaktes (infiltratiemogelijkheden)
- Afstand ongeval tot de geluidbeperkende constructie

Van belang is om de parameters die aangenomen worden in het model te valideren. Een CFD-berekening is tijdrovend en duur. Het is aan te raden om eerst echte testen uit te voeren. Hoeveel bescherming een geluidbeperkende constructie biedt tegen de warmtestraling is afhankelijk van het type scherm en de gebruikte materialen. De aansluiting van de constructieonderdelen op elkaar is tevens van belang. Geluidbeperkende constructies worden op de markt gebracht met een CE-markering. Om een CE-markering te krijgen is het verplicht om de constructie door middel van een proefopstelling te testen op het gebied van brandveiligheid. Testopstellingen gaan vaak uit van een standaard brandcurve, voor geluidbeperkende constructies wordt een koolwaterstof brandkromme aanbevolen.

Een echte test (full-scale of op schaal) of een CFD-berekening kan worden ingezet om een gelijkwaardige oplossing te toetsen aan de uitgangspunten van de wetgeving. Als wordt aangetoond dat een geluidbeperkende constructie veilig is, kan deze de aanvullende eisen die aan gebouwen worden gesteld in het Bouwbesluit, wat betreft brandveiligheid, overnemen. De vraag is of een geluidbeperkende constructie 1:1 dezelfde bescherming biedt als een brandwerende gevel van een gebouw. Bij een ongeval kan het zo zijn dat de geluidbeperkende constructie bezwaken is. Een aanbeveling is om de faalkansen van een geluidbeperkende constructie te bepalen.

Om te voorkomen dat een brandbare vloeistof uitstroomt, kan er voor het geluidsscherm een opvanglocatie worden gerealiseerd. Tijdens de Netwerkdag Omgevingsveiligheid 2019 werd er een grindbed vóór het geluidsscherm als beheersmaatregel aangedragen. Ook achter het geluidsscherm zijn opvangmogelijkheden mogelijk. Bij een hevige regenbui kan een opvanglocatie echter vol komen te zitten met water. De opvanglocatie wordt dan een soort wadi. Een aanbeveling is om te kijken hoe vaak zo'n opvanglocatie vol zit met water, en in welke mate de effectiviteit verminderd wordt.

### *Aanbevelingen explosiescenario*

Om te bepalen of een geluidbeperkende constructie bescherming biedt of juist zorgt voor een escalatiefactor is een aanbeveling om testen uit te voeren. Kennis van explosies is aanwezig bij defensie en TNO. Een aanbeveling is om deze kennis te linken aan de eigenschappen van geluidbeperkende constructies. Dit kan door een gebiedsontwerp op schaal in een explosie simulator te plaatsen (zie het onderzoek van Booij et al, 1999). In het schaalmodel kan vervolgens een aarden wal (of een ander type geluidbeperkende constructie) worden geplaatst. Er kan zo worden bepaald in hoeverre het reflectieverloop van de drukgolf veranderd en of er daadwerkelijk een luwtezone achter de aarden wal ontstaat. Deze test is vooral bij explosies vanuit puntbronnen interessant. Bij lijnbronnen is de plek van een explosie niet bekend en het explosieverloop niet van te voren te voorspellen.

### *Ontwerpaanbevelingen*

Een voorbeeld van ontwerpaanbevelingen is weergegeven in onderstaand schema. De ontwerpaanbevelingen zijn gebaseerd op onderhavig onderzoek en enkel in kwalitatieve zin bepaald. Een aanbeveling is om de ontwerpaanbevelingen verder te specificeren en uit te breiden op basis van vervolgonderzoek.

#### **Ontwerpaanbevelingen geluidbeperkende constructies in relatie tot omgevingsveiligheid**

- Geluidbeperkende constructie testen op brandgedrag onder een koolwaterstofcurve bij een geaccrediteerd testbedrijf;
- Mogelijke beplanting op de geluidbeperkende constructie uitkiezen op brandbaarheid. Regelmatig onderhoud om dode takken weg te halen;
- Geen sluisopeningen realiseren die zich bevinden in de buurt van kwetsbare objecten, enkel wanneer er een specifiek ontworpen opvanglocatie wordt gerealiseerd of aangetoond kan worden dat de vloeistof de kwetsbare objecten niet kan bereiken;
- Bij een geluidsscherm op een talud en een verlaagd achterliggend gebied, dient een tweede lage muur of opvanglocatie te worden toegepast om uitstroming van vloeistof naar de omgeving te voorkomen door de kieropeningen van het scherm. De hoogte van de keermuur of inhoud van de opvanglocatie is afhankelijk van het maatgevend scenario;
- Kieropeningen goed onderhouden en geen zettingen laten vertonen waardoor de kieropeningen groter zijn dan zo bepaald in het ontwerp.

### *Belang onderkennen*

Door het inwerking treden van het nieuwe omgevingsveiligheidsbeleid komt de nadruk te liggen op de beschermingsopgave van een gebied. Het belang van de beschermende werking van geluidbeperkende constructies dient te worden onderkend. Niet alleen geluidbeperkende constructies maar tevens objecten die zich reeds bevinden in een plangebied en die een mogelijke beschermende functie genieten dienen tijdens een gebiedsontwikkeling worden meegenomen. Van deze objecten is het van belang de beschermende functie te kwantificeren. Dit kan alleen wanneer betrokken partijen zich verantwoordelijk voelen om de beschermende werking van objecten te kwantificeren. De Maatregelencatalogus van het RIVM zal maatregelen ontsluiten die door het werkveld als effectief worden beschouwd. Een aanbeveling is om pilot op te zetten waarin Veiligheidsregio's, adviesbureaus (en mogelijk ProRail en Rijkswaterstaat) gezamenlijk de onderzoeksmogelijkheden verkennen.

De koppeling tussen geluidsmaatregelen en maatregelen voor omgevingsveiligheid is in dit onderzoek bekeken vanuit bestaande geluidsmaatregelen. Er is hiervoor voor gekozen omdat deze kennis reeds beschikbaar was. Een aanbeveling is om een betonnen muur of aarden wal te ontwerpen die allereerst bescherming biedt tegen veiligheidsscenario's, om vervolgens te bepalen of deze ook gebruikt kan worden als geluidwerende constructie. Tevens verdient het aanbeveling om de perceptie van mensen die vlakbij geluidbeperkende constructies wonen, mee te nemen. Het doel van onderhavig onderzoek is niet om heel Nederland vol te

bouwen met betonnen geluidsschermen of aarden wallen. De belevingswaarde van een betonnen geluidsscherm is niet hoog. Als alternatief zou er gekeken kunnen worden naar de beschermende werking van geluidsschermen die zijn uitgevoerd met een ander soort materiaal (glas, aluminium, hout). Om aan te sluiten bij de gedachtegang van de Omgevingswet en de fysieke leefomgeving integraal te benaderen, is ten slotte een aanbeveling om naast de integratie van geluid en omgevingsveiligheid ook te kijken naar een meekoppelkans tussen omgevingsveiligheid en andere milieudomeinen.

## 10. Referenties

Arcadis, AVIV, Antea Group, RoyalhaskoningDHV, Samenwerkende RUD's. (2016). *Modernisering Omgevingsveiligheid in de praktijk*. Geraadpleegd van <https://relevant.nl/display/DOC/Hoofdrapport+Modernisering+Omgevingsveiligheid+in+de+praktijk>

Beheergroep scenarioboek externe veiligheid. (z.d.). Scenarioboek Externe Veiligheid [Dataset]. Geraadpleegd April 3, 2019, van <https://www.scenarioboek.nl/>

Betonlexicon. (2018, Oktober 15). Porositeit van beton. Geraadpleegd April 22, 2019, op <https://www.betonlexicon.nl/P/Porositeit%20van%20beton>

Berrevoets-Steenbakker, M. E. M., & van der Vlies, V. (2017). *Robuust Basisnet, onderzoek naar vergroten robuustheid basisnet spoor*. Geraadpleegd van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2017/06/15/bijlage-3-robust-basisnet-onderzoek-naar-vergroten-robustheid-basisnet-spoor/bijlage-3-robust-basisnet-onderzoek-naar-vergroten-robustheid-basisnet-spoor.pdf>

Booij, S. M., Braat, J. J. M., van Brug, H., & Bruinsma, A. J. A. (1999). Schokgolf visualisatie met behulp van een dubbele referentiestraal fase gestapte holografische interferometer. *Nederlands Tijdschrift Voor Fotonica*, 7–14.

Boxman, A. M. C., & van Vliet, A. A. C. (2016). *Aandachtsgebieden rondom risicobronnen. Achtergronddocument bij de herijking van het risicomodel modernisering omgevingsveiligheid (00001)*. Geraadpleegd van <https://relevant.nl/download/attachments/33816579/Rapport%20Aandachtsgebieden%20rondom%20risicobronnen.pdf?version=1&modificationDate=1466510614268&api=v2>

Compendium voor de Leefomgeving. (2008, Mei 30). Geluid: oorzaken en effecten. Geraadpleegd April 17, 2019, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0285-geluidhinder-bronnen-en-beleid>

CROW. (2012). *Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen GCW-2012*.

De Schutter, G., & Taerwe, L. (2008). Spatgedrag van beton blootgesteld aan brand. *Cement*, 7, 66–69.

Dianous, & Fiévez. (2006). , Aramis project: a more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazard Materials*, 130(3), 220–233.

Duyvis, M. G., Molag, M., Schreurs, H., & Arentsen, D. (2007). *Invloed van geluidsschermen op de externe veiligheid en het optreden van de hulpverleningsdiensten bij treinincidenten op de Betuweroute*. Geraadpleegd van [https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/45591047-eindrapport-invloed\\_geluidsschermen\\_betuweroute.pdf](https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/45591047-eindrapport-invloed_geluidsschermen_betuweroute.pdf)

Eggink, S., Veens, A., & Eskens, J. (2015). *Handreiking bouwen binnen een veiligheidszone en plasbrandaandachtsgebied*. Geraadpleegd van <https://relevant.nl/download/attachments/27590702/150224%20Handreiking%20bouwen%20binnen%20een%20veiligheidszone%20versie%201%20202.pdf?version=1&modificationDate=1432199369245&api=v2>

European committee for standardization . (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design (EN 1992-1-2)*. Geraadpleegd van <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.2.2004.pdf>

Ibrahim, H., & Rao, P. J. (2017). Review of practical applications of the Bow-Tie approach especially in offshore oil and gas industry. *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*, 5(4), 58–67.

Instituut Fysieke Veiligheid en Rijkswaterstaat. (2015). *Basisnet Vervoer Gevaarlijke Stoffen, wat is het en hoe werkt het in de praktijk?* Geraadpleegd van [https://www.infomil.nl/publish/pages/113991/20151001\\_infomil\\_ifv\\_kp\\_basisnet.pdf](https://www.infomil.nl/publish/pages/113991/20151001_infomil_ifv_kp_basisnet.pdf)

Kleijer, W. (2015). *Rampbestrijdingsplan BRZO-inrichtingen versie 3.1*. Geraadpleegd van <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2015-29366/1/Bijlage/exb-2015-29366.pdf>

Kramer, W. A. (2005). Beton en brand. *Agrabeton*, (4), 6–7.

Mansveld, W. J. (2015, October 7). Kamerstuk 28663, nr. 64 [Kamerstuk]. Geraadpleegd April 15, 2019, van <https://zoek.officiëlebezoekingen.nl/kst-28663-64.html>

Mercx, W. P. (1991). *Verslag van het Prins Maurits Laboratorium TNO betreffende de explosie van de vuurwerkfabriek "MS Vuurwerk" te Culemborg op donderdag 14 februari 1991.*

Milieufocus. (2008, November 18). Kosteneffectiviteit. Geraadpleegd Maart 14, 2019, van <http://www.milieufocus.nl/factsheets/k/kosteneffectiviteit.html>

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2012). *Bouwbesluit 2012 Gelijkwaardigheid*. Geraadpleegd van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brochures/2012/06/11/infoblad-gelijkwaardigheid-bouwbesluit-2012/infoblad-gelijkwaardigheid-bouwbesluit-2012.pdf>

NVBR, VNG, IPO. (2010). *Verantwoorde brandweer advisering externe veiligheid, een samenspel tussen veiligheid, ruimtelijke ordening en milieu*. Geraadpleegd van <https://relevant.nl/download/attachments/4098503/Handreiking+verantwoorde+brandweeradvisering.pdf>

Ollongren, K. H. (2018, November 21). Geïntegreerde versie Omgevingswet met wijzigingen Aanvullingswet geluid. Geraadpleegd April 15, 2019, van <https://www.omgevingsweb.nl/cms/files/2018-11/geconsolideerde-versie-ow-iw-aw-geluid.pdf>

Omgevingswetportaal. (z.d.). Aanvullingswet geluid. Geraadpleegd April 14, 2019, van <https://www.omgevingswetportaal.nl/wet-en-regelgeving/aanvullingswetten/aanvullingswet-geluid>

Petiet, P. J., & van der Vorm, J. K. J. (2012). *Technologieverkenning Mijden Groot Gevaar: BLEVE*. Geraadpleegd van [https://www.scenarioboek.nl/wp-content/uploads/tno-dv\\_2012\\_in043\\_-\\_technologieverkenning\\_mgg\\_-\\_bleve.pdf](https://www.scenarioboek.nl/wp-content/uploads/tno-dv_2012_in043_-_technologieverkenning_mgg_-_bleve.pdf)

Planas, E., Pastor, E., Casal, J., & Bonilla, J. M. (2015). Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 34, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.01.026>

ProRail en Bureau Spoorbouwmeester. (2016). *Handboek Geluidsschermen*. Geraadpleegd van [https://www.spoorbeeld.nl/sites/default/files/issuu/SPO\\_GELUIDSSCHERM\\_DEF\\_PRINT2\\_0.pdf](https://www.spoorbeeld.nl/sites/default/files/issuu/SPO_GELUIDSSCHERM_DEF_PRINT2_0.pdf)

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2018, Juni 6). Handboek Omgevingsveiligheid, bescherming. Geraadpleegd April 23, 24, Mei 8, 12, 2019, van <https://omgevingsveiligheid.rivm.nl/>  
Rijkswaterstaat. (2012). Richtlijnen Ontwerp Hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken. Geraadpleegd van <http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/3966/handleiding-wegenbouw-ontwerp-hemelwaterafvoer.pdf>

Robbe, C., & Hendrickx, R. (2017). Naar privaat-publieke samenwerking in gebiedsontwikkeling. *Rooilijn*, 50(2), 120–125.

Suddle, S. I. (2004). *Veiligheidsstudie spoorzone Dordrecht/Zwijndrecht Bijlage 1 Bouwkundige en constructieve maatregelen*. Geraadpleegd van [https://www.dordrecht.nl/pls/idoc/risDordrechtDocumentToon?F\\_PDFDOC=rene.2004cs267a.pdf](https://www.dordrecht.nl/pls/idoc/risDordrechtDocumentToon?F_PDFDOC=rene.2004cs267a.pdf)

Suddle, S. i. (2010). Ruimte als ontwerpvariabele voor veiligheid. *Tijdschrift Voor Ruimtelijke Veiligheid En Risicobeleid*, 1(1), 52–60.

van Rosmalen, S. (2011). *Automatische afsluiters in hoge druk aardgasleidingen*. Geraadpleegd van [https://dgm.nl/app/uploads/files/Automatische\\_afsluiters%20in\\_hogedruk\\_aardgasleidingen.pdf](https://dgm.nl/app/uploads/files/Automatische_afsluiters%20in_hogedruk_aardgasleidingen.pdf)

van den Berk, B., van der Voort, M. M., Weerheijm, J., & Versloot, N. (2004). Expansion-controlled evaporation - A safe approach to BLEVE blast. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17(6), 397–405.

VROM, DGR, VOS. (2007). *Verkenning Ruimtelijke Opgaven 2020-2040*. Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31200-XI-20-b1.pdf>



# Bijlage 1. Berekening uitstroom brandbare vloeistof casus 1

Rekenmethode hoogte muur

## Stap 1.

$$Opp. = \frac{1}{2} \times b \times h$$

$$\frac{h}{b} = \tan(30^\circ)$$

$$(h = b \times \tan(30^\circ))$$

$$Opp. = \frac{1}{2} b \times b \tan(30^\circ)$$

$$\frac{2 \text{ opp.}}{\tan(30^\circ)} = b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{2 \text{ opp.}}{\tan(30^\circ)}}$$

## Stap 2.

Scenario: 23000kg benzine komt instantaan vrij als plasbrand met een diameter van 40 meter.

Soortelijke massa benzine = 0,72 Kg/dm<sup>3</sup>

$$Volume = \frac{23000}{0,72} = 32000 \text{ dm}^3 = 32 \text{ m}^3$$

$$V = l \times opp. = opp. = \frac{V}{L}$$

$$opp. = \frac{32}{40} \text{ m}^2$$

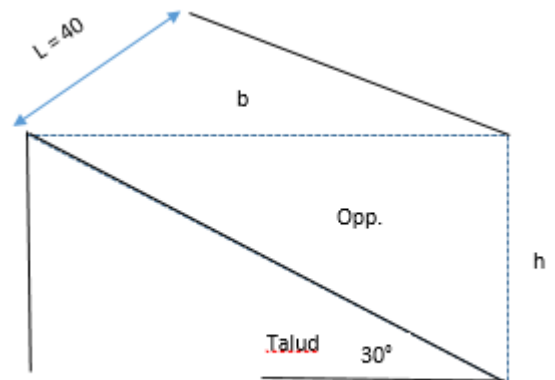
## Stap 3.

Uit stap 1 volgt dat:

$$\sqrt{\frac{2 \times opp.}{\tan(30^\circ)}} =$$
$$\sqrt{\frac{2 \times \frac{32}{40}}{\tan(30^\circ)}} = 1,66 \text{ m}$$

$$H = b \times \tan(30^\circ) = 0,96 \text{ m}$$

Een muur dient minimaal een hoogte van 0,96 meter te hebben om de uitstroom over een lengte van 40 meter vanaf het talud van 30 graden naar verder liggend gebied tegen te gaan. De berekening is theoretisch en er is geen rekening gehouden met externe invloeden zoals opname van vloeistof door de grond of weersomstandigheden.



## **Bijlage 2. Overzicht interviewverslagen**

Voor het onderzoek zijn in totaal 10 interviews afgenomen. De uitwerkingen van de interviews zijn niet openbaar. Met de volgende partijen heeft een interview plaatsgevonden:

### Interview 1.

Veiligheidsregio Brabant-Noord  
René van Santvoort, adviseur gevaarlijke stoffen  
Dinsdag 19 maart 2019

### Interview 2.

Brandweer Noord-Brabant  
Paul de Kort, adviseur omgevingsveiligheid  
Maandag 25 maart 2019

### Interview 3.

ProRail  
Peter Robbe, programmamanager omgevingsveiligheid & Roel Amesz, adviseur gevaarlijke stoffen  
Dinsdag 26 maart 2019

### Interview 4.

Van Schie Groep  
Wilco van der Sar, hoofd bedrijfsbureau  
Donderdag 28 maart

### Interview 5.

Brandweer Amsterdam-Amstelland  
Ferry El-Aaïdi, Cees Mars en Josta van Oostrom, adviseurs omgevingsveiligheid  
Dinsdag 2 april 2019

### Interview 6.

Volantis  
Luc Stoot, business unit manager building and structures  
Woensdag 10 april 2019

### Interview 7.

Rijkswaterstaat  
Gert Lems, Manon Kruiskamp, adviseurs omgevingsveiligheid  
Donderdag 11 april 2019

### Interview 8.

Instituut Fysieke Veiligheid (Ifv)  
Inge Trijssenaar, onderzoeker omgevingsveiligheid  
Vrijdag 26 april 2019

### Interview 9.

Rho Adviseurs  
Wim Drost, adviseur planvorming & ruimte  
Maandag 29 april 2019

### Interview 10.

Peutz  
Jacques Mertens, hoofd laboratorium brandveiligheid, Tony Kessen, adviseur ruimtelijke ordening en milieu en Christiaan Dahrs, projectleider milieu  
Woensdag 8 mei 2019