

De effectiviteit van een fysieke barrière in een explosieaandachtsgebied



Bij een explosie kunnen nabijgelegen gebouwen beschadigd raken en slachtoffers vallen. Een barrière zoals een betonnen muur of een aarden wal kan mogelijk gebouwen en mensen beschermen tegen de overdrukeffecten van een explosie. Om inzicht te bieden in de effectiviteit van dergelijke barrières, heeft het NIPV samen met het RIVM en Antea Group bestaande inzichten onderzocht en gebundeld. Deze brochure vat die inzichten samen.

Explosies

Wat is een explosie?

Een explosie is een gebeurtenis waar in korte tijd een grote hoeveelheid energie vrijkomt. Dit veroorzaakt een drukgolf die zich in de omgeving verspreidt en schade kan aanrichten. De drukgolf wordt gekenmerkt door:

- > De overdruk: dit is het drukverschil ten opzichte van de omgeving.
- > De impuls: dit is een combinatie van de drukgolf en de tijdsduur dat een object aan die drukgolf wordt blootgesteld.

De ernst van de schade hangt af van zowel de overdruk als de impuls.

Afbakening

In deze brochure kijken we naar gaswolkexplosies van waterstof. In een gaswolkexplosie ontsteekt een wolk van brandbaar gas, in dit geval waterstof. De waterstof komt vrij uit een drukhouder met een inhoud tussen 1 en 500 kg, bijvoorbeeld een gasfles of een opslagtank. We nemen aan dat de wolk ontsteekt op de locatie van het ongeval en niet wordt meegevoerd door de wind.

Mensen kunnen (dodelijk) gewond raken door een explosie. In het onderzoek is alleen gekeken naar mensen die zich in een gebouw bevinden, omdat bij een explosie de kans om te overlijden binnenshuis hoger is dan buitenshuis vanwege instortingsgevaar.

Gevolgen van explosies

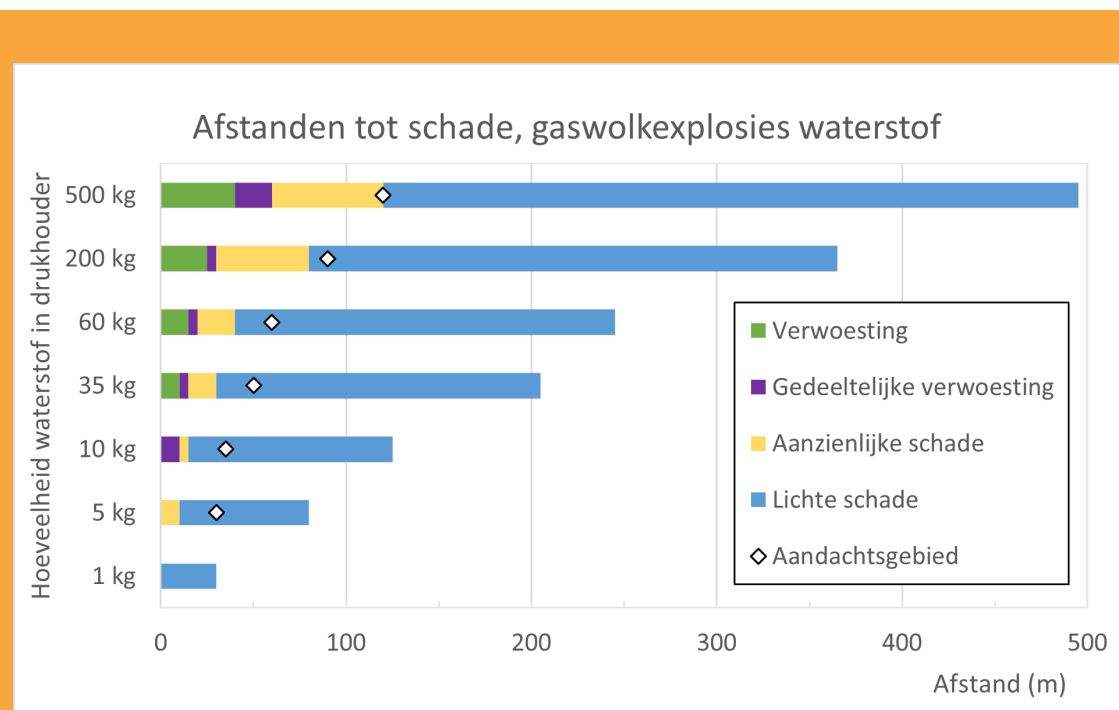
De schade die een gebouw ondervindt van een explosie, hangt van veel factoren af. De schade kan licht tot zwaar zijn:

- > Lichte schade: huizen blijven bewoonbaar; wel kan er schade zijn aan bijvoorbeeld ruiten of dakbedekking.
- > Aanzienlijke schade: huizen zijn onbewoonbaar maar herstel is mogelijk. Ruiten breken en muren van ongewapend beton of metselwerk kunnen doorbuigen. De kans op overlijden binnenshuis is enkele procenten.
- > Gedeeltelijke verwoesting: onherstelbare schade aan

gebouwen: 50-75% van de buitenmuren is ingestort of onveilig. Gebouwen van ongewapend beton of metselwerk kunnen volledig instorten.

- > Verwoesting: volledige verwoesting van gebouwen, meer dan 75% van de buitenmuren is ingestort. De kans op overlijden binnenshuis is 100%.

Onderstaand figuur laat de relatie zien tussen de hoeveelheid waterstof die explodeert en de te verwachten schade op verschillende afstanden van de explosie. Meer informatie over de effecten van waterstofexplosies is te vinden in het RIVM-rapport [Effecten van waterstofexplosies](#).



Barrières

Werking barrière

Een barrière tussen de explosie en het te beschermen gebouw zal de vorm van de drukgolf van de explosie veranderen en de invloed van de explosie verminderen. Hierdoor ontstaat vlak achter de barrière een zone waar de overdruk lager is en de afscherming van de explosie het meest effectief is. De werking van een barrière berust op een of meer van de volgende factoren:

- > reflectie van de invallende drukgolf.
- > absorptie van de invallende drukgolf.
- > afbuiging van de invallende drukgolf.

Soorten barrières

Er zijn veel soorten barrières mogelijk zoals zandzakken, stenen muren en betonnen muren. Ook gebouwen kunnen als barrière voor achterliggende gebouwen fungeren. Barrières verschillen in kosten, complexiteit en stevigheid. Sommige barrières kunnen brokstukken geven als ze geraakt worden door de drukgolf van een explosie.

Factoren die de effectiviteit beïnvloeden

De effectiviteit van de afschermende werking van een barrière is de mate waarmee de invallende overdruk van een explosie wordt verlaagd. Een barrière biedt effectieve bescherming als deze bijdraagt aan het voorkomen of beperken van schade en van slachtoffers. In dit onderzoek is dit versimpeld tot: een barrière biedt effectieve bescherming als deze instorting van gebouwen helpt voorkomen. Voorwaarde is wel dat de barrière overeind blijft staan.

De effectiviteit van een barrière wordt door een groot aantal factoren bepaald. Enkele belangrijke factoren zijn:

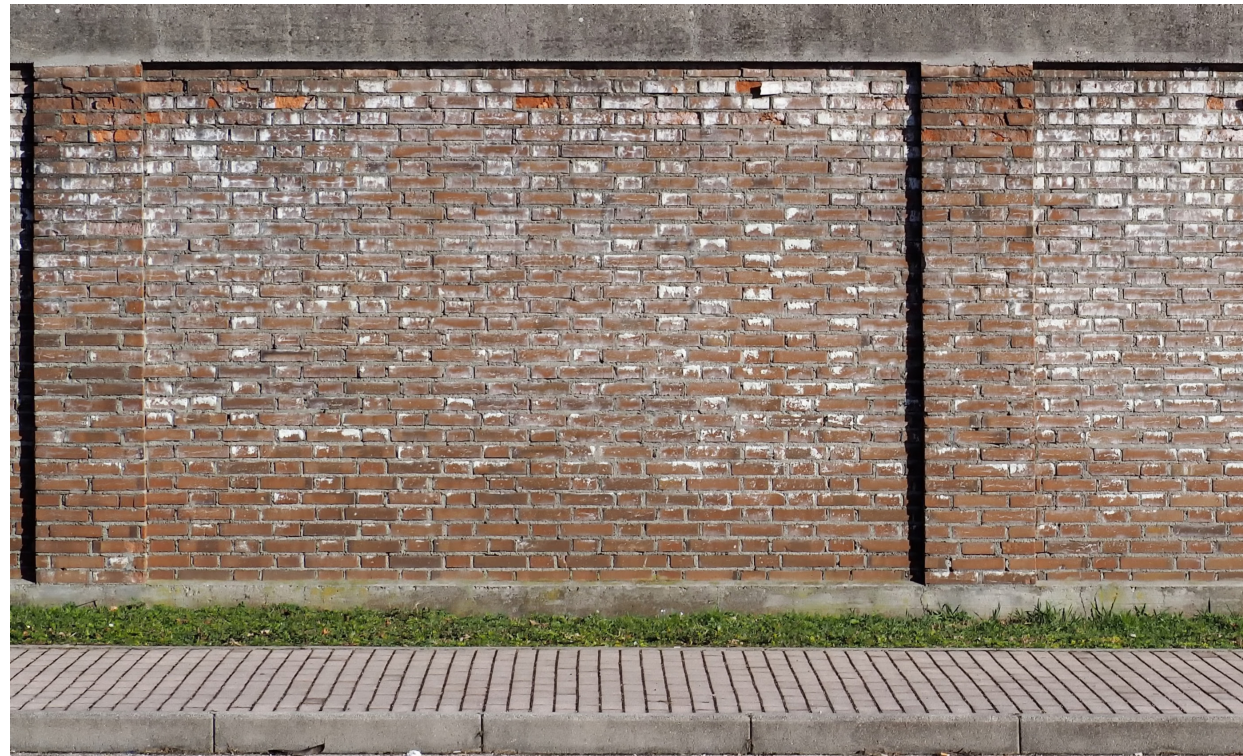
- > de kracht van de explosie.
- > de afstand tussen de barrière en de explosie.
- > de afstand tussen de barrière en het te beschermen gebouw.
- > de breedte en hoogte van de barrière.

- > de vorm (helling) van de barrière.
- > de hoogte van de explosie.
- > de hoogte van het te beschermen gebouw.

Factoren die de keuze voor een barrière beïnvloeden

De keuze voor een barrière als explosiemaatregel wordt niet alleen bepaald door de effectiviteit van de barrière, maar ook door andere factoren:

- > het beschermingsdoel.
- > de kosten van een barrière.
- > welstand en uitzicht.
- > gevoel van (on)veiligheid.
- > bereikbaarheid en bestrijdbaarheid van incidenten in de buurt van de barrière.



Effectiviteit van barrières

De effectiviteit van een barrière is het grootst direct achter de barrière en neemt verder achter de barrière af. De afstand van de barrière tot het te beschermen gebouw is bij voorkeur kleiner of gelijk aan twee tot drie keer de hoogte van de barrière.

In risico- en effectberekeningen wordt als vuistregel een overdruk van 0,3 bar gebruikt waarboven gebouwen kunnen instorten. Het is daarom gunstig als een barrière de overdruk op het te beschermen gebouw weet te verlagen tot 0,3 bar of minder.

Om gevoel te krijgen of een barrière bijdraagt aan het beschermen van een gebouw of locatie, kan gebruik gemaakt worden van wiskundige formules. Deze wiskundige formules

zijn grove benaderingen. In het NIPV-rapport '[De effectiviteit van een barrière als explosiewerende maatregel](#)' wordt dit uitgelegd.

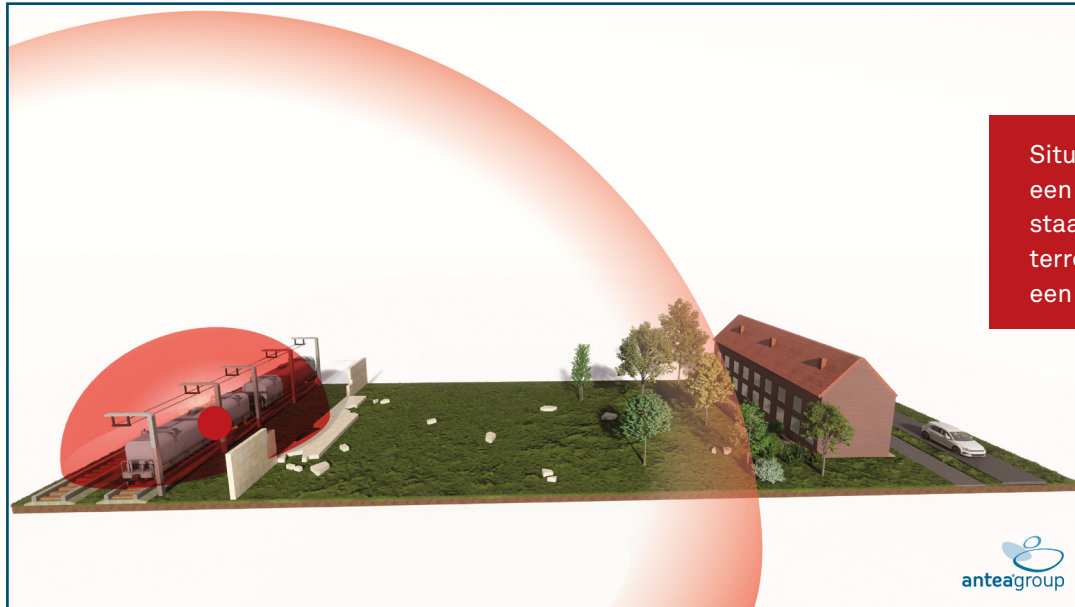
Om de werkelijke effectiviteit van een barrière in een realistische situatie te bepalen, zijn specifieke berekeningen nodig. SAFETI-NL biedt nog geen model om rekening te houden met de effectiviteit van een barrière. Neem voor specifieke berekeningen contact op met specialisten die de beschikking hebben over geschikte softwarepakketten.

Over het algemeen zal het zo zijn, dat de barrière wel de overdruk op het te beschermen gebouw zal verminderen, maar dat deze afname onvoldoende is om de mensen in het gebouw te beschermen. De casussen op de volgende bladzijden illustreren dit.



Casus 1

Afscherming drukgolf door stevige muur langs het spoor



Situatie: de kans bestaat dat op een spoorlijn in bebouwd gebied een explosie van een ketelwagen plaatsvindt. Op 70 meter afstand staan al woningen. Tussen het spoor en de woningen ligt een terrein waar men nieuwe woningen wil bouwen. Als barrière wordt een stevige betonnen muur langs het spoor overwogen.

De rode stip geeft de mogelijke locatie van de explosie aan. De halve bollen geven de drukgolf aan op twee verschillende tijdstippen.

Als vuistregel geldt dat de afscherming van een drukgolf van een explosie bij een muur tot 2 tot 4 maal de hoogte van die muur reikt. In deze casus is uitgegaan van een afscherming tot maximaal 3 maal de hoogte. Om afscherming te kunnen bieden, moet de muur duidelijk hoger zijn dan de explosiebron. De vuistregel gaat niet op als de muur faalt, als de muur minder hoog is dan de explosiebron en als de nieuwe woningen hoger zijn dan de muur. Daarnaast biedt een muur, zoals elke barrière, bij de uiteinden minder afscherming, omdat de drukgolf daar direct achterlangs zal gaan.

Bij dit voorbeeld wordt op 6 meter afstand van het spoor een 5 meter hoge betonnen muur toegepast. Deze is extra sterk uitgevoerd om

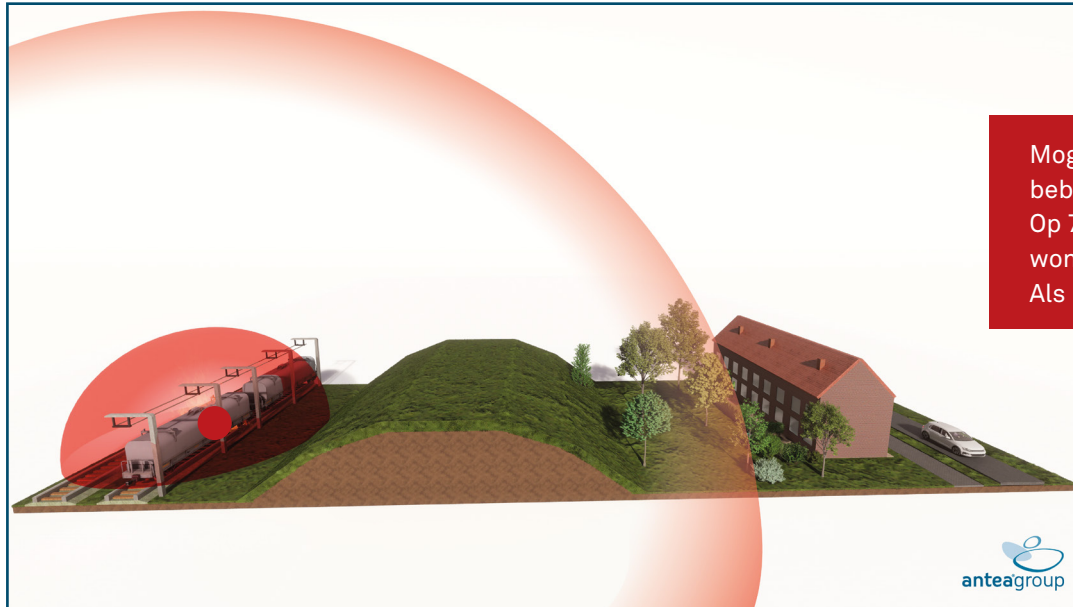
de explosiebelasting aan te kunnen en om geen uitworp van brokstukken te krijgen.

De nieuwe woningen zijn 10 meter hoog. Met de muur van 5 meter hoog is tot op 15 meter afstand vanaf de explosiezijde van de muur sprake van afscherming. De nieuwe woningen liggen echter buiten dit gebied. Ook zijn de bovenste verdiepingen van de nieuwe woningen hoger dan de muur en worden ze niet afgeschermd van de drukgolf.

> Conclusie:
in deze situatie is de muur niet effectief.

Casus 2

Afscherming drukgolf door aarden wal langs het spoor



Mogelijke situatie: de kans bestaat dat op een spoorlijn in bebouwd gebied een explosie van een ketelwagen plaatsvindt. Op 70 meter afstand staan al woningen. Tussen het spoor en de woningen ligt een terrein waar men nieuwe woningen wil bouwen. Als barrière wordt een aarden wal overwogen.

De rode stip geeft de mogelijke locatie van de explosie aan. De halve bollen geven de drukgolf aan op twee verschillende tijdstippen.

Bij dit voorbeeld wordt op 6 meter van het spoor een aarden wal aangelegd van 8 meter hoog en 45 meter diep. De te beschermen woningen zijn 10 meter hoog. Volgens de vuistregel reikt de afscherming van een drukgolf van een explosie bij een aarden wal tot 2 tot 4 maal de hoogte van de aarden wal. Vanwege de vorm (helling) van de wal, zal de drukgolf echter ongehinderd over de wal vloeien, waardoor deze de nieuwe woningen niet zal beschermen.

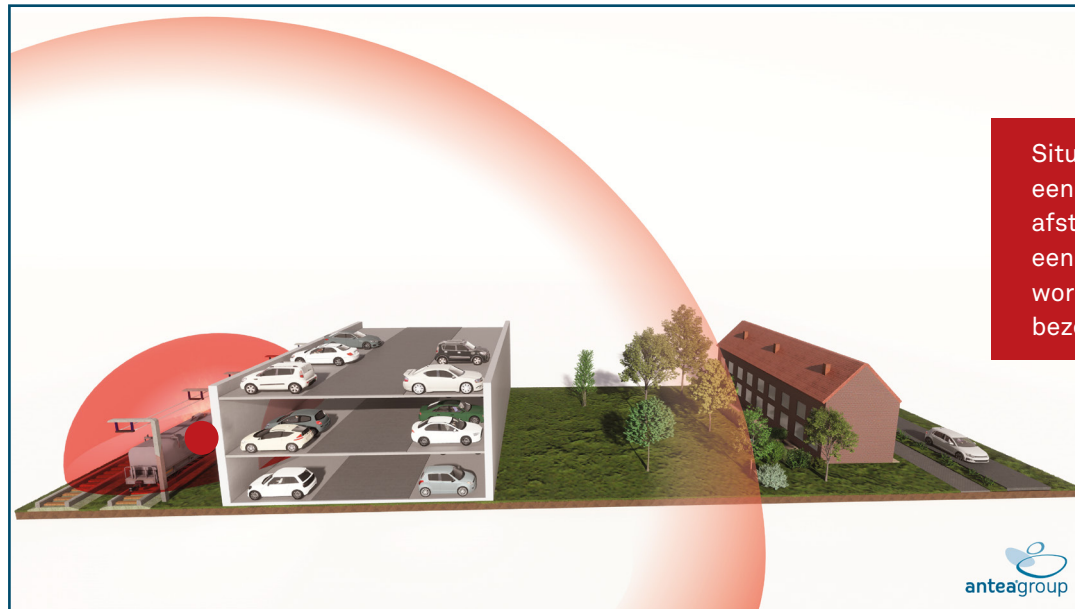
De aarden wal biedt wel geluidafscherming. Als aanvullend hierop een geluidscherm op de wal wordt geplaatst, dan is dit scherm niet effectief tegen de drukgolf, omdat het te ver van

de explosiebron af staat en omdat uitworp van brokstukken mogelijk is. De afschermende werking uit de vuistregel wordt niet gehaald. Als het scherm sterk genoeg is, is direct erachter nog wel sprake van enige afscherming. Op de helling van een aarden wal is het echter praktisch gezien lastig bouwen. Bovendien moet de bebouwing onder de top van het scherm blijven. In de aarden wal zelf kan in de zijde die afgewend van het spoor ligt, wel heel effectief explosiebestendige bouw opgenomen worden.

➤ **Conclusie:**
in deze situatie is een aarden wal niet effectief. Een bouwwerk in de luwtezijde van de aarden wal is wel een optie.

Casus 3

Afscherming drukgolf door lang gebouw langs het spoor



Situatie: de kans bestaat dat op een spoorlijn in bebouwd gebied een explosie van een ketelwagen plaatsvindt. Op 70 meter afstand staan al woningen. Tussen het spoor en de woningen ligt een terrein waar men nieuwe woningen wil bouwen. Als barrière wordt langs het spoor een lang en stevig gebouw met een lage bezettingsgraad voorzien, bijvoorbeeld een parkeergarage.

De rode stip geeft de mogelijke locatie van de explosie aan. De halve bollen geven de drukgolf aan op twee verschillende tijdstippen.

Als vuistregel reikt de afscherming van een drukgolf van een explosie bij een barrière tot 2 tot 4 maal de hoogte van de barrière. In deze casus is uitgegaan van een afscherming tot maximaal 3 maal de hoogte. Om afscherming te kunnen bieden, moet de parkeergarage duidelijk hoger zijn dan de explosiebron. De vuistregel gaat niet op als de parkeergarage minder hoog is dan de explosiebron en als de nieuwe woningen hoger zijn dan de parkeergarage. Daarnaast biedt de parkeergarage bij de uiteinden minder afscherming, omdat de drukgolf daar achterlangs zal gaan.

Bij dit voorbeeld wordt op 6 meter afstand van het spoor een parkeergarage geplaatst met een

hoogte van 10 meter, een diepte van 24 meter en een breedte (langs het spoor gemeten) van 200 meter. De nieuwe woningen die hier achter worden geplaatst, zijn 10 meter hoog.

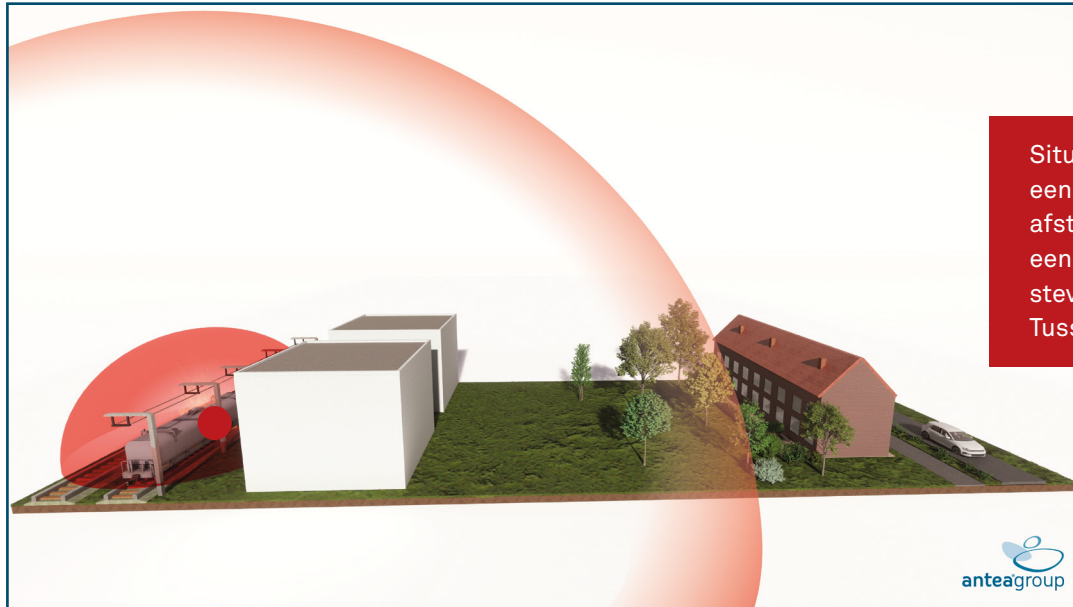
Met de parkeergarage van 10 meter hoog is op 30 meter afstand, gemeten vanaf de gevel aan de spoorzijde van de parkeergarage, geen sprake meer van enige afscherming. Aangezien de diepte van de parkeergarage 24 meter bedraagt, ligt achter de parkeergarage een gebied van 6 meter waar nog sprake is van enige afscherming. De afscherming is hierbij het hoogst direct achter de parkeergarage; op een afstand van 6 meter is er geen effect meer. Als in plaats van de vuistregels een 'echte'

overdrukberekening wordt uitgevoerd, kan deze zone in de gegeven situatie wat breder zijn.

➤ **Conclusie:**
uitgaande van de vuistregel is er in deze situatie achter de parkeergarage geen gebied afgeschermd dat bruikbaar is voor een nieuwe ruimtelijke ontwikkeling. De belangrijkste veiligheidswinst is dat er een gebouw waarin personen maar kort verblijven (parkeergarage) in de meest risicobelaste zone is geplaatst.

Casus 4

Afscherming drukgolf door onderbroken bebouwing langs het spoor



Situatie: de kans bestaat dat op een spoorlijn in bebouwd gebied een explosie van een ketelwagen plaatsvindt. Op 70 meter afstand staan al woningen. Tussen het spoor en de woningen ligt een terrein waar men woningen wil bouwen. Als barrière worden stevige gebouwen voor beperkt kwetsbare functies overwogen. Tussen de gebouwen bevindt zich een toegangsweg naar het spoor.

De rode stip geeft de mogelijke locatie van de explosie aan. De halve bollen geven de drukgolf aan op twee verschillende tijdstippen.

Als vuistregel geldt dat de afscherming van een drukgolf van een explosie bij een barrière tot 2 tot 4 maal de hoogte van de barrière reikt. In deze casus is uitgegaan van een afscherming tot maximaal 3 maal de hoogte. Om afscherming te kunnen bieden, moet de onderbroken bebouwing duidelijk hoger zijn dan de explosiebron. De vuistregel gaat niet op als de onderbroken bebouwing minder hoog is dan de explosiebron en als de nieuwe woningen hoger zijn dan de gebouwen die afscherming bieden. Daarnaast biedt de onderbroken bebouwing bij de uiteinden minder afscherming, omdat de drukgolf daar achterlangs zal gaan.

Bij dit voorbeeld worden op 6 meter van het spoor stevige gebouwen geplaatst met een hoogte van 12 meter, een diepte van 20 meter en een breedte (langs het spoor gemeten) van 40 meter. Achter deze gebouwen wil men woningen van 10 meter hoog realiseren.

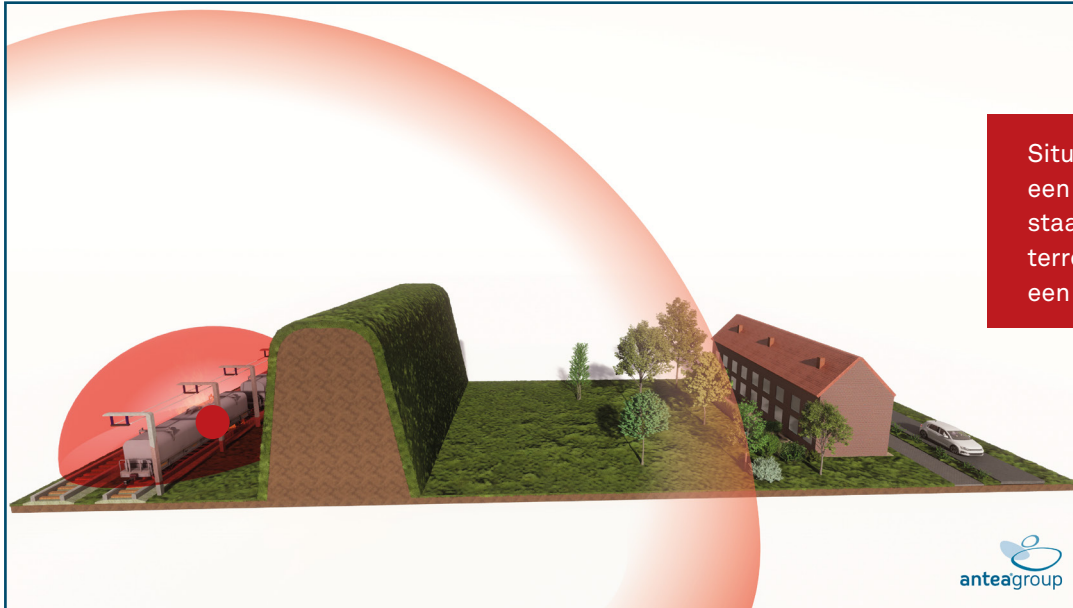
Met deze gebouwen van 12 meter hoog is op 36 meter afstand, gemeten vanaf de gevel aan de spoorzijde van de gebouwen, geen sprake meer van enige afscherming. Aangezien de diepte van de gebouwen 20 meter bedraagt, ligt achter de gebouwen een gebied van 16 meter waar nog sprake is van enige afscherming. De afscherming is het hoogst direct achter de gebouwen; op een afstand van 16 meter is er geen effect meer.

Bij dit voorbeeld is er een toegangsweg als doorgang tussen de gebouwen. Belangrijk is dat deze doorgang functioneert als drukgolfkanaal waarbinnen de invallende drukgolf zich minder goed kan verspreiden en daardoor minder kracht verliest. In het gebied direct achter de doorgang is de overdruk van de drukgolf hoger dan wanneer er geen gebouwen als barrière zouden staan.

> Conclusie:
een doorgang tussen gebouwen verhoogt plaatselijk de overdruk achter deze gebouwen vergeleken met een situatie zonder deze gebouwen.

Casus 5

Afscherming drukgolf door hoge keerwand langs het spoor



Situatie: de kans bestaat dat op een spoorlijn in bebouwd gebied een explosie van een ketelwagen plaatsvindt. Op 70 meter afstand staan al woningen. Tussen het spoor en de woningen ligt een terrein waar men nieuwe woningen wil bouwen. Als barrière wordt een keerwand langs het spoor overwogen.

De rode stip geeft de mogelijke locatie van de explosie aan. De halve bollen geven de drukgolf aan op twee verschillende tijdstippen.

Bij dit voorbeeld wordt op 6 meter afstand van het spoor een 15 meter hoge lange steile keerwand met een inwendige gewapende grondconstructie toegepast. Als vuistregel geldt dat de afscherming van een drukgolf van een explosie bij een barrière tot 2 tot 4 maal de hoogte van de barrière reikt. In deze casus is uitgegaan van een afscherming tot maximaal 3 maal de hoogte. Om afscherming te kunnen bieden, moet de keerwand duidelijk hoger zijn dan de explosiebron. De vuistregel gaat niet op als de keerwand minder hoog is dan de explosiebron en als de nieuwe woningen hoger zijn dan de keerwand. Daarnaast biedt een keerwand bij de uiteinden minder afscherming, omdat de drukgolf daar achterlangs zal gaan.

Met de keerwand van 15 meter hoog is op 45 meter afstand vanaf de explosiezijde van de keerwand geen sprake meer van enige afscherming. De te realiseren woningen zijn 10 meter hoog en liggen op 20 meter afstand vanaf de explosiezijde van de keerwand. Ze liggen daarmee in de zone waar de keerwand afscherming biedt. De afschermende werking van de keerwand is halverwege de zone gehalveerd. Hoewel de keerwand afscherming biedt, is deze afscherming niet voldoende om de nieuwe woningen te beschermen, omdat de keerwand de overdruk onvoldoende vermindert. Daarom wordt onderzocht of scherfvrij glas als aanvullende maatregel kan worden toegepast, uitgaande van de situatie dat de rest van de nieuwe woningen de resterende overdruk kan weerstaan.

➤ **Conclusie:**
een keerwand biedt afscherming aan woningen die in de schaduwzone van de keerwand staan, maar die afscherming kan onvoldoende zijn om die woningen voldoende te beschermen. In dat geval zijn aanvullende maatregelen nodig.

Aandachtspunten

- › Gezien de vuistregel dat na drie maal de hoogte van de barrière geen afscherming meer in het achterliggende gebied is, moet een barrière doorgaans zeer hoog zijn om een effectieve afscherming van drukgolven te bieden aan een oppervlak dat voldoende groot is om voor projectontwikkeling interessant te zijn.
- › Een barrière heeft daarbij zelf ook ruimte nodig én moet voldoende sterk zijn om de drukgolf te weerstaan. Dit maakt een barrière duur. Verken daarom altijd eerst indicatief of een barrière zinvol kan zijn vanuit oogpunt van veiligheid én een haalbare projectontwikkeling.
- › Als gekozen wordt voor het toepassen van een barrière, dan vereist dit vooraf een goed en deskundig onderzoek. Een niet goed doordacht ontwerp kan bijvoorbeeld niet effectief zijn of – op sommige plekken achter de barrière – de onveiligheid vergroten.
- › Explosies kunnen plaatsvinden bij een puntbron of een lijnbron. Bij een puntbron bevinden de gevaarlijke stoffen zich op een vaste plaats. De locatie van de mogelijke explosie is daardoor goed te voorspellen. Bij een lijnbron zoals een weg of spoorweg kan de explosie overal op die lijn plaatsvinden, waardoor de locatie moeilijk te voorspellen is. Dit maakt dat het ontwerpen van een afscherming bij een lijnbron lastiger is.
- › In explosieaandachtsgebieden kan scherfvrij glas toegepast worden om personen in gebouwen te beschermen tegen de scherfwerking ten gevolge van de drukgolf. Scherfvrij glas kan ook nodig zijn als aanvullende bescherming op de via een barrière verkregen afscherming.
- › Het oppervlak van een aarden wal kan interessante ruimtelijke mogelijkheden opleveren voor recreatief gebruik of voor gebruik als ecologische zone.
- › Als een aarden wal voldoende groot en sterk is, zijn woningen in de luwtezijde van de aarden wal een mogelijkheid.

Meer informatie

Deze brochure is gebaseerd op twee onderzoeken: [Effecten van waterstofexplosies \(RIVM\)](#) en [De effectiviteit van een barrière als explosiewerende maatregel \(NIPV\)](#).

