



**Onderzoek warme BLEVE
spoorvervoer**
Analyse maatregelen

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.

projectnummer 0481081.100
definitief revisie 2.1
24 juli 2024

Onderzoek warme BLEVE spoorvervoer

Analyse maatregelen

projectnummer 0481081.100
definitief revisie 2.1
24 juli 2024

Auteur(s)

Tekst bevat persoonsgegevens

[Redacted]

[Redacted]

Opdrachtgever

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Tekst bevat persoonsgegevens

Postbus 20906

2500 EX Den Haag

Gecontroleerd

Tekst bevat persoonsgegevens

[Redacted]

datum
24 juli 2024

beschrijving
Definitief

Tekst bevat persoo
Tekst be

Tekst bevat persoons

[Redacted]

Inhoudsopgave

1.	Samenvatting	4
2.	Inleiding	6
2.1	Doelstelling onderzoek	6
2.2	Aanpak / proces	6
2.3	Leeswijzer	7
3.	Dominoscenario warme BLEVE	8
3.1	Warme BLEVE	8
3.2	Afbakening	10
4.	Systeembeschrijving	11
5.	Vlinderdasmodel	13
6.	Gebeurtenissenboom en maatregelen	14
6.1	Faaloorzaken warme BLEVE spoor	14
6.2	Gebeurtenissenboom warme BLEVE spoor	14
6.3	Maatregelenanalyse	14
6.3.1	Maatregelen in de gebeurtenissenboom (LOD's)	16
6.3.2	Impact maatregelen op basis- en directe oorzaken	18
6.3.3	Voortschrijdende inzichten effectiviteit ballastbed	18
6.4	Resultaten oorzaken- en maatregelenanalyse	22
7.	Faalkans warme Blevé spoor	24
7.1	Kader en procesbeschrijving	24
7.2	Discussie en afwijking casuïstiek en faalfrequenties warme BLEVE	24
8.	Conclusies en aanbevelingen	26
8.1	Conclusies	26
8.2	Aanbevelingen	26
8.3	Resumé beantwoording onderzoeksvragen	27
8.4	Toepassing in de praktijk	27
	Bijlage 1 Notitie Veiligheidseisen en maatregelen spoor	31
	Bijlage 2 Ballastbed	37
	Ballastbed	37
	Historie plasgroottes van plasbrand op en naast het spoor	37
	Invloed van ballastbed op plasbrand	39
	“Barbecuebrand”	41

1. Samenvatting

Het ministerie Infrastructuur en Waterstaat heeft Antea Group gevraagd nader onderzoek te doen naar het scenario warme BLEVE. Het doel van de aanvraag is tweeledig: als eerste is een onderzoek gevraagd waarin de relevantie van het scenario van een warme BLEVE wordt onderzocht, en als tweede de uitvoering van een nader onderzoek naar maatregelen die de kans op, en het effect van een warme BLEVE verder kunnen verlagen. Van de mogelijke maatregelen dient de effectiviteit, haalbaarheid en betaalbaarheid kwalitatief in beeld te worden gebracht.

Maatregelenanalyse

In het verleden zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd waarin gekeken is naar de maatregelen die getroffen zijn in Nederland om de kans en gevolg van een incident op het spoor te verlagen (zoals *Onderzoek STS-problematiek* (Rapportnr. 100381 - DG27, 2010), *Maatregelenonderzoek in het kader van het Rijksonderzoeksprogramma Robuustheid Basisnet Spoor* (Projectnr. 248046 130465 - DK79, 2013), *Faalcijfers en faalmechanismen vervoer gevaarlijke stoffen per spoor Fase 1 - tussenrapportage actualisatie faalfrequenties* (RIVM rapport 601038001/2011). Opgemerkt wordt dat maatregelen zoals ballastbed, beperkingsafstand hoofdspoorweginfrastructuur en beperking in snelheid niet zijn genomen om een warme BLEVE te voorkomen maar uiteindelijk wel effectief zijn om het dominoscenario te voorkomen of om de kans erop te verkleinen.

Er kan worden geconcludeerd dat indien zich een voorval of ongeval bij emplacementair vervoer voordoet dan stroomt de zeer brandbare vloeistof uit in het ballastbed. De tijdsduur van de aanwezigheid van een uitgestroomde vloeistof in het ballastbed is afhankelijk van de ondergrond van het ballastbed en de afvoer. Bij een goede doorlatende ondergrond en/of goede drainage zal de tijdsduur korter zijn. Dat betekent dat significante plasmvorming in het ballastbed is uitgesloten. Een opeenhoping van vloeistoffen die zich vormt in een ballastbed dat is aangelegd en onderhouden conform de ontwerpvoorschriften heeft bij een brand een te beperkte duur en warmtestraling (soort "BBQ-brand") om te kunnen fungeren als domino-mechanisme voor een warme BLEVE-scenario.

Restscenario

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er in Nederland in de loop van de jaren steeds meer maatregelen zijn getroffen waardoor de kans op een voorval of ongeval op het spoor met gevaarlijke stoffen zeer klein is. De kans op een langdurige plasbrand met relevante warmtestraling en het dominoscenario warme BLEVE op een emplacement in Nederland is zo mogelijk kleiner dan klein. Het scenario warme BLEVE (en significante vloeistofbrand) kan niet geheel uitgesloten worden, maar wordt hierdoor wel als een scenario geacht dat geen relevante bijdrage aan het risico heeft. Dat betekent dat aanvullende repressieve maatregelen voor deze scenario's in ieder geval rondom een emplacement voor wat betreft externe veiligheid geen aanvullende risicoreductie zullen bieden. Maar er moet niet geconcludeerd worden dat er geen aandacht besteed moet worden aan het scenario warme-BLEVE (en het scenario langdurige significante plasbrand) Het zijn juist alle preventieve maatregelen die genomen zijn die ervoor zorgen dat het scenario verwaarloosbaar is. Dat betekent dat het cruciaal is de reeds getroffen maatregelen te blijven borgen om de kans op een incident met als gevolg een warme BLEVE verwaarloosbaar te houden.

Conclusie

Kortweg samengevat zorgen alle genomen maatregelen ervoor dat het dominoscenario warme BLEVE (en een langdurige plasbrand met significante warmtestraling) op een emplacement een scenario is dat geen relevante bijdrage aan het risico heeft. Deze conclusies zijn van toepassing op emplacementair vervoer binnen de buitenste sporen van een emplacement en de activiteiten op de buitenste sporen van een emplacement die met lage snelheid plaatsvinden¹. Maar deze maatregelen zorgen er niet voor dat voor het doorgaande vervoer op de vrije baan het scenario warme BLEVE volledig weggeschreven kan worden als scenario dat geen relevante bijdrage aan het risico heeft. Dit laatste omdat er sprake kan zijn bij doorgaand vervoer van situaties waarbij na een incident sprake kan zijn van uitstroming buiten het ballastbed.

¹ Met emplacementair vervoer bedoelen we emplacementshandelingen. Het gaat bij emplacementshandelingen naast rangeren ook om langdurig opstellen/parkeren en passerend treinverkeer over het emplacement met de geldende lage snelheid (<40 km/h).

Aanbevelingen

- Het borgen van de reeds geïmplementeerde maatregelen ter voorkoming van een incident (botsing, ontsporing, aanrijding) dat zou kunnen leiden tot het scenario langdurige plasbrand en het dominoscenario warme BLEVE, voor zover dat nog niet is gedaan;
- Het borgen van de reeds geïmplementeerde maatregelen ter reductie van de *vorming* van een plasbrand bij een onverhoopt incident, waaronder een functioneel ballastbed, de maatregel warme-BLEVE-vrijesamengestelde treinen en de beperkingsafstand hoofdspoorweginfrastructuur-zone die zorgt voor vrijwaring van bebouwing direct aan weerszijden van het spoor;
- Aanbevolen wordt de analyse voor het afleiden van een faalfrequenties van zowel emplacementair vervoer als doorgaand treinverkeer opnieuw te doen waarbij aan de voorkant van de analyse gekeken wordt of het a priori opnemen van het scenario warme (vloeistof) BLEVE wel terecht is (NB: voor emplacementen wordt dat op dit moment gedaan. Het RIVM is bezig met het document Rekenmethode risico's rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen op emplacementen - Een actualisatie op basis van grote ongevallen. De oplevering ervan wordt verwacht in zomer 2024);
- Controleren hoe is geborgd dat bij omstandigheden zoals bij extreem weer bijvoorbeeld een stortbui waarbij het ballastbed verzadigd is, er geen rangeerhandelingen of doorgaand transport mogen plaatsvinden.

Resumé beantwoording onderzoeksvragen:

1. Welke (standaard-)maatregelen zijn er op en rondom het Nederlandse spoor reeds genomen?
Antw: Zie paragraaf 6.3 voor een overzicht van geïmplementeerde maatregelen
2. is het dominoscenario warme BLEVE gezien de huidige maatregelen en inzichten (nog) een scenario dat een relevante bijdrage aan het risico heeft?
Antw.: Voor een incident op een emplacement en indien er sprake is van een treinproces met lage snelheid (<40 km/u), zal een mogelijke uitstroming van zeer brandbare vloeistof plaatsvinden op het ballastbed. Door de aanwezigheid van een ballastbed is het risico op het dominoscenario warme BLEVE dusdanig laag dat het geen relevante bijdrage aan het risico heeft. Voor een incident dat met een hoge snelheid (>40 km/u) plaatsvindt op de buitenste sporen van een emplacement kan dit niet direct geconcludeerd worden. Een nadere faalkansanalyse biedt mogelijk meer inzicht.
3. Welke aanvullende maatregelen kunnen nog genomen worden of staan reeds in de planning om getroffen te worden teneinde de risico's van een warme BLEVE op het spoor verder te verlagen (literatuurstudie)?
Antw.: Op basis van dit onderzoek is er geen noodzaak voor aanvullende repressieve maatregelen voor dit specifieke scenario. Wel wordt een herziening van de faalkansanalyse van zowel emplacementair vervoer als doorgaand treinverkeer zinvol geacht, zeker met het oog op de kans op een incident welke niet ter hoogte van een emplacement plaatsvindt;
4. Hoe zit het met de effectiviteit, haalbaarheid en betaalbaarheid van eventuele benodigde aanvullende maatregelen en verlagen deze maatregelen het risico op warme BLEVE op het spoor zodanig dat uiteindelijk sprake is van een verwaarloosbaar risico?
Antw.: Zie voorgaand antwoord.

2. Inleiding

Het vervoer van gevaarlijke stoffen vindt plaats over de weg, het water, het spoor, over zee, door de lucht en via buisleidingen. Het vervoer over het spoor wordt als relatief veilige modaliteit gezien voor de afwikkeling van het transport van gevaarlijke stoffen. De aard van het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor brengt met zich mee dat het vervoer ook plaatsvindt door binnenstedelijk gebied, zoals bij stationsgebieden en emplacementen. Binnenstedelijk gebied kenmerkt zich veelal door een hoge bevolkingsdichtheid.

Ten tijde van de oprichting van het Basisnet² in 2015 bleek het berekende risicoaandeel van het ongevalsscenario warme BLEVE³ een zeer bepalende bijdrage te leveren aan de risico's bij het spoorvervoer. Daarom is ten tijde van de oprichting van het Basisnet als mitigerende maatregel het warme-BLEVE-vrij rijden geïntroduceerd. Die maatregel is vervat in het convenant warme-BLEVE-vrij-samenstellen en -rijden van treinen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor. De naleving van dat convenant bleek succesvol. De in dit convenant genoemde maatregel heeft er voor gezorgd dat de berekende risico's voor het doorgaand treinverkeer fors zijn gereduceerd. Het risicoaandeel in de berekeningen is voor dit scenario echter significant gebleven voor het emplacementaire vervoer. Met emplacementair vervoer bedoelen we emplacementshandelingen. Het gaat bij emplacementshandelingen naast rangeren ook om langdurig opstellen/parkeren en passerend treinverkeer over het emplacement met de geldende lage snelheid (<40 km/h).

2.1 Doelstelling onderzoek

Het ministerie Infrastructuur en Waterstaat heeft Antea Group gevraagd nader onderzoek te doen naar het scenario warme BLEVE. Het doel van de aanvraag is tweeledig: als eerste is een onderzoek gevraagd waarin de relevantie van het scenario van een warme BLEVE wordt onderzocht, en als tweede de uitvoering van een nader onderzoek naar maatregelen die de kans op, en het effect van een warme BLEVE verder kunnen verlagen. Van de mogelijke maatregelen dient de effectiviteit, haalbaarheid en betaalbaarheid kwalitatief in beeld te worden gebracht.

De bevindingen van de analyse zijn in dit rapport opgenomen waarin inzicht wordt gegeven in de relevantie van het scenario van een warme BLEVE en een haalbaarheidsstudie van mogelijke maatregelen die de relevantie van het scenario verder verlagen. De analyse is voor zowel emplacementshandelingen als doorgaande vervoer uitgevoerd. Het betreft een kwalitatief onderzoek waarbij de volgende onderzoeksvragen zijn geformuleerd:

1. welke (standaard-)maatregelen zijn er op en rondom het Nederlandse spoor reeds genomen?
2. is het dominoscenario warme BLEVE gezien de huidige maatregelen en inzichten (nog) een scenario dat een relevante bijdrage aan het risico heeft?
3. welke aanvullende maatregelen kunnen nog genomen worden of staan reeds in de planning om getroffen te worden teneinde de risico's van een warme BLEVE op het spoor verder te verlagen (literatuurstudie)?
4. hoe zit het met de effectiviteit, haalbaarheid en betaalbaarheid van eventuele benodigde aanvullende maatregelen en verlagen deze maatregelen het risico op warme BLEVE op het spoor zodanig dat uiteindelijk sprake is van een zodanig klein risico dat dit scenario geen relevante bijdrage aan het risico heeft?

2.2 Aanpak / proces

De volgende stappen zijn in dit onderzoek doorlopen:

- Startgesprek met het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W)
- Bureaustudie door Antea Group (AG)
- Eerste bevindingen presenteren in begeleidingsgroep

² Referentie: Eindrapport werkgroep Basisnet spoor, IENM/BSK-2011/151455, 20-09-2011.

³ BLEVE is een afkorting voor "Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion" wat vertaald in Nederlands staat voor een kokendvloeistof-gasexpansie-explosie. Een warme BLEVE is een BLEVE die het gevolg is van een brand in de directe omgeving.

- Deelnemers begeleidingsgroep: I&W, AG, RIVM, VNCI, DCMR, ProRail
- Opmerkingen uit de begeleidingsgroep zijn meegenomen in het vervolg van de analyse
- Opleveren eerste concept rapport
- Concept rapport bespreken in de tweede bijeenkomst met de begeleidingsgroep
- Bevindingen en reactie uit begeleidingsgroep verwerken in finale rapportage

2.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 3 is een beschrijving opgenomen van het dominoscenario warme BLEVE. In hoofdstuk 4 wordt een systeembeschrijving van het spoor gegeven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 het vlinderdasmodel toegepast op de warme BLEVE, waarna in hoofdstuk 6 dit wordt uitgewerkt tot gebeurtenissenboom en een beschrijving van de maatregelenanalyse. Hoofdstuk 7 behandelt de discussie over een eventueel af te leiden faalkans van het scenario warme BLEVE. In hoofdstuk 8 zijn tenslotte de conclusie en aanbevelingen opgenomen.

3. Dominoscenario warme BLEVE

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van wat er wordt verstaan onder een warme BLEVE. Daarnaast wordt aangegeven uit welke stappen het dominoscenario warme BLEVE bestaat en welke afbakening in dit rapport voor warme BLEVE's wordt gehanteerd.

3.1 Warme BLEVE

Een BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) door brand (warme Bleve) betreft het scenario waarbij een ketelwagen bezwijkt als gevolg van blootstelling aan warmtestraling door brand in de omgeving. Het betreft dus een dominoscenario. Een warme BLEVE is de fysische explosie van een boven zijn kooktemperatuur bij atmosferische druk aanwezige vloeistof of een vloeibaar gemaakt gas door het bezwijken van een omhulling, waardoor (een gedeelte van) de expanderende vloeistof vrijwel instantaan overgaat in dampvorm. Bij brandbare stoffen gaat dit meestal gepaard met een vuurzee, die als vuurbal wordt gemodelleerd.

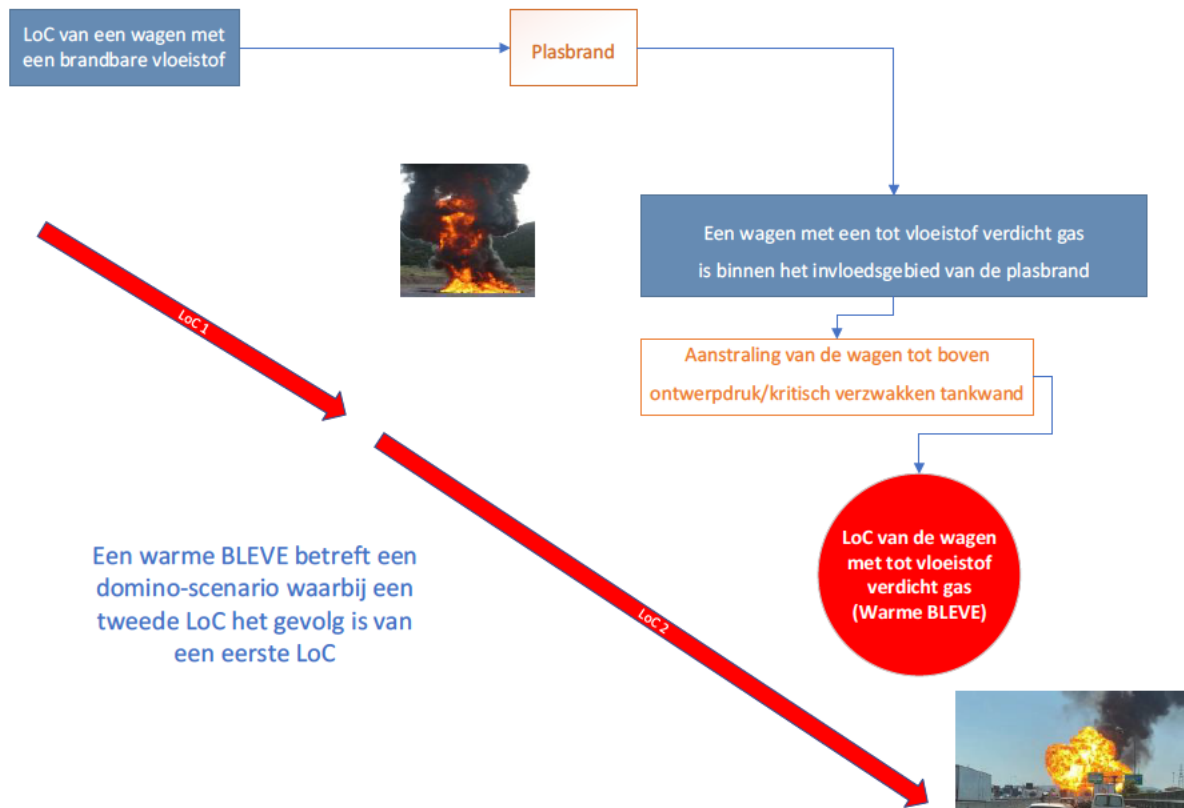


Figuur 3.3.1 Voorbeeld van een warme BLEVE op het spoor – vloeistof warme BLEVE Casselton (VS, 2013)

In de risicoanalyses voor spoor wordt een warme BLEVE als een gedefinieerd dominoscenario aangeduid als warme BLEVE meegenomen voor ketelwagens/UN-containers met een vloeibaar gemaakt gas, waarbij deze ketelwagen/UN-container in een trein direct naast, voor of na een ketelwagen/UN-container met zeer brandbare vloeistof is geplaatst. Randvoorwaardelijk moet bij de warme Bleve sprake zijn van de met een zeer brandbare vloeistof die leidt tot de vorming van een vloeistofplas. Wanneer er een ontstekingsbron aanwezig is, kan er een plasbrand ontstaan die leidt tot warmtestraling in de omgeving. Wanneer een ketelwagen of UN-container met brandbaar gas vervolgens door deze aanstraling bij verhoogde temperatuur en druk faalt en het vrijkomende expanderende gas verbrandt in een zogenaamde vuurbal, spreekt men van een warme BLEVE. Het hele scenario voorziet in een aantal voorwaardelijke vervolgstappen.

Bij een warme BLEVE wordt rekentechnisch verondersteld dat een dergelijke plasbrand kan ontstaan door het falen van een ketelwagen/UN-container met een zeer brandbare vloeistof. De brand zelf kan bijvoorbeeld ontstaan als er na een hoog-energetische botsing of ontsporing een ontsteking volgt. De in de directe nabijheid van die brand aanwezige ketelwagens (of UN-containers) gevuld met brandbaar gas, worden hierdoor (rondom) aangestraald. Door opwarming van het reservoir kan de druk in het reservoir steeds verder oplopen en kan de tankwand verzwakken. Indien een ketelwagen rondom door een plasbrand wordt aangestraald, wordt in het

algemeen aangenomen dat de ketel na een tijd van 20 tot 30 minuten kan bezwijken, met een Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) tot gevolg.⁴ In dit onderzoek wordt uitgegaan van 20 minuten.



Figuur 3.2 Een warme BLEVE is een domino-scenario waarbij de BLEVE het gevolg is van warmtestraling uit een 'Loss of Containment' LoC

Er heeft zich, voor zover bekend, in Europa, bij het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor, nog nooit een warme BLEVE-incident met brandbaar gaswagens voorgedaan. Toch is het scenario warme BLEVE onderdeel van de rekenmethodieken voor spoorvervoer. De historie van het berekende scenario in de rekenmethodiek voorziet vooral in aannames/veronderstellingen. De oorsprong van het scenario warme BLEVE is de *LPG Integraal*-studie uit 1983. Daarin is genoemd dat nader onderzoek naar de faalkans van een warme BLEVE nodig is. Vervolgens is in 1992-1995 voor spoor een onderzoek *Afleiding faalfrequenties spoor* uitgevoerd. In het deel *Kansschatting van onregelmatigheden bij het spoortransport - Fase 1* staat de volgende passage in 4.3:

"In [5]⁵ en [6]⁶ is geconcludeerd dat het scenario: een grote brand, gevolgd door het bezwijken van aangestraalde / in het vuur liggende wagens in een aantal gevallen mede bepalend is voor het externe veiligheidsrisico. Het "probleem" bij de kansschatting voor dit scenario wordt gevormd door de afwezigheid van casuïstiek bij NS waarin grote branden voorkomen. In de studie "Risico's rangeerterreinen" en "BLEVE-voorkomende voorzieningen" van SAVE (1988) is na overleg met de begeleidingscommissie een (conservatieve) schatting gemaakt van de kans op een grote brand en het bezwijken van wagens daardoor. Voor de goede orde wordt opgemerkt dat bij dit scenario de impliciete veronderstelling geldt, dat de grote brand ontstaat door een lek van een andere wagen, gevuld met brandbare (vloeistof). Ook in de nu door NS ter beschikking gestelde casuïstiek ontbreken grote branden, zodat een reële schatting niet goed mogelijk is. Wel is iets te zeggen over de plaats waar zich onregelmatigheden voordoen, die zouden kunnen leiden tot een brand en een BLEVE."

Hieruit blijkt dat vanuit het verleden de kans op een (grote) plasbrand en warme BLEVE op basis van expertinschattingen is vastgesteld.

⁴ Bron: Bijlage 3.1 bij "Inventarisatie van EV-risico's bij het vervoer van gevaarlijke stoffen" - Uitgangspunten risicoberekeningen spoor (1 november 2005) behorend bij rapport ANKER: veilig op weg : bouwstenen voor een wettelijke verankering van het externe veiligheidsbeleid inzake het vervoer van gevaarlijke stoffen.

⁵ [5] BLEVE-voorkomende voorzieningen SAVE, 1988, in opdracht van de Ministeries VROM en V en W.

⁶ [6] Eindrapport risico's rangeerterreinen SAVE, 1998, in opdracht van de Ministeries van VROM en V en W.

Scenario vloeistof-warme BLEVE

In de huidige Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor, inclusief addendum (2019, RIVM-document) wordt aangegeven dat uit de daarbij verzamelde Europese casuïstiek blijkt dat er in 29 jaar er geen enkel ongeval geregistreerd is waarbij een dergelijke vuurbal is opgetreden. In datzelfde document wordt ook aangegeven dat er wel een zeer beperkt aantal incidenten met een warme BLEVE met brandbaar vloeistofwagens is waargenomen. Opgemerkt wordt is dat het niet bekend is of de omstandigheden bij die incidenten vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie (infrastructuur, procesvoering, beveiligingssystemen, e.d.). N.B. In recente studies wordt het risico op het aanstralen van een ketelwagen/UN-container met (zeer) brandbare vloeistoffen (vloeistof warme BLEVE) ook meegenomen. Dit scenario lijkt een vergelijkbaar verloop te hebben als de warme BLEVE van gasketelwagens, maar de effecten van een vloeistof-warme BLEVE-scenario lijken beperkter te zijn.⁷ Dit vloeistof-warme BLEVE-scenario wordt in dit document niet verder behandeld omdat het buiten de scope van de oorspronkelijke vraag ligt.

Ondanks bovenstaande levert het scenario warme BLEVE van een gasketelwagen voor zowel het doorgaande vervoer als het emplacementaire vervoer een zeer bepalende bijdrage aan de berekende risico-contouren.⁸ Daarnaast vormt dit berekende risico een bepalende bijdrage in de vraag en de discussie met betrekking tot mitigerende en repressieve maatregelen.

3.2 Afbakening

Standaard wordt een warme BLEVE gezien als een dominoscenario waarbij een plasbrand de oorzaak is van de opwarming die tot een warme BLEVE leidt. Vanaf de eerste rekenmethodieken wordt het ontstaan van een 'warme' BLEVE door een fakkel van brandbaar gas (snijbrandersscenario) qua kans zoveel minder waarschijnlijk geacht, dat dit scenario in QRA's die tot nu toe zijn opgesteld buiten beschouwing blijft. De grondslag voor deze aanname wordt overigens niet expliciet aangegeven in de bestaande literatuur. Waarschijnlijk is er verondersteld dat een fakkel ten opzichte van een plasbrand een lagere trefkans op een warme BLEVE heeft (de fakkel kan bijvoorbeeld de andere kant opstaan). Hetzelfde geldt voor een warme BLEVE als gevolg van een brand van overige (zeer) brandbare stoffen en goederen, niet zijnde gevaarlijke stoffen (bijv. een spoorwagen beladen met hout of met elektrische auto's). (Bron: Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per Spoor, april 2006, 060333rev – Q53, Ingenieurs/adviesbureau SAVE). Daarnaast wordt er in het standaardscenario niet gekeken naar een mogelijk verschil tussen de bezwijktijd en -druk van een gasketelwagen en een UN-container⁹. In dit rapport wordt aangesloten bij het standaardscenario door alleen een plasbrand als aanleiding van een warme BLEVE te beschouwen en geen onderscheid te maken tussen een UN-container en een gasketelwagen.

In dit rapport wordt de relevantie van het scenario warme BLEVE met gasketelwagens behandeld, gevolgd door een nadere analyse over eventuele maatregelen die de kans op, en het effect van een warme BLEVE verlagen. De focus van dit rapport ligt dus met name bij de warme BLEVE van een ketelwagen/UN-container met brandbaar gas. Omdat er een verschil zit in het scenario warme BLEVE bij doorgaand vervoer (vrije baan) en het emplacementaire vervoer (denk aan methodiek, proces, faalkansen en geïmplementeerde maatregelen) wordt in deze analyse onderscheid gemaakt tussen vrije baan en emplacementair vervoer. De conclusies van dit rapport zijn van toepassing op emplacementair vervoer binnen de buitenste sporen van een emplacement en de activiteiten op de buitenste sporen van een emplacement die met lage snelheid plaatsvinden¹⁰.

⁷ Zie bijvoorbeeld *Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor, met addendum* (2019, RIVM)

⁸ Bron: Ketenstudies ammoniak, chloor en LPG Gedeelde risico's Externe veiligheid productieketens ammoniak, chloor en LPG (document van de ministeries (BZK, EZ, SZW, V&W en VROM als coördinator, November 2004)

⁹ Het wordt aanbevolen om te onderzoeken of deze afwijkende aspecten relevant zijn. Dit onderzoek valt echter buiten de scope van dit document.

¹⁰ Met emplacementair vervoer bedoelen we emplacementshandelingen. Het gaat bij emplacementshandelingen naast rangeren ook om langdurig opstellen/parkeren en passerend treinverkeer over het emplacement met de geldende lage snelheid (<40 km/h).

4. Systeembeschrijving

Infrastructuur

De infrastructuur bestaat uit een onderbouw (baanlichaam met boogstralen en hellingen, viaducten en tunnels) en een bovenbouw (ballast, dwarsliggers, rails, wissels, bovenleiding, treinbeveiliging, treinbeheersing, Profiel van Vrije Ruimte (PVR), geluidschermen).

Materieel

Een trein bevat een tractie-eenheid (een of meerdere locomotieven) en lading (verschillende al of niet beladen wagens). Al het materieel moet zijn toegelaten voor de te berijden infrastructuur.

Over de inzet van de tractie-eenheid beslist als regel de (internationale) spoorwegonderneming. Over de inzet van wagens beslist veelal de afzender/verlader.

Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor met ketelwagens en UN-containers gelden de voorschriften van het VSG/RID¹¹. Gevaarlijke stoffen zijn in het VSG/RID ingedeeld op basis van hun gevaar eigenschappen in gevarenklassen. De indeling is de basis voor de gestelde vervoersvoorwaarden. Per gevarenklasse en per stof of groep van stoffen worden specifieke eisen aan minimale reservoirsterkte (proefdruk), aan kleppen en appendages en aan verdere risico reducerende maatregelen zoals opklimbeveiliging en/of crashbuffers gesteld. Het is een afzender of verlader vrij om aanvullende (constructieve) maatregelen te nemen.

Personeel

Het direct bij het rijden van treinen betrokken personeel heeft in het spoorstelsel een veiligheidsfunctie.

Dit betreft de wagencontroleur, de treindienstleider, de machinist en (eventueel) de

rangerder/treinbegeleider. Deze veiligheidsfunctionarissen moeten voldoen aan wettelijke eisen voor opleiding en vaardigheden. Afhankelijk van de functie zijn na certificatie ook periodieke keuringen verplicht.

Veel Nederlandse machinisten zijn ook gecertificeerd wagencontroleur. Daarnaast zijn planners, rangeerders en onderhoudspersoneel betrokken bij het samenstellen van treinen en het onderhoud van de infrastructuur.

Processen

Binnen het spoorstelsel zijn de volgende hoofdprocessen te onderscheiden:

- ontwerpen, onderhouden, aanpassen en amoveren van infrastructuur;
- (her)plannen van treinpaden en treinbewegingen op emplacementen (opstellen rangeerplannen);
- samenstellen, controleren, tanken en reinigen van treinen (uitvoeren van rangeerplannen);
- rijden van treinen;
- bijsturen van treinen;
- (her)instrueren van (veiligheids-)personeel;
- toelaten van ondernemingen, infrastructuur en materieel;
- certificeren en (periodiek) keuren van (veiligheids-)personeel;
- monitoren en onderzoeken van bijzondere voorvallen.

Deze processen zijn vastgelegd in wetgeving (Spoorwegwet), procedures en werkinstructies.

Aandachtspunt hierbij betreft de afstemming van de procedures en werkinstructies op de overdrachtpunten tussen organisaties.

Organisatie en wet- en regelgeving

Een spoorwegonderneming die treinen wil laten rijden op de nationale spoorweginfrastructuur dient met betreffende inframanager(s) een toegangsovereenkomst af te sluiten en in het bezit te zijn van een veiligheidsattest. Met de toegangsovereenkomst zijn diverse onderlinge operationele afspraken vastgelegd, zoals de beschikbaar gestelde infracapaciteit en milieugebruiksruimte. De inframanager heeft deze infracapaciteit en milieugebruiksruimte (geluid- en risicoruimte) vooraf getoetst aan vigerende veiligheids- en milieuregelgeving. De inframanager moet ook in het bezit zijn van een veiligheidsattest.

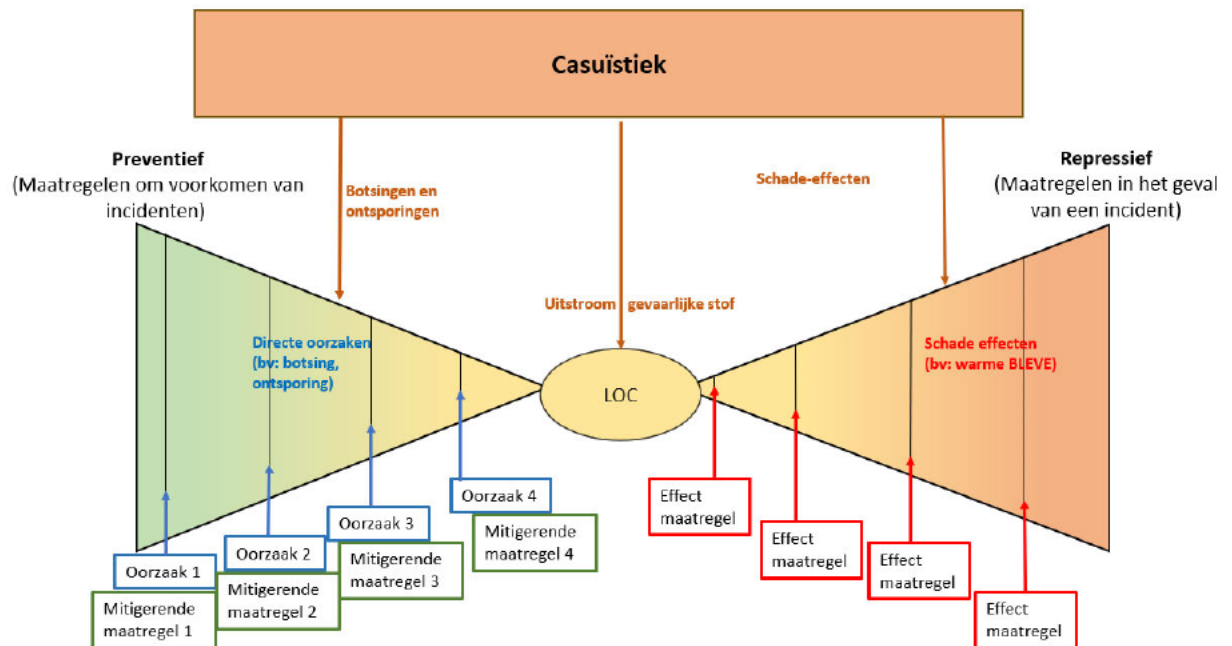
¹¹ RID=Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses ; VSG=Vervoer over de Spoorweg van Gevaarlijke Stoffen

Bij het ontwerp, de aanleg, het onderhoud en het amoveren van de infrastructuur besteedt de inframanager werkzaamheden uit aan derden (ingenieursbureaus, aannemers). De spoorwegonderneming huurt voor het (groot) onderhoud aan het eigen tractiematerieel meestal daartoe gecertificeerde derden in. Lease van tractie van derden en inhuur van (veiligheids-)personeel van derden komt ook voor. Betreffende de veiligheid binnen het spoorstelsel zijn de meeste relevante factoren wettelijk vastgelegd. Voor het spoorverkeer is naast de nationale wet- en regelgeving ook de EU-regelgeving van belang (TSI's voor infra en materieel, Europees rijbewijs). Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen is daarnaast het COTIF-verdrag bijlage RID van belang. Wijzigingen in regelgeving vraagt samenwerking in de internationale (spoor)gemeenschap (richtlijn Common Safety Methods). Voor alle goederenwagens is de verplichte vastlegging van de onderhoudsverantwoordelijke in Europees verband binnenkort een feit. Faaloorzaken die ontstaan door onvoldoende afstemming tussen organisaties en/of interpretatie van de internationale wet- en regelgeving zijn opgenomen bij Processen.

5. Vlinderdasmodel

Voor het volledig en systematisch kunnen beantwoorden van de onderzoeksvragen (zie paragraaf 2.1) wordt er gebruikgemaakt van een schets van het verloop van het scenario (zowel in doorgaand treinverkeer als het emplacementaire vervoer). Deze schets kan gezien worden als een 'gebeurtenissenboom' van het berekende dominoscenario warme BLEVE.

Op basis van deze schets kunnen de oorzaken van een warme BLEVE schematisch in beeld worden gebracht, en kunnen de mogelijke maatregelen op systematische wijze worden geanalyseerd hoe deze doorwerken op de betreffende oorzaak of het gevolg/effekt van het scenario. In onderstaande figuur is een schets van de weergave van de scenarioanalyse opgenomen.



Figuur 5.1 Gebeurtenissenboom in vlinderdasvorm waarin het vrijkomen van een zeer brandbare vloeistof dat leidt tot een plasbrand als LoC (Loss of containment) wordt gezien

Aan de linkerkant van de vlinderdas bevinden zich de oorzaken en de maatregelen ter voorkoming van een voorval of ongeval. Een maatregel die het voorval of ongeval voorkomt verdient altijd de voorkeur. De maatregelen welke het meest links van de vlinderdas zitten zijn doorgaans het meest effectief. Voorbeeld: een maatregel ter voorkoming van een botsing of ontsporing is beter dan een maatregel die de kans op het scheuren van een ketelwagen verkleint.

De rechterkant van de vlinderdas betreft de situatie dat er al sprake is van een uitstroom van gevaarlijke stoffen. De maatregelen direct na het incident zijn het meest effectief. Aan de uiterste rechterzijde van de vlinderdas bevinden zich de maatregelen waarbij het aantal slachtoffers zoveel mogelijk wordt gereduceerd, zoals bijvoorbeeld het toepassen van hittewerend, scherfvrij glas bij bebouwing in de directe omgeving.

Opgemerkt wordt dat in dit rapport ervoor gekozen is om voor het middelpunt van de vlinderdas uit te gaan van een LOC van een zeer brandbare vloeistof dat leidt tot een plasbrand. Daarmee wordt aangesloten bij de gebruikelijke werkwijze in de (petrochemische) industrie. Een warme BLEVE is daarmee een effect aan de rechterkant van de vlinderdas. Maatregelen die voorkomen dat een plasbrand verder ontwikkelt tot een warme BLEVE zijn daarmee in deze beschouwing repressieve en geen preventieve maatregelen. Voorbeelden hiervan zijn het warme-BLEVE-convenant en het ballastbed.

6. Gebeurtenissenboom en maatregelen

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke ontwikkelingsstappen kunnen worden onderscheiden die uiteindelijk kunnen leiden tot een warme BLEVE. Hiermee kan worden bepaald op welke plek in de reeks van gebeurtenissen die leiden tot een warme BLEVE een specifieke maatregel ingrijpt.

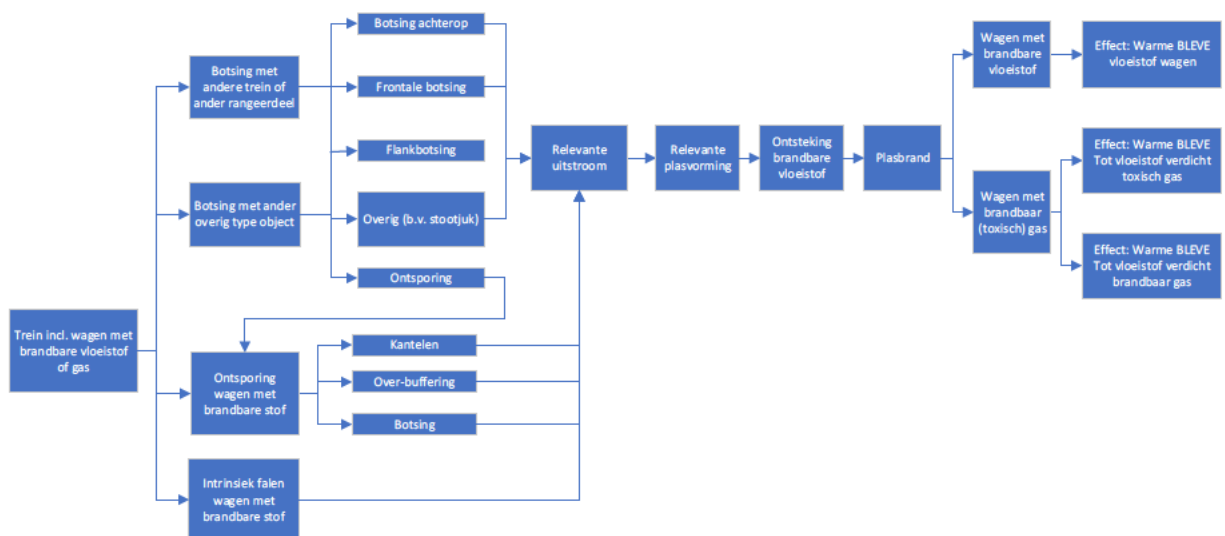
6.1 Faaloorzaken warme BLEVE spoor

In deze paragraaf is een korte samenvatting opgenomen met betrekking tot de faaloorzaken van een warme BLEVE van zowel doorgaand treinverkeer als bij emplacementair vervoer. In hoofdstuk 4 zijn de hoofdelementen van het spoorstelsel beschreven. Binnen dit systeem kunnen verschillende basisoorzaken incidenten tot gevolg hebben die kunnen escaleren in het scenario warme BLEVE:

- botsingen (zowel 'trein-trein' als 'trein-object');
- ontsporingen en,
- het (instantaan) falen van een lading/omhulling.

6.2 Gebeurtenissenboom warme BLEVE spoor

In het Maatregelenonderzoek Robuustheid Basisnet Spoor (248046, 2013) wordt het scenario warme BLEVE in een gebeurtenissenboom uiteengezet waarbij ook is gekeken naar mogelijke oorzaken van een voorval of ongeval. Deze foutenboom is redelijk uitgebreid en kent een brede uitsplitsing naar oorzaken, gevolgen en effecten. Een deel van deze gebeurtenissenboom is niet relevant voor het scenario warme BLEVE. De foutenboom uit het maatregelen onderzoek is daarom aangepast voor alleen het warme BLEVE deel en weergegeven in figuur 6.1.



Figuur 6.1 Ingezoomde deel gebeurtenissenboom uit het Maatregelenonderzoek Robuustheid Basisnet Spoor (248046, 2013) met aanvullingen voor de warme BLEVE

6.3 Maatregelenanalyse

In het verleden zijn onderzoeken uitgevoerd waarin gekeken is naar de mogelijke scenario's die in het doorgaand treinverkeer kunnen plaatsvinden met gevaarlijke stoffen, waaronder een warme BLEVE. Hierbij zijn de faaloorzaken en de maatregelen die getroffen zijn in Nederland om de kans en gevolg van een incident te verlagen geanalyseerd. Zie bijvoorbeeld:

- *Onderzoek STS-problematiek* (Rapportnr. 100381 – DG27, 2010)
- *Maatregelenonderzoek in het kader van het Rijksonderzoeksprogramma Robuustheid Basisnet Spoor* (Projectnr. 248046 130465 – DK79, 2013)

ProRail heeft in 2023 in een notitie alle geïmplementeerde veiligheidseisen en -maatregelen op hoofdlijnen samengevat. Deze notitie is opgenomen in bijlage 1 van dit rapport.

In de volgende tabel is een overzicht opgenomen van alle geïmplementeerde maatregelen met betrekking tot het voorkomen van een voorval of ongeval en/of het reduceren van het gevolg van een incident. Dit overzicht is gebaseerd op de lijst met maatregelen uit Faalcijfers en faalmechanismen vervoer gevaarlijke stoffen per spoor Fase 1 – tussenrapportage actualisatie faalfrequenties (RIVM rapport 601038001/2011). Dit overzicht is aangevuld met een aantal maatregelen die in de verschillende bronnen van dit document zijn genoemd. Per maatregel is aangegeven of deze preventief of repressief is voor het scenario warme BLEVE. De inschatting van elke maatregel wat betreft effectiviteit is gedaan op basis van expertinschattingen. Opgemerkt wordt dat maatregelen zoals ballastbed, beperkingsafstand hoofdspoorweginfrastructuur en beperking in snelheid niet zijn genomen om een warme BLEVE te voorkomen maar uiteindelijk wel effectief zijn om het dominoscenario te voorkomen of de kans erop te verlagen.

Tabel 6.1 Overzicht van de maatregelen en kenmerken ervan in relatie tot een warme BLEVE

Maatregel	Lokaal/ generiek	Type maatregel	Preventief/ Repressief	Reductie op warme BLEVE
Ballastbed: stabiliteit spoor en opvang vloeistof in de infra	Lokaal	Infrastructurele	Prev.+Repr	Groot
Langzaam rijden ¹² (< 40 km/uur, een deel van de baanvakken)	Lokaal	Logistieke	Preventief	Groot
Groene golf	Lokaal	Logistieke	Preventief	Beperkt
Aangepaste treinsamenstelling/bloktrein (warme-BLEVE-vrij rijden)	Generiek	Logistieke	Repressief	Groot
Vermijden roestrijden met gevaarlijke stoffen	Generiek	Logistieke	Preventief	Beperkt
Instellen rijwegen met minder interactiepunten	Lokaal	Logistieke	Preventief	Beperkt
Scheiden verkeersprocessen (voorkomen kruisende rijwegen)	Lokaal	Logistieke	Preventief	Beperkt
Verdeling verkeer over de dag (incl. achtrijden)	Generiek	Logistieke	Preventief	Beperkt
Meld en Volgsysteem (tracking and tracing)	Generiek	Logistieke	Repressief	Zeer beperkt
ETCS (ERTMS)	Generiek	Infrastructurele	Preventief	Groot
ATBvv	Generiek	Infrastructurele	Preventief	Groot
Verwijderen wissels	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Beperkt
Minder interactiepunten doorgaand goederenverkeer	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Beperkt
Ontsporingseleiding	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Beperkt
Videoschouw	Generiek	Infrastructurele	Preventief	Beperkt
Hotboxdetectie	Generiek	Infrastructurele	Preventief	Groot
Quo Vadis (signaleert verschil in wioldruk)	Generiek	Infrastructurele	Preventief	Beperkt

¹² Langzaam rijden mag als maatregel juridisch niet worden ingesteld om een warme BLEVE te voorkomen. In de Brief van ProRail aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (d.d.: 28 februari 2014, Kenmerk Ministerie: EV/2004028696, Kenmerk ProRail: 3490862, onderwerp: Seingeving te Eindhoven) staat: "Een redelijke wetsuitleg brengt met zich dat in artikel 65 van de Spoorwegwet met een veilig en ongestoord gebruik van het spoor wordt bedoeld op de veiligheid op het spoor en niet vanwege het spoor." Op een emplacement geldt echter een maximum snelheid van 40 km/uur ten behoeve van rangeerproces. In die zin heeft deze snelheidsbeperking wel een kans verlagend effect op de incidenten plasbrand en warme BLEVE.

Maatregel	Lokaal/ generiek	Type maatregel	Preventief/ Repressief	Reductie op warme BLEVE
Verwijderen overwegen en verbeteren beveiliging ervan	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Zeer beperkt
Wissel met beweegbaar puntstuk (soort doorgaand spoor)	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Beperkt
Beveiliging werkzaamheden	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Beperkt
Controleren directe omgeving spoorbaan	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Zeer beperkt
Omgevingsscan op risicovolle object/activiteit voor infra	Lokaal	Infrastructurele	Preventief	Zeer beperkt
Aanpassen infra bijvoorbeeld bij tunnels en overkappingen	Lokaal	Overdrachts	Preventief	Zeer beperkt
Schermen langs infra (afschermen)	Lokaal	Overdrachts	Repressief	Zeer beperkt
Opvang vloeistof langs de infra	Lokaal	Overdrachts	Repressief	Groot
Vaker inspectieonderhoud dan RID	Generiek	bij verladers/ vervoerders	Preventief	Beperkt
Monitoring en melding onregelmatigheden in de keten	Generiek	bij verladers/ vervoerders	Preventief	Beperkt
Meer opleiding personeel in de hele keten	Generiek	bij verladers/ vervoerders	Preventief	Beperkt
Crashbuffers (RID, verplicht sinds 2011)	Generiek	Technische	Preventief	Groot
Overbufferbeveiliging (RID, verplicht sinds 2015)	Generiek	Technische	Preventief	Groot
Ontsporingdetectie op elke wagen	Generiek	Technische	Preventief	Groot
Remluchtcontrolesysteem	Generiek	Technische	Preventief	Beperkt
Dikwandige Ketels	Generiek	Technische	Prev.+Repr	Groot
In Nederland zijn alle obstakels die een ketelwagen kunnen doorboren verwijderd naast sporen, en als regel opgenomen dat dit niet toegestaan is.	Generiek	Technische	Preventief	Groot
Beperkingsafstand hoofdspoorweginfrastructuur (Omgevingsbesluit, Artikel 3.5, Lid 1)	Generiek	Technische	Prev.+Repr.	Beperkt
Hittewerende bekleding ketelwagen (geïmplementeerd bij een deel van het wegvervoer, maar niet bij spoorvervoer)	Generiek	Technische	Repressief	Groot

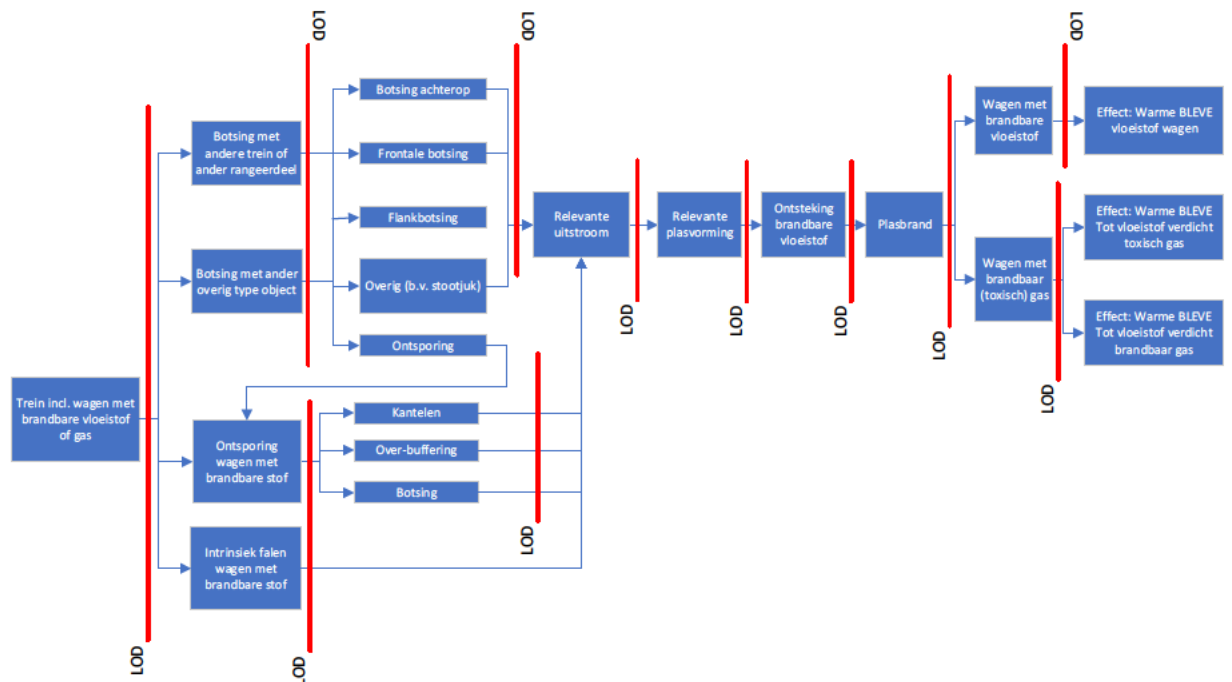
6.3.1 Maatregelen in de gebeurtenissenboom (LOD's)

De gebeurtenissenboom laat zien welke verschillende oorzaken en (tussen)gevolgen uiteindelijk kunnen leiden tot een warme BLEVE. In principe kan tussen elke stap binnen deze gebeurtenissenboom een maatregel worden getroffen die fungeert als een barrière. Hierdoor kan de mogelijkheid dat het scenario zich verder ontwikkelt (deels) worden weggenomen. Dit soort maatregelen die werken als een barrière worden ook wel een LOD (Line of Defence – veiligheidsvoorzorgsmaatregel) genoemd. Dit is een mogelijke technische en/of organisatorische maatregel om de risico's van een zwaar ongeval te beheersen. Dit kan van toepassing zijn op één tak (of stap) in de gebeurtenissenboom (specifiek) of op meerdere stappen binnen de gebeurtenissenboom (generiek).

Om te worden aangemerkt als LOD moet een technische voorziening, systeem of actie:

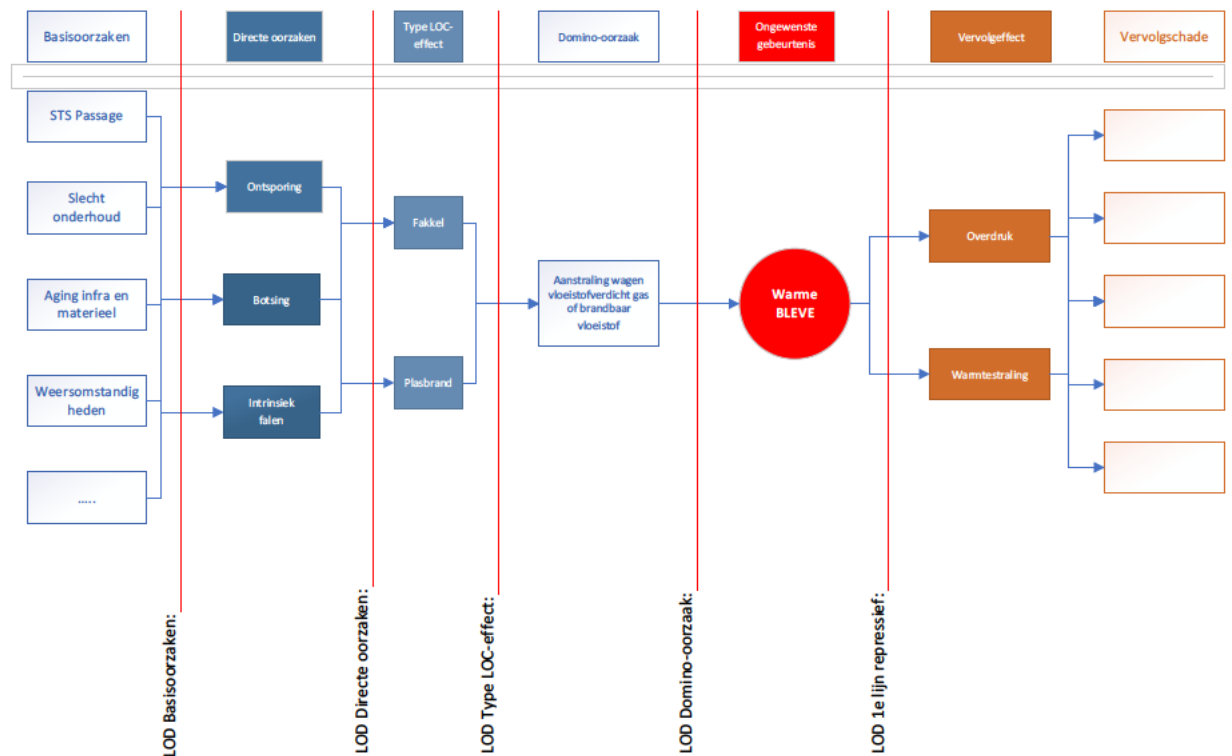
- effectief zijn in het voorkomen van consequenties wanneer het werkt zoals ontworpen;
- onafhankelijk zijn van de basisoorzaak en (van de componenten) van iedere LOD aangemerkt voor hetzelfde scenario;
- verifieerbaar/valideerbaar zijn.

In de gebeurtenissenboom van Figuur 6.1 kunnen bij elke stap LOD's worden geplaatst. Zie de schematische weergave in Figuur 6.2.



Figuur 6.2 Ingezoomde deel gebeurtenissenboom uit het Maatregelenonderzoek Robuustheid Basisnet Spoor (248046, 2013) met aangegeven waar LOD's geplaatst kunnen worden

Figuur 6.2 kan gewijzigd worden in de vorm van een vlinderdas (Figuur 6.3).



Figuur 6.3 Vlinderdasmodel warme BLEVE met LOD's

6.3.2 Impact maatregelen op basis- en directe oorzaken

De maatregelen die als LOD werken tegen de basis en directe oorzaken staan vermeld in:

- Onderzoek STS-problematiek (Rapportnr. 100381 – DG27, 2010)
- Maatregelenonderzoek in het kader van het Rijksonderzoeksprogramma Robuustheid Basisnet Spoor (2013)

De effectiviteit van de maatregelen blijkt indirect uit de historie van ongevallen:

- **Conclusie uit Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor (2019):** In Nederland zijn er tussen 1989 en 2019 geen externe veiligheid relevante grote ongevallen gebeurd. (Opgemerkt wordt dat er Nederland tot op heden geen EV-relevant ongeval of voorval op het spoor gebeurd is waarbij er omgevingslachtoffers zijn gevallen). Er heeft zich in Nederland op het spoor nog nooit een warme BLEVE voorgedaan;
- **Conclusie uit Concept rapportage Actualisatie faalcijfers van rekenmethode voor rangeerhandelingen spoorwegemplacementen (2023):** 'Effectief is daarom in de periode die de MISOS en PROMISE databases beschrijven geen externe veiligheid relevant incident opgetreden'. In West-Europa zijn in deze periode bij rangeeractiviteiten (samenstellen/splitsen/locwissel/omhalen/overstand/heuvelen) alleen incidenten geweest bij het zogenaamde heuvelen. In Nederland is er slechts één zogenaamde heuvellocatie op Kijfhoek. Voor emplacement Kijfhoek gelden om die reden bijzondere omstandigheden, waarbij uitgebreide repressieve maatregelen een centrale plaats hebben gekregen.

6.3.3 Voortschrijdende inzichten effectiviteit ballastbed

Plasvorming zal zich wat betreft oppervlaktegrootte en diepte anders ontwikkelen als deze op een ondergrond ontstaat dat bestaat uit zand, klei of ballastbed. Een ballastbed is een laag stenen als onderdeel van het baanlichaam van de spoorweginfra. Een ballastbed bestaat uit lagen steen en ligt tussen sporen en dwarsliggers.

De primaire functie ervan is om te zorgen voor stabiliteit van het spoor. Een ballastbed is dus een preventieve maatregel om ontsporen te voorkomen. De eisen ervan hangen hoofdzakelijk af van het gebruik van het spoor (snelheid treinen, gewicht treinen, etc). Secundair zorgt de open structuur van de bovenste laag van het ballastbed ook voor een goede afwatering van het hemelwater. Deze laatste eigenschap heeft tevens een gunstige werking bij het eventueel vrijkomen van vloeistof uit een ketelwagen. Deze eigenschap zorgt er voor dat het ballastbed een bergend volume en een vloeistof afvoerend vermogen heeft. Opgemerkt wordt dat de eisen aan de totale dikte van het ballastbed, hoofdzakelijk met stabiliteit te maken hebben, en slechts voor een beperkter deel met hemelwaterafvoer. De ILT is het bevoegd gezag t.a.v. de kwaliteit van het ballastbed.



Figuur 6.4 Voorbeeld van ballastbed

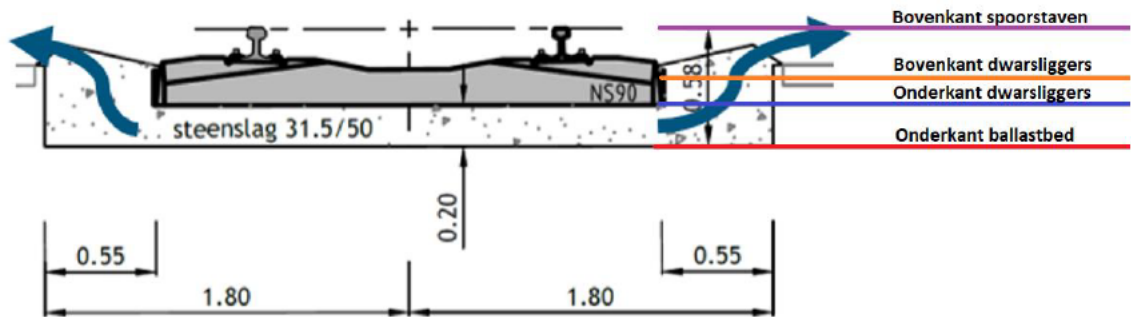
De detailinformatie van bijvoorbeeld historie en werking van de ballastbedden is opgenomen in bijlage 2 van dit rapport. In deze paragraaf is een samenvatting van de effectiviteit van een ballastbed opgenomen.

EFFECT EN WERKING VAN EEN BALLASTBED

Onder ballastbed wordt een ballastbed verstaan dat is aangelegd en onderhouden volgens de ontwerpnormen, waaronder Ontwerpvoorschriften ProRail OVS00056-7.1. In de jaren na de aanleg (tot ca. 20 jaar) waarna het vervangen moet worden, kan er vervuiling ontstaan met zand/slib etc. Er zijn proeven uitgevoerd met relatief oud ballastbed. Proefondervindelijk zakt door de aanwezigheid van het ballastbed de (gelekte) vloeistof snel tot onder 2 à 3 steendiktes onder het grindoppervlak waardoor bij brand het brandvermogen een verwaarloosbare waarde heeft (TNO-rapport *Plasvorming door vloeistofuitstroming op havenemplacementen* – 2014 R10876, 13 juni 2014 prnr. 060.02192). In het geval waarin de vloeistof het gehele grindbed vult, en dus tot aan de bovenkant van het grind staat, zal na ontsteking het 2 tot 4 minuten duren voordat het brandvermogen tot een verwaarloosbare waarde is gedaald.

Bij onderhoud van het ballastbed wordt de vervuilde ballastlaag gereinigd. Dit vindt voornamelijk bij groot onderhoud plaats. De frequentie van dit onderhoud is afhankelijk van onder meer de bodemgesteldheid, het gebruik (de belasting) van het spoor en de gesteldheid en de fysische eigenschappen van de onderbouw. Onderhoud draagt uiteraard bij aan de borging van de drainerende werking van het ballastbed.

Hoe meer ballastbed er onder en naast het spoor ligt, hoe meer bergend vermogen er in het ballastbed zit. Er zijn 2 à 3 steendiktes onder het grindoppervlak nodig (laag van 15-20 centimeter stenen) om ervoor te zorgen dat een brand een verwaarloosbaar brandvermogen heeft. Opgemerkt wordt dat onder de onderkant van de dwarsliggers 30-50 centimeter aan steenlaag zit. Dat betekent dat er onder de dwarsliggers en de spoorstaven minimaal nog 15-30 centimeter aan steenlaag aanvullend beschikbaar is voor vloeistof bergend vermogen.



Uitstroming uit ballastbed bij emplacementen met paden aan beide zijden van een spoor

Figuur 6.5 Dwarsdoorsnede van een spoorlijn met de sporen, dwarsligger en het ballastbed.

Er wordt van uitgegaan dat bij extreme weersomstandigheden, zoals hevige regenval, er geen handelingen op het spoor plaatsvinden en dat er daarmee ook geen ongevallen kunnen ontstaan die ervoor kunnen zorgen dat er een plasbrand ontstaat. Er wordt aanbevolen te onderzoeken hoe dit geborgd is (zie 8.2). Aanstraling van een wagen door een plasbrand op een ballastbed voor langdurige tijd kan hiermee worden uitgesloten en daarmee ook het domino-scenario dat leidt tot een warme BLEVE.

Een ballastbed heeft daarmee effect op het scenario warme BLEVE. De primaire functie van een ballastbed is om te zorgen voor stabiliteit van het spoor. Een ballastbed verkleint daarom primair de kans op een ongeval. Daarmee is een ballastbed een preventieve maatregel. Daarnaast heeft het ballastbed een bergend volume en zorgt het voor vloeistofopvang en -afvoer. Een ballastbed beïnvloedt daardoor de plasvorming bij een eventuele uitstroming van een vloeistof op het ballastbed. Daardoor is het ballastbed ook een repressieve maatregel om na uitstroming van een zeer brandbare vloeistof het dominoscenario warme BLEVE te beperken.

BALLASTBED VAN EMPLACEMENTEN EN DOORGAAND TREINVERKEER

Alhoewel alle spoorstaven en wissels op een ballastbed liggen, bestaat er een fysiek verschil tussen het ballastbed van doorgaand treinverkeer en emplacementen. Bij doorgaand treinverkeer is er doorgaans sprake van een relatief hoge snelheid (>40 km/u) waardoor de eisen voor stabiliteit hoger liggen dan op locaties waar met een lagere snelheid (<40 km/u), zoals die op emplacementen en rangeerlocaties vaak voorkomt. De stabiliteitseisen aan de spoorinfra hebben daardoor effect op de dikte van het ballastbed en dat heeft effect op de vorming van een mogelijke plas(brand) bij een incident op het spoor. In beide gevallen (hoge snelheid (>40 km/h) of lage snelheid (<40 km/h)) geldt echter dat er sprake is van een voldoende bergend vermogen van vloeistoffen (bron (nog niet openbaar): Bestrijding incidenten gevaarlijke stoffen bij hoogspanningslijnen op emplacementen (69465 — versie 29 juni 2023, Berenschot – Royal HaskoningDHV – Antea Group – DNV)).

Hierbij merken we op dat het niet kan worden uitgesloten dat door de relatief hogere snelheid bij doorgaand treinverkeer treindelen na een incident niet op maar naast een ballastbed komen te liggen. Ongevallen die zich in België (Wetteren) in 2013 en in Griekenland (Larisa) in 2023 hebben voorgedaan laten dat bijvoorbeeld zien. Er was daar ballastbed aanwezig op trajecten waar het doorgaand vervoer op hogere snelheid reed, maar verschillende wagens kwamen bij het ongeval naast het spoor en ook naast het ballastbed terecht:

- Het ongeval in Wetteren betrof de ontsporing van een trein op de vrije baan bij een snelheid van 84 km/h. Het ongeval is mede te wijten aan het missen van een sein. Dit sein gaf aan dat de trein snelheid moest verminderen. De machinist miste dit sein en bleef 84 kilometer per uur rijden, terwijl er een maximumsnelheid van 40 kilometer per uur gold. De wagens kwamen naast het ballastbed terecht. Er was kennelijk sprake van een brand die voornamelijk naast het baanlichaam plaatsvond. Er heeft zich geen plasbrand in het in het ballastbed voltrokken. Uit het ongeval blijkt overigens dat ketelwagens wel door een brand werden aangestraft, maar dat er geen warme BLEVE heeft plaatsgevonden. Zie figuur 7.5 het ongeval te Wetteren.
- Het ongeval in Larisa (2023) betrof de frontale botsing van een goederentrein met een reizigerstrein. Beide treinen maakten op dat moment deel uit van het doorgaand treinverkeer op de "vrije" baan. Er was daar geen werkende ETCS (Het European Train Control System) dat deze situatie had voorkomen. Een deel van de wagens en containers kwamen op en naast het spoor en ballastbed terecht.



Figuur 6.6 Ontsporing naast het ballastbed. Links: Wetteren, 2013 en rechts: Larisa, 2023

Overigens is het goed te noemen dat deze incidenten niet direct één-op-één als representatief kunnen worden gezien voor het huidige vervoer op de Nederlandse sporen. Dit komt doordat in België en Griekenland niet alle voorzorgsmaatregelen zijn getroffen die wel in Nederland zijn geïmplementeerd, zoals benoemd in Tabel 6.1 Overzicht van de maatregelen en kenmerken ervan in relatie tot een warme BLEVE.

We zien dat bij een ongeval met relatief hoge snelheid de wagens buiten het ballastbed kunnen liggen, en dat dan de wagens parallel naast elkaar kunnen zijn geschoven. Toch is een aanstraling vanuit een plasbrand waarbij een spoorketelwagen volledig in de plasbrand ligt bij een dergelijke ontsporing (in de meeste gevallen) niet waarschijnlijk:

- Bij warme-BLEVE-vrij rijden is vanwege de maatregel in het convenant warme-BLEVE-rijden en -samenstellen van treinen altijd sprake van een 'bufferwagen' waardoor de wagen met brandbaar gas ook in deze situatie niet direct naast een beschadigde wagen met zeer brandbare vloeistof komt te liggen. Als de 'bufferwagen' in de plasbrand ligt, zorgt deze wagen voor afscherming van de wagen met brandbaar gas. Alleen als de plas groter wordt en er meerdere wagens dan alleen de brandbaar vloeistof wagen en de bufferwagen in de plas komen te liggen dan zou een warme BLEVE kunnen plaatsvinden. Hierbij kan een deel van de uitgestroomde vloeistof (na verloop van tijd) in de ondergrond worden opgenomen.
- Afhankelijk van de ondergrond (bijvoorbeeld zand of keileem) en van de eigenschappen van de zeer brandbare vloeistof die uitstroomt (zoals viscositeit en soortelijk gewicht), kan de ondergrond de uitgestroomde vloeistof eventueel opnemen.¹³
- De omgeving naast het spoor is relatief open door de beperkingsafstand hoofdspoorweginfrastructuur (Omgevingsbesluit, Artikel 3.5, Lid 1)¹⁴. Hierdoor is de directe strook langs het spoor vaak niet-bebouwd en daardoor is de ondergrond ervan over het algemeen vloeistof doorlatend.

Daarom wordt voor het effect van het ballastbed en het spoor het volgende geconcludeerd:

1. De snelheid van treinen/rangeerdelen op een emplacement is relatief laag (<40 km/h). Bij een eventueel incident zullen de wagens op het spoor en daarmee op het ballastbed blijven. Een eventuele uitstroming die na een incident en lekkage zich zou kunnen voordoen, zal daardoor plaatsvinden op het ballastbed. Een ballastbed dat is aangelegd en onderhouden volgens de Ontwerpvoorschriften ProRail OVS00056-7.1 zorgt voor voldoende berging en afvoer van de vloeistof. Hierdoor zal een plasbrand met significante warmtestraling veel korter duren dan de tijd om een volle wagen met brandbare stof

¹³ Zie bijvoorbeeld Notitie Save 1989 *Plasgrootte bij uitstroming op spoorwegemplacements*, Ingenieurs/adviesbureau SAVE 89314-903A1 juli 1989, opdrachtgever Nederlandse Spoorwegen.

¹⁴ Het beperkingengebied met betrekking tot hoofdspoorweginfrastructuur bestaat uit de hoofdspoorweg en het daaromheen gelegen gebied, begrensd door een lijn liggend op een afstand van 11 meter gemeten vanaf het hart van het buitenste spoor, zijnde een denkbeeldige lijn in de lengterichting van het spoor midden tussen beide spoorstaven. Bij een ingraving en ophoging is dit 6 meter, bij een tunnel, brug of op een viaduct is dit 30 meter;

dusdanig op te warmen dat er een warme BLEVE ontstaat (<20 min.). Wat mogelijk nog wel langer kan duren, is een zogenaamde “barbecuebrand” (BBQ)¹⁵. De warmtestralingsintensiteit hiervan is echter te beperkt om een aanleiding voor een warme BLEVE te zijn. Het ballastbed reduceert dus zowel de plasmogte als de duur van de plasbrand met een significante warmtestraling.

2. De snelheid van treinen op de vrije baan kan relatief hoog zijn (>40 km/h). Bij een eventueel incident kunnen de wagens naast het spoor terecht kunnen komen. Hiervan kan sprake zijn bij een enkel- of dubbelsporig baanvak of bij een baanvak met meerdere sporen waarbij de goederentrein over het buitenste spoor van dit baanvak rijdt. Een eventuele uitstroming zal daardoor kunnen plaatsvinden naast het ballastbed. Daarmee is in die gevallen het ballastbed geen voorziening die het effect van een warme BLEVE voorkomt. Op de vrije baan is het scenario warme BLEVE bij een niet warme BLEVE vrije samengestelde trein derhalve niet uit te sluiten.

Daarnaast laat het Maatregelenonderzoek (2013) zien dat de kans op plasbrand met als gevolg een warme BLEVE klein is. We leren uit de casuïstiek dat het scenario warme BLEVE zich ook in Nederland nooit heeft voorgedaan.¹⁶

6.4 Resultaten oorzaken- en maatregelenanalyse

Op basis van de bevindingen van de analyse uit dit hoofdstuk kan worden geconcludeerd dat:

- In de Europese casuïstiek van rangeeractiviteiten op emplacementen zitten geen ongevallen met een externe veiligheid relevante uitstroming van gevaarlijke stoffen (ook wel LoC genoemd, wat staat voor Loss of containment);
- Indien zich een voorval of ongeval bij emplacementair vervoer voordoet dan stroomt de zeer brandbare vloeistof uit in het ballastbed;
- De tijdsduur van de aanwezigheid van een uitgestroomde vloeistof in het ballastbed is afhankelijk van de ondergrond van het ballastbed en de afvoer: bij een goede doorlatende ondergrond en/of goede drainage zal de tijdsduur korter zijn;
- Significante plasvorming in het ballastbed is uitgesloten. Een opeenhoping van vloeistoffen die zich vormt in een ballastbed (ballastbed dat conform de ontwerpvoorschriften is aangelegd en onderhouden) heeft bij een brand een te beperkte duur en warmtestraling (soort “BBQ-brand”) om te kunnen fungeren als domino-mechanisme voor een warme BLEVE-scenario;
- Voorgaande conclusie geldt voor alle rangeeractiviteiten en voor doorgaand treinverkeer over emplacementen en binnenstedelijke gebieden (type C spoor);
- Er kan ook geconcludeerd worden dat het scenario warme BLEVE voor het doorgaande spoorvervoer niet overal kan worden uitgesloten. Een warme BLEVE is alleen verwaarloosbaar indien het voorval of het ongeval aan een van deze twee voorwaarden voldoet: (1) als het proces bij lage snelheid plaatsvindt, of (2) als bij een ongeval de spoorwagens niet naast het baanlichaam kunnen komen te liggen. Als er niet aan één van aan deze twee eisen wordt voldaan, zou er uitstroming kunnen plaatsvinden van een zeer brandbare vloeistof buiten het ballastbed. Bij ontsteking van die plas zou een brandbaar gaswaggen voor langere tijd met hoge warmtestraling aangestraald kunnen worden. Opgemerkt wordt dat bij warme-BLEVE-vrij samengestelde trein er sprake is van een ‘bufferwaggen’ en als de ‘bufferwaggen’ in de plasbrand ligt, zorgt die waggen voor afscherming van de waggen met brandbaar gas. Dat betekent dat het scenario warme BLEVE voor de vrije baan niet zonder meer uitgesloten kan worden.

EMPLACEMENTEN: Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er in Nederland in de loop van de jaren steeds meer maatregelen zijn getroffen waardoor de kans op een voorval of ongeval op het spoor met gevaarlijke stoffen zeer klein is. De kans op een scenario warme BLEVE (en het scenario langdurige significante plasbrand) op een emplacement in Nederland is zo mogelijk kleiner dan klein. Echter het scenario warme BLEVE kan niet geheel uitgesloten worden, maar wordt hierdoor wel als een scenario geacht dat geen relevante bijdrage aan het risico heeft.

¹⁵ Zie voor een beschrijving hiervan: TNO-rapport *Plasvorming door vloeistofuitstroming op havenemplacementen* - 2014 R10876, 13 juni 2014 prnr. 060.02192.

¹⁶ Bron: Rekenmethode risico’s doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor, met addendum (RIVM)

Dat betekent dat aanvullende repressieve maatregelen in ieder geval rondom een emplacement voor wat betreft externe veiligheid geen aanvullende risicoreductie zullen bieden.

Maar er moet niet geconcludeerd worden dat er geen aandacht besteed moet worden aan het scenario warme-BLEVE. Het zijn juist alle preventieve maatregelen die genomen zijn die ervoor zorgen dat het scenario verwaarloosbaar is. Dat betekent dat het cruciaal is de reeds getroffen maatregelen te blijven borgen om de kans op een incident met als gevolg een warme BLEVE verwaarloosbaar te houden.

VRIJE BAAN: Er kan ook geconcludeerd worden dat het scenario warme BLEVE voor het doorgaande spoorvervoer niet overal kan worden uitgesloten. Een warme BLEVE is alleen verwaarloosbaar indien het voorval of het ongeval aan een van deze twee voorwaarden voldoet: (1) als het proces bij lage snelheid plaatsvindt, of (2) als bij een ongeval de spoorwagens niet naast het baanlichaam kunnen komen te liggen. Als er niet aan één van aan deze twee eisen wordt voldaan, zou er uitstroom kunnen plaatsvinden van een zeer brandbare vloeistof buiten het ballastbed. Bij ontsteking van die plas zou een brandbaar gaswagen voor langere tijd met hoge warmtestraling aangestraald kunnen worden. Opgemerkt wordt dat bij warme-BLEVE-vrij samengestelde trein er sprake is van een 'bufferwagen' en als de 'bufferwagen' in de plasbrand ligt, zorgt die wagen voor afscherming van de wagen met brandbaar gas. Dat betekent dat het scenario warme BLEVE voor de vrije baan niet zonder meer uitgesloten kan worden.

Kortweg samengevat zorgen alle genomen maatregelen ervoor dat het scenario langdurige significante plasbrand en het dominoscenario warme BLEVE op een emplacement een scenario is dat geen relevante bijdrage aan het risico heeft. Maar deze maatregelen zorgen er niet voor dat voor het doorgaande vervoer op de vrije baan het scenario warme BLEVE volledig weggeschreven kan worden als scenario dat geen relevante bijdrage aan het risico heeft.

7. Faalkans warme Bleve spoor

In dit hoofdstuk wordt beschreven voor welke activiteiten op het spoor een warme BLEVE op dit moment voorgeschreven is om in risicoanalyses te verwerken.

7.1 Kader en procesbeschrijving

Voor activiteiten met gevaarlijke stoffen die door de wet worden aangewezen moet een QRA worden opgesteld. QRA staat voor kwantitatieve risicoberekening. Een QRA is nodig voor de vergunningverlening van vergunningplichtige activiteiten met gevaarlijke stoffen op het spoor en ook voor ruimtelijke (planologische) wijzigingen nabij een spoor waarop gevaarlijke stoffen worden vervoerd, zoals bijvoorbeeld bij bepaalde goederenrangeeremplacementen. In de rekenmethodieken voor risicoberekeningen van omgevingsveiligheidsrisico's (ook wel externeveiligheidsrisico's genoemd) wordt het scenario warme BLEVE voorgeschreven voor brandbare gassen als er ook zeer brandbare vloeistoffen aanwezig zijn. Externe veiligheidsberekeningen voor het spoor worden opgesplitst in twee verschillende type berekeningen:

- a. Doorgaand spoorvervoer (Handleiding Risicoanalyse Transport - 2017)
- b. Spoorwegemplacementen (Rekenmethode voor rangeer-handelingen spoorwegemplacementen - 2021)

In beide rekenmethodieken wordt aangegeven dat het scenario warme BLEVE relevant is en in de QRA verwerkt moet worden.

DOORGAAND TREINVERKEER: Doorgaand treinverkeer betreft vervoer van A→B zonder verdere handelingen aan de trein. Het locwisselen of kopmaken om de doorgaande route te kunnen vervolgen, vallen ook onder het doorgaande treinverkeer. Indien sprake is van vervoer met gevaarlijke stoffen dan vallen sporen onder de Omgevingswet en wordt er via de Regeling basisnet aangegeven dat de risico's berekend moeten worden met Handleiding Risicoanalyse Transport uit 2017.

EMPLACEMENTSVERKEER: Met emplacementair vervoer bedoelen we emplacementshandelingen. Het gaat bij emplacementshandelingen naast rangeren ook om langdurig opstellen/parkeren en passerend treinverkeer over het emplacement met de geldende lage snelheid (<40 km/h). Deze emplacementen worden op dit moment juridisch beschouwd als inrichtingen waarvoor in de huidige situatie een omgevingsvergunning in het kader van de omgevingswet aangevraagd dient te worden. Indien sprake is van deze rangeeractiviteiten met gevaarlijke stoffen dan vallen deze emplacementen daardoor onder de Omgevingswet (bij spoorwegemplacementen geldt de vergunningplicht van artikel 3.295b voor alle activiteiten op het emplacement).

7.2 Discussie en afwijking casuïstiek en faalfrequenties warme BLEVE

In de eerder genoemde studie uit 2019 wordt aangegeven: "Er zijn geen ongevallen waargenomen met een instantane uitstroming met directe ontsteking (met als effect een BLEVE) en een instantane uitstroming met vertraagde ontsteking met als effect een volkbrand. Een BLEVE kan op twee manieren ontstaan, namelijk door langdurige aanstraling van de wagen ('warme BLEVE') en door fysieke beschadiging ('koude BLEVE'). Deze drie gebeurtenissen, namelijk de instantane vertraagde volkbrand, de koude BLEVE en de warme BLEVE zijn niet ondenkbaar en worden daarom toegevoegd aan de gebeurtenissenboom."¹⁷

Voor het bepalen van faalfrequenties wordt er in Nederland gebruik gemaakt van een mix van casuïstiek en gebeurtenissenbomen. Opgemerkt wordt dat als de casuïstiek wordt bewerkt voordat deze op de gebeurtenissenboom wordt toegepast, er een vorm van expertinschattingen wordt gebruikt. In eerdere studies is dit gedaan en dat levert een aantal discussiepunten op. Hieronder worden een aantal punten opgesomd die van invloed zijn op de bepaling van de frequentie van een warme BLEVE.

¹⁷ Bron: Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor Een actualisatie op basis van grote ongevallen in Europa Bijlage bij rapport 2019-0208.

De casuïstiek in Europa en de eerder vastgestelde gebeurtenissenboom in Nederland wijken van elkaar af. Daarvoor worden verschillende redenen aangehaald:

- In eerdere analyses staat: “Aangenomen is dat de veranderingen in het spoorstelsel, zoals beveiligingen, voornamelijk werken op het voorkomen van een ongeval en dus de ongevalsrisico's. Dergelijke veranderingen werken minder door in de vervolggelukkigheidsrisico's en -kans, gegeven een ongeval. Er wordt aangenomen dat de vervolggelukkigheidsrisico's en -kans minder veranderen in de tijd, zodat een langere tijdsperiode gekozen kan worden.” Deze aanname is voor bijvoorbeeld het ballastbed niet terecht. Het ballastbed heeft geen risico-reducerend effect op het ontstaan van een ongeval (en vervolgens een LoC), maar wel op het ontstaan van een significante plasbrand met een warme BLEVE als gevolg. Het ballastbed voorkomt dus geen ongeval, maar verlaagt wel de vervolggelukkigheidsrisico's van het dominoscenario dat leidt tot een warme BLEVE en zou betrokken moeten worden in vaststellen van de gebeurtenissenboom;
- De kans op een groot ongeval is afhankelijk van een groot aantal kenmerken, zoals het type spoor, het type ketelwag, de snelheid van de trein, het veiligheidssysteem en training en opleiding van de machinist, type emplacementen waar rangeerhandelingen plaatsvinden, spoor zonder wissels en spoor met wissels, complexe situaties (locaties waar de vrije baan wordt gecombineerd met een stationsomgeving, gereduceerde snelheden en veel wissels en/of interactiemogelijkheden met het overige treinverkeer), spoorwegovergang. De casuïstiek is ontoereikend om de invloed van al deze factoren afzonderlijk te bepalen. Daar komt bij dat in de periode van 1988 tot en met 2016 het spoorstelsel is gewijzigd waardoor vervolggelukkigheidsrisico's en -kans zijn gewijzigd. In eerdere studies staat “Aangenomen wordt dat dergelijke veranderingen een beperkte invloed hebben op de vervolggelukkigheidsrisico's en -kans”. Dat zou betekenen dat de maatregelen die in de afgelopen jaren zijn doorgevoerd geen positief effect hebben op de veiligheid van het spoor. Onderbouwing voor deze stelling ontbreekt echter;
- Het spoorstelsel in RID-Europa is niet één op één te vertalen naar het spoorstelsel in Nederland, door onder andere verschillen in de aanwezigheid van beveiligingssysteem zoals ATB(w)/ERTMS. Het zou dus kunnen dat in Nederland de kans op een ongeval met wagens met gevaarlijke stoffen op hoge snelheid lager is dan in Europa en dat daarmee de kans op een warme BLEVE in Nederland ook kleiner is. Deze verdieping zit niet verwerkt in eerdere studies.

CONCLUSIE

De in Nederland doorlopend getroffen maatregelen zorgen ervoor dat de kans op een ongeval op het spoor met gevaarlijke stoffen in het huidige systeem geminimaliseerd wordt. Desondanks bestaat er nog steeds wel een relatief kleine kans op een ongeval met een trein(deel) bij het doorgaande treinverkeer met een snelheid >40 km/u. Het scenario warme BLEVE (en ook het scenario warme-vloeistof-BLEVE) hebben zich echter in Nederland niet op het spoor voorgedaan. Daarmee wordt automatisch de vraag opgeroepen of de in Nederland aanwezige veiligheidsvoorzieningen en andere maatregelen het scenario warme BLEVE voldoende hebben afgedekt of dat dit type scenario nog steeds als een realistisch risico betrokken moet worden bij beleidsvoering en de implementatie van maatregelen.

Tot nu toe is in de documenten die voorschrijven welke risico's voor spoorvervoer beschouwd moeten worden er van uitgegaan dat een warme BLEVE a priori een scenario is dat meegenomen moet worden. De keuzes in de meest recente onderzoeken nemen een warme BLEVE mee enkel omdat het scenario niet ondenkbaar is. Op basis van de gebeurtenissen en getroffen maatregelen die de afgelopen tientallen jaren in Nederland hebben plaatsgevonden, zou er een andere zienswijze kunnen worden gehanteerd over het dominoscenario warme BLEVE. Het scenario warme BLEVE zou buiten beschouwing gelaten kunnen worden bij risicoberekeningen en bij het vaststellen van maatregelen en bij het opstellen van beleid voor het spoor.

Aanbevolen wordt de analyse voor het vaststellen van de faalfrequentie van een warme BLEVE bij zowel emplacementair vervoer als doorgaand treinverkeer opnieuw uit te voeren waarbij overzichtelijk en onderbouwd wordt aangegeven wat de principiële werkwijze is voordat deze wordt toegepast en waarom een warme BLEVE al dan niet een relevant scenario is. Opgemerkt wordt dat er op dit moment door het RIVM gewerkt wordt aan Rekenmethode risico's rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen op emplacementen waarbij er ook gekeken wordt naar de faalfrequentie van een warme BLEVE bij emplacementair vervoer¹⁸.

¹⁸ De oplevering van het rapport wordt verwacht in zomer 2024.

8. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de analyse in dit rapport wordt het volgende geconcludeerd en aanbevolen.

8.1 Conclusies

Op basis van dit onderzoek leiden we de volgende conclusies af:

- Een warme BLEVE heeft zich in Nederland op het spoor niet voorgedaan. De reeds geïmplementeerde preventieve maatregelen die in dit rapport zijn benoemd (paragraaf 6.3) hebben hier voor een belangrijk deel aan bijgedragen;
- Het scenario warme BLEVE met een gasketelwagen heeft zich op het spoor in Europa nog nooit voorgedaan. Er is indertijd op basis van expertinschatting een aanname gedaan om de kans op dit scenario te bepalen. De vraag is echter of dit een aanname is die nog steeds stand houdt;
- Onder ballastbed wordt een ballastbed verstaan dat aangelegd en onderhouden is conform de Ontwerpvoorschriften ProRail OVS00056-7.1. Een ballastbed zorgt voor voldoende berging en afvoer van vloeistoffen (regenwater, incident met uitstroom gevaarlijke vloeistoffen). Hierdoor zal een plasbrand met significante warmtestraling veel korter duren dan de tijd om een volle wagen met brandbare stof dusdanig op te warmen dat er een warme BLEVE ontstaat (<20 min.);
- Voor een incident op een emplacement en indien er sprake is van een treinproces met lage snelheid (<40 km/u), zal een mogelijke uitstroming van zeer brandbare vloeistof plaatsvinden op het ballastbed. Door de aanwezigheid van een ballastbed is het risico op het dominoscenario warme BLEVE dusdanig laag dat het geen relevante bijdrage aan het risico heeft;
- Opgemerkt wordt dat er niet moet worden geconcludeerd dat er geen aandacht besteed moet worden aan het scenario plasbrand met significante warmtestraling en het dominoscenario warme-BLEVE. Het zijn juist alle preventieve maatregelen die genomen zijn die ervoor zorgen dat het scenario verwaarloosbaar is. Dat betekent dat het cruciaal is dat deze getroffen maatregelen voor zover dit nog niet reeds gedaan is, worden geborgd om de kans op een warme BLEVE zo beperkt te houden;
- Indien sprake is van een treinproces met hoge snelheid (>40 km/u) en van de aanwezigheid van een ballastbed kan het scenario warme BLEVE worden uitgesloten indien uitstroming volledig in het ballastbed plaatsvindt;
- Bij een hoge snelheid (>40 km/u) bestaat de kans dat indien de trein over de buitenste sporen rijdt de wagens na een botsing of ontsporing naast het baanlichaam terechtkomen. In het algemeen betreft dit een ondergrond van gras/zand/spoorsloot. Aangezien deze ondergrond niet hetzelfde vloeistof opnemend vermogen hoeft te hebben als een ballastbed, zou een plasbrand kunnen ontstaan. Indien daarbij er ook nog sprake is van een warme-BLEVE-vrij-samengestelde trein, is de kans relatief klein dat aanstraling plaatsvindt vanuit een plasbrand waarbij een gasketelwagen volledig in de plasbrand ligt. Voor een warme-BLEVE-vrij-samengestelde-trein op de vrije baan kan ook de conclusie getrokken worden dat een warme BLEVE met een gasketelwagen vanwege de getroffen maatregelen een relatief lage kans heeft t.o.v. andere effecten zoals een fakkelbrand, wolkbrand of plasbrand;
- Kortweg zorgen de maatregelen ervoor dat een scenario plasbrand met significante warmtestraling en het dominoscenario warme BLEVE op een emplacement scenario's zijn die geen relevante bijdrage aan het risico hebben. Cruciaal is dat de huidige preventieve maatregelen worden geborgd. Hoewel er voor emplacementaire handelingen conclusies zijn getrokken is er tot nu toe niet aangetoond dat deze maatregelen er ook voor zorgen dat een warme BLEVE volledig weggeschreven kan worden als dominoscenario voor de vrije baan;
- Op basis van dit onderzoek is er geen noodzaak voor aanvullende repressieve maatregelen voor dit scenario.

8.2 Aanbevelingen

- Het borgen van de reeds geïmplementeerde maatregelen die in dit rapport zijn benoemd (paragraaf 6.3) ter voorkoming van een incident (botsing, ontsporing, aanrijding) dat zou kunnen leiden tot het scenario warme BLEVE, voor zover dat nog niet is gedaan;
- Het borgen van de reeds geïmplementeerde maatregelen die in dit rapport zijn benoemd (paragraaf 6.3) ter reductie van de vorming van een plasbrand bij een onverhoopt incident, waaronder een functioneel

- ballastbed, de maatregel warme-BLEVE-vrije-samengestelde treinen en de beperkingsafstand hoofdspoorweginfrastructuur-zone die zorgt voor vrijwaring van bebouwing direct aan weerszijden van het spoor;
- Aanbevolen wordt de analyse voor het afleiden van een faalfrequenties van zowel emplacementair vervoer als doorgaand treinverkeer opnieuw te doen waarbij aan de voorkant van de analyse gekeken wordt of het a priori opnemen van het scenario warme (vloeistof) BLEVE wel terecht is (NB: voor emplacementen wordt dat op dit moment gedaan. Het RIVM is bezig met het document Rekenmethode risico's rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen op emplacementen - Een actualisatie op basis van grote ongevallen);
 - Controleren hoe is geborgd dat bij omstandigheden zoals bij extreem weer bijvoorbeeld een stortbui waarbij het ballastbed verzadigd is, er geen rangeerhandelingen of doorgaand transport mogen plaatsvinden.

8.3 Resumé beantwoording onderzoeksvragen

1. Welke (standaard-)maatregelen zijn er op en rondom het Nederlandse spoor reeds genomen?;
Antw: Zie paragraaf 6.3 voor een overzicht van geïmplementeerde maatregelen
2. is het dominoscenario warme BLEVE gezien de huidige maatregelen en inzichten (nog) een scenario dat een relevante bijdrage aan het risico heeft?;
Antw.: Voor een incident op een emplacement en indien er sprake is van een treinproces met lage snelheid (<40 km/u), zal een mogelijke uitstroming van zeer brandbare vloeistof plaatsvinden op het ballastbed. Door de aanwezigheid van een ballastbed is het risico op het dominoscenario warme BLEVE dusdanig laag dat het geen relevante bijdrage aan het risico heeft. Voor een incident dat met een hoge snelheid (>40 km/u) plaatsvindt op de buitenste sporen van een emplacement kan dit niet direct geconcludeerd worden. Een nadere faalkansanalyse biedt mogelijk meer inzicht.
3. Welke aanvullende maatregelen kunnen nog genomen worden of staan reeds in de planning om getroffen te worden teneinde de risico's van een warme BLEVE op het spoor verder te verlagen (literatuurstudie)?;
Antw.: Op basis van dit onderzoek is er geen noodzaak voor aanvullende repressieve maatregelen voor dit specifieke scenario. Wel wordt een herziening van de faalkansanalyse van zowel emplacementair vervoer als doorgaand treinverkeer zinvol geacht, zeker met het oog op de kans op een incident welke niet ter hoogte van een emplacement plaatsvindt;
4. Hoe zit het met de effectiviteit, haalbaarheid en betaalbaarheid van eventuele benodigde aanvullende maatregelen en verlagen deze maatregelen het risico op warme BLEVE op het spoor zodanig dat uiteindelijk sprake is van een verwaarloosbaar risico?
Antw.: Zie voorgaand antwoord.

8.4 Toepassing in de praktijk

Teneinde een duidelijk overzicht te geven van hoe de bevindingen zich nu vertalen in de voorkomende praktijksituaties, zijn in deze paragraaf de verschillende mogelijke praktijksituaties benoemd en wat de conclusie is per situatie gegeven de bevindingen van dit onderzoek:

SITUATIES

1. Het emplacement bestaat uit meer dan 2 sporen. Er wordt overal met lagere snelheden gereden (<40 km/uur): bij een voorval of ongeval met een brandbaar vloeistofwag en een daarmee gepaarde Loss of Containment zal brandbare vloeistof naar verwachting uitstromen op het ballastbed. Er kan geen plasvorming plaatsvinden. Er is derhalve geen sprake van een relevante plasbrand en hiermee ook geen scenario warme bleve;
2. Het emplacement bestaat uit meer dan 2 sporen. Er wordt overal met lagere snelheden gereden (<40 km/uur), maar er is sprake van passerend doorgaand verkeer met hogere snelheid (>40 km/u: bij een

voorval of ongeval met een brandbaar vloeistofwag en een daarmee gepaarde Loss of Containment kan brandbare vloeistof naar verwachting uitstromen.

- a. Er kan bij emplacementaire handelingen geen voor de externe veiligheid relevante plasvorming plaatsvinden en dus geen relevante plasbrand en hiermee ook geen scenario warme bleve.
 - b. Als een trein met hoge snelheid op het emplacement binnen het gebied van de buitenste sporen passeert, zal bij een voorval of ongeval uitstroming op het ballastbed plaatsvinden. Er kan geen voor de externe veiligheid relevante plasvorming plaatsvinden en dus geen relevante plasbrand en hiermee ook geen scenario warme bleve plaatsvinden.
 - c. Als een trein met hoge snelheid over de buitenste sporen van het emplacement rijdt kan bij een voorval of ongeval uitstroming plaatsvinden buiten het ballastbed. Hierbij kan niet geheel worden uitgesloten dat er plasvorming kan plaatsvinden afhankelijk van de ondergrond en dus een plasbrand met een warme bleve tot gevolg. Dit is alleen mogelijk als directe aanstraling plaatsvindt van een wagen met brandbaar gas. Dit wordt onwaarschijnlijk geacht als de treinsamenstelling voldoet aan de uitgangspunten van het Convenant warme bleve vrij samenstellen en rijden van treinen
3. Het emplacement bestaat uit meer dan 2 sporen, voor alle spoorbewegingen geldt hoge snelheid (>40):
- a. Als een doorgaand trein met hogere snelheid binnen de buitenste sporen passeert, kan bij een voorval of ongeval van deze trein uitstroming plaatsvinden op het ballastbed. Er kan geen voor de externe veiligheid relevante plasvorming plaatsvinden en dus ook geen relevante plasbrand. En hiermee kan er ook geen scenario warme bleve plaatsvinden;
 - b. Als een doorgaande trein met hogere snelheid op de buitenste sporen van het emplacement passeert kan bij een voorval of ongeval van deze trein uitstroming plaatsvinden buiten het ballastbed. Hierbij kan niet geheel worden uitgesloten dat er plasvorming kan plaatsvinden afhankelijk van de ondergrond en dus is er een kans op een plasbrand met een warme bleve tot gevolg. In deze situatie is de kans op een warme bleve echter onwaarschijnlijk als de treinsamenstelling voldoet aan de uitgangspunten van het Convenant warme bleve vrij samenstellen en rijden van treinen;

VOORZIENINGEN ADVIES PER SITUATIE MET MOTIVATIE:

Situatie 1: Emplacement (2 sporen of meer) met overal lage snelheid (<40 km/uur): geen kans op plasvorming en dus ook geen kans op een voor de externe veiligheid relevante plasbrand en dus geen kans op warme bleve. Er worden geen maatregelen nodig geacht.

Situatie 2: Emplacement (2 sporen of meer), voor alle emplacementaire handelingen geldt lage snelheid (<40 km/uur), maar er kan sprake zijn van passerend verkeer met een hogere snelheid (>40 km/uur):

- In situatie **2a** en **2b** is geen kans op een externe veiligheid relevante plasbrand en dus ook geen kans op warme bleve. Er zijn geen verdere voorzieningen voor dit type scenario's nodig.
- In situatie **2c** dient gecheckt te worden of sprake is van Warme Bleve Vrije (WBV) samengestelde treinen volgens de uitgangspunten van het Convenant warme bleve vrij rijden samenstellen en rijden van treinen:
 - Indien sprake is van WBV samengestelde treinen is de kans op directe aanstraling en dus kans op warme bleve niet aanwezig. Er zijn geen verdere voorzieningen voor dit type scenario's nodig.
 - Indien geen sprake is van WBV samengestelde treinen is de kans op directe aanstraling en dus kans op warme bleve aanwezig:
 - i. Als geen sprake is van (zeer) kwetsbare bebouwing binnen het explosie aandachtsgebied worden er geen aanvullende maatregelen nodig geacht. Gecontroleerd situatie beheersen zoals voorkomen dat mensen zich binnen potentieel vuurbal gebied bevinden.
 - ii. Als sprake is van (zeer) kwetsbare bebouwing binnen het explosie aandachtsgebied is een nadere locatie specifieke analyse nodig of aanvullende maatregelen zinvol zijn. Opgemerkt wordt dat als escalatierisico (in dit geval een warme bleve) aanwezig is, er geen hulpverleners binnen het effectgebied van de vuurbal aanwezig mogen zijn.

Situatie 3: Het emplacement bestaat uit meer dan 2 sporen, voor alle spoorbewegingen geldt hoge snelheid (>40):

- In situatie **3a** is geen kans op een externe veiligheid relevante plasbrand en dus ook geen kans op warme bleve. Er zijn geen verdere voorzieningen voor dit type scenario's nodig.
- In situatie **3b** dient gecheckt te worden of sprake is van Warme Bleve Vrije (WBV) samengestelde treinen volgens de uitgangspunten van het Convenant warme bleve vrij rijden samenstellen en rijden van treinen:
 - i. Indien sprake is van WBV samengestelde treinen is de kans op directe aanstraling en dus kans op warme bleve niet aanwezig. Er zijn geen verdere voorzieningen voor dit type scenario's nodig.
 - ii. Indien geen sprake is van WBV samengestelde treinen is de kans op directe aanstraling en dus kans op warme bleve aanwezig:
 - Als geen sprake is van (zeer) kwetsbare bebouwing binnen het explosie aandachtsgebied worden er geen aanvullende maatregelen nodig geacht. Gecontroleerd situatie beheersen zoals voorkomen dat mensen zich binnen potentieel vuurbal gebied bevinden.
 - Als sprake is van (zeer) kwetsbare bebouwing binnen het explosie aandachtsgebied is een nadere locatie specifieke analyse nodig of aanvullende maatregelen zinvol zijn. Opgemerkt wordt dat als escalatierisico (in dit geval een warme bleve) aanwezig is, er geen hulpverleners binnen het effectgebied van de vuurbal aanwezig mogen zijn.

**Bijlage 1 Notitie Veiligheidseisen en
maatregelen spoor**

Bijlage 1 Notitie Veiligheidseisen en maatregelen spoor

Pilot Robuust Basisnet – Veiligheid op het spoor

1. Inleiding Spoorveiligheid

Het is een eenvoudige vraag: Waarom is het spoor zo veilig? Het is wel lastig om dat beknopt uit te leggen, omdat de veiligheidseisen en -maatregelen aan de spoorinfra, het materieel en het daadwerkelijke vervoer bestaan uit duizenden (deels wettelijke) voorschriften en tienduizenden pagina's aan tekst. En dat zijn ook nog eens veelal zeer gedetailleerde technische eisen en bijbehorende procedures, waar specialistische kennis voor nodig is om het te begrijpen.

In deze notitie over de veiligheid op het spoor, zal dus alleen op hoofdlijnen worden ingegaan hoe de veiligheid op het spoor geborgd is, met een aantal voorbeelden van de getroffen veiligheidsmaatregelen voor een beter begrip.

2. Veiligheidsprincipes

Op het spoor gelden een aantal veiligheidsprincipes, die de grondslag vormen voor de getroffen maatregelen, de voorschriften en de procedures:

• **Uniformiteit**

In Nederland ligt ruim 7000 km spoor en er zijn zo'n 60 verschillende vervoerders die daar gebruik van maken: reizigersvervoerders, goederenvervoerders en spooraannemers. Landelijke uniformiteit is daarom cruciaal om het spoor veilig en effectief te kunnen onderhouden én het vervoer veilig te laten plaatsvinden. Iedere (lokale) afwijking van of uitzondering op deze uniformiteit, maakt het systeem complexer en complexiteit staat doorgaans haaks op veiligheid.

Voor het spoorgoederenvervoer is de uniformiteit veelal zelfs op Europees niveau geregeld, omdat het goederenvervoer voor ruim 90% internationaal is, waarbij het dus essentieel is dat niet ieder land andere regels of procedures hanteert voor het materieel of voor het vervoer.

• **Veiligheids Management Systeem (VMS)**

Zowel ProRail als infrabeheerder als alle vervoerders moeten beschikken over een eigen VMS. Een VMS zorgt ervoor dat alle risico's in kaart zijn gebracht, en hierin is vastgelegd welke mitigerende maatregelen er getroffen zijn om risico's te voorkomen of te minimaliseren. Ook wordt bij een eventueel (bijna)ongeluk uitgezocht, wat de exacte oorzaak is geweest en welke aanvullende mitigerende maatregelen eventueel getroffen kunnen worden.

• **Fale Safe principe**

Een belangrijk veiligheidsprincipe bij het ontwerp van de spoorinfra is het Fale Safe principe. Dat betekent dat als er een storing is, de infra altijd in de meest veilige stand komt.

Voorbeelden: Bij een overwegstoring gaan de slagbomen naar beneden. Bij een communicatiestoring tussen een sein en een wissel, springt het sein op rood en wordt daardoor het treinverkeer stil gelegd.

3. Relatie spoorveiligheid en omgevingsveiligheid

De veiligheidsmaatregelen op het spoor hebben als hoofddoel om het treinverkeer zo veilig mogelijk uit te voeren, zodat er geen ongelukken met treinen gebeuren, ongeacht of dat een reizigerstrein of een goederentrein is.

Als het gaat om risico's voor de omgeving bij het spoorgoederenvervoer van gevaarlijke stoffen ligt er een directe relatie tussen spoorveiligheid en omgevingsveiligheid.

Eenvoudig uitgelegd: alleen door een botsing of ontsporing met een trein met gevaarlijke stoffen, zouden de gevaarlijke stoffen ook daadwerkelijk vrij kunnen komen en een risico kunnen vormen voor de omgeving. De veiligheidsmaatregelen op het spoor hebben juist als doel om het botsen of ontsporen van alle treinen te voorkomen, wat dus tevens zorgt voor omgevingsveiligheid.

4. Hoe wordt het botsen en ontsporen van goederentreinen voorkomen?

Er worden veel maatregelen getroffen om het botsen en ontsporen te voorkomen, dat zit deels in bijvoorbeeld de stabiliteit van het spoor, de afwatering via het ballastbed, de verkanting (hellingsgraad) in een spoorboog, de kwaliteit en hoekverhouding van wissels, de zichtbaarheid van seinen, en daarnaast ook in actieve beveiligingssystemen en procedures. Dit alles is bij ProRail vastgelegd in zo'n 5500 verschillende (ontwerp)voorschriften, waarin exact staat hoe de spoorinfra moet worden aangelegd en worden beheerd, waardoor de kans op een botsing of ontsporing wordt geminimaliseerd.

De belangrijkste hiervan zijn:

- **Voorkomen van botsen**
 - Voordat een trein vertrekt, wordt een veilige rijweg ingesteld, zodat bijvoorbeeld de wissels op tijd in de juiste stand staan (een trein heeft geen stuur).
 - De rails is vergelijkbaar met 'lane keeping'. Door een eventuele onoplettendheid van de machinist, kan de trein niet opeens naast het spoor rijden en ergens tegenaan botsen.
 - Rijwegen worden zoveel mogelijk 'op groen' ingepland, waardoor een goederentrein geen andere treinen tegenkomt op hetzelfde spoor.
 - Als een trein toch te dicht in de buurt van een andere trein komt, dan krijgt de machinist een signaal om af te remmen. Als er niet wordt afgeremd, dan wordt de trein automatisch stopgezet, middels systemen als ATB en ERTMS.

- **Voorkomen van ontsporen**
 - Als een trein te hard rijdt (bijvoorbeeld in de buurt van een wissel of een krappe boog), dan krijgt de machinist een signaal om af te remmen. Als er niet wordt afgeremd, dan wordt de trein automatisch stopgezet, middels systemen als ATB en ERTMS.
 - Als een wiel/as te warm wordt, dan zou dat uiteindelijk kunnen leiden tot een as- of wielbreuk. Het systeem hotbox meet de temperatuur van de assen van rijdende treinen en bij een te warm wiel of as wordt dat automatisch gemeld.
 - Als de wioldruk van een spoorwagen niet overal gelijk is, dan duidt dat op 'scheef' belading. Het systeem QuoVadis meet de wioldruk van de wagens en bij onderlinge verschillen wordt dat automatisch gemeld.
 - Iedere machinist moet wegbekendheid hebben

- **Aanvullende maatregelen voor het spoorgoederenvervoer van gevaarlijke stoffen**
 - Voor de vervoerder/verladers/infrastructuurbeheerders is het RID van toepassing, dat is Europese regelgeving met zeer gedetailleerde (veiligheids)eisen voor het spoorvervoer van gevaarlijke stoffen, bijvoorbeeld:
 - het materieel
 - toegestane stoffen en bijbehorende etikettering
 - de wijze van belading
 - de opleiding van het personeel
 - controles voorafgaand aan het vertrek

 - Het RID bestaat uit meer dan 10.000 eisen en is ongeveer 1200 pagina's dik.
 - In het warme-bleve-convenant is afgesproken dat wagens met brandbare gassen niet direct gekoppeld worden aan wagens met zeer brandbare vloeistoffen. Dit voorkomt dat als bij een incident een wagen met een zeer brandbare vloeistof zou openscheuren en de lading volledig vrijkomt, de wagen met brandbaar gas dan in de brandende vloeistof komt te staan en door drukverhoging zou kunnen exploderen.

- **Getroffen maatregelen ingeval van een incident**

Ondanks dat er de afgelopen 100 jaar in NL geen slachtoffers zijn gevallen vanwege een spoorincident met gevaarlijke stoffen, zijn er wel de nodige maatregelen getroffen voor die situatie. Mocht er toch een incident (ontsporing, botsing) plaatsvinden, dan zijn daarvoor de volgende maatregelen getroffen om het effect te voorkomen of te beperken:

- RID: eisen aan constructie van materieel
Vanuit het RID zijn zware eisen gesteld aan de constructie van het materieel, met als doel dat bij een eventueel incident, de ketelwagen of UN-container intact blijft en er geen lading vrijkomt.
- Voordat een trein gaat rijden is de wagenlijst in bezit bij ProRail (systeem WLIS-vertreksamenstelling). Bij een incident wordt deze informatie onmiddellijk gedeeld met de betreffende veiligheidsregio. Hierdoor weet de veiligheidsregio al voordat ze aankomen op de incidentlocatie, welke stof is vrijgekomen en hoe ze daar tegen moeten optreden.
- Op rangeeremplacementen wordt geregistreerd welke wagens op welk spoor staan en met welke stoffen (systeem WLIS-spoorbezetting). Bij een incident wordt deze informatie onmiddellijk gedeeld met de betreffende veiligheidsregio. Hierdoor weet de veiligheidsregio welke wagens met welke lading in de buurt van het incident staan.
- ProRail Incidentenbestrijding ondersteunt de veiligheidsregio bij de bestrijding van een incident met spoor-specifieke inzet en informatie.
- Iedere machinist moet Nederlands spreken, dat voorkomt misverstanden in de communicatie.

5. Toekomstige ontwikkelingen

In de spoorsector wordt continue gekeken of het spoorstelsel met innovaties verbeterd kan worden. dat geldt ook voor veiligheid.

Enkele voorbeelden hiervan:

- Het treinbeïnvloedingssysteem ATB wordt de komende jaren vervangen door ERTMS. De afkorting ERTMS staat voor European Rail Traffic Management System en is de Europese standaard voor treinbeveiliging- en besturing. ERTMS is hét digitale spoorplatform van de toekomst. ERTMS bestaat uit een systeem in de trein en een systeem in de infrastructuur. Beide systemen communiceren met elkaar door middel van bakens ('balises') tussen rail en telecommunicatie. Draadloos dus. Als ERTMS volledig is ingevoerd, vormen seinen geen onderdeel meer van het beveiligingssysteem voor het spoor. Met ERTMS wordt de stap gemaakt van analoog naar een digitaal spoor, wat tevens zorgt voor meer veiligheid.
- Middels big data-technologie worden bestaande databronnen aan elkaar gekoppeld om zodoende tot voorspellende modellen te komen, met als doel om de conditie van het spoor beter te kunnen volgen en storingen voor te zijn. Big data-technologie maakt tevens gebruik van slimme sensoren om verstoringen van wissels, spoorstaafdefecten, verzakkingen in het spoor en verstoringen veroorzaakt door mens en dier te kunnen voorkomen.
- Data technologie wordt tevens gebruikt om sneller en gedetailleerder te kunnen communiceren in de hele spoorketen tussen bedrijf -> verlader -> vervoerder -> infrabeheerder. Bijvoorbeeld als er trends worden geconstateerd in de data van Hotbox of QuoVadis.

6. Huidige en toekomstige veiligheidsmaatregelen en infra-wijzigingen bij pilots

Pilot Almelo

- Getroffen veiligheidsmaatregelen:
 - zie blz 1 t/m 3 van deze notitie
- Voorziene toekomstige veiligheidsmaatregelen:
 - Zie punt 5 van deze notitie
 - Landelijke uitrol ERTMS (op langere termijn)
- Potentiële toekomstige maatregelen:
 - Lopende politieke gesprekken over GNOE / Noordtak Betuweroute, wat voor een ontlasting zal zorgen voor Almelo.
 - Potentiële mogelijkheden om de Twentekanaallijn te upgraden voor het spoorgoederenvervoer, wat voor een ontlasting zal zorgen voor Almelo. Op dit moment lopen hier geen gesprekken meer over.
- Geplande of verwachte grootschalige infrawijzigingen
 - Er zijn geen grootschalige wijzigingen aan de infra gepland, wel vervangingsprojecten.

Pilot Sittard-Geleen

- Getroffen veiligheidsmaatregelen:
 - zie blz 1 t/m 3 van deze notitie
- Voorziene toekomstige veiligheidsmaatregelen:
 - Zie punt 5 van deze notitie
 - Landelijke uitrol ERTMS (op langere termijn)
- Potentiële toekomstige maatregelen:
 - Potentiële mogelijkheden voor een zuidelijke aansluiting van het complex Chemelot, wat voor een (beperkte) ontlasting zal zorgen voor Sittard-Geleen. Dit plan is destijds stop gezet vanwege onvoldoende financiële dekking. Op dit moment lopen hier geen gesprekken meer over.
- Geplande of verwachte grootschalige infrawijzigingen
 - Er zijn geen grootschalige wijzigingen aan de infra gepland, wel vervangingsprojecten.

Bijlage 2 Ballastbed

Bijlage 2 Ballastbed

Ballastbed

Een plas op een emplacement zal zich wat betreft oppervlaktegrootte en diepte heel anders ontwikkelen als deze op een ondergrond ontstaat dat bestaat uit zand, uit klei of uit ballastbed. Een ballastbed is een laag stenen dat onderdeel kan vormen spoorweginfra. Een ballastbed bestaat uit lagen steen en ligt tussen de sporen. De primaire functie ervan is om te zorgen voor stabiliteit van het spoor. Het heeft als secundaire functie ook dat het regenwater wordt afgevoerd en het kan een bergend volume hebben.



Figuur B2.1 Voorbeeld van ballastbed

In rapporten die de afgelopen jaren over incidentbestrijding op emplacementen jaren zijn opgesteld, worden twee typen plas(brand)groottes aanhouden: een generieke plasgrootte van 160 m² bij een instantaan falen van een ketelwagen en een generieke plasgrootte van 100 m² bij een continue uitstroom vanuit een ketelwagen¹⁹. Deze waarden voor plasgroottes zijn in een expertgroep in het kader van het landelijke Emplacementenproject, overeengekomen en zijn gebaseerd, zo wordt gesteld, op oudere uitstroombroeven uit 1989²⁰. Daarnaast is in 2014 door TNO onderzoek²¹ gedaan naar de werking van het ballastbed op de plasgrootte en de hittestraling van een plasbrand.

Historie plasgroottes van plasbrand op en naast het spoor

In de afgelopen 35 jaar (vanaf 1989 tot heden) zijn er een aantal verschillende plasoppervlakten gehanteerd die als maximumplasgrootte werden beschouwd voor een plasbrand op een emplacement. De waarden 600 m², 160 m² en 100 m² zijn hier bijvoorbeeld vaak voor gebruikt. Hieronder worden 3 documenten behandeld waarbij de beschouwde plasgroottes die in de documenten staan worden toegelicht. De belangrijkste jaartallen en documenten die hierbij horen zijn:

- 1989: Notitie Save 1989 *Plasgrootte bij uitstroming op spoorwegemplacementen*, Ingenieurs/adviesbureau SAVE 89314-903A1 juli 1989, opdrachtgever Nederlandse Spoorwegen.

¹⁹ Vanaf 1989 werden oppervlaktes van 600 m² en 300 m² gehanteerd, maar in de meest recente studies voor incidentenbestrijding worden oppervlaktes van 160 m² en 100 m² gehanteerd. (dit is afgestemd en vastgesteld in 2017/2018 Emplacementenproject – Expertgroep 'maatregelen en voorzieningen'). Opgemerkt wordt dat in handleidingen voor risicoberekeningen 600 m² en 300 m² hanteren (zie bijvoorbeeld Rekenmethode voor rangeer-handelingen spoorwegemplacementen Als bedoeld in artikel 2.1 onder C van het Bevi (Versie 1.2, 12 april 2021)).

²⁰ 1989: Notitie Save 1989 *Plasgrootte bij uitstroming op spoorwegemplacementen*, Ingenieurs/adviesbureau SAVE 89314-903A1 juli 1989, opdrachtgever Nederlandse Spoorwegen.

²¹ 2014: TNO-rapport *Plasvorming door vloeistofuitstroming op havenemplacementen* - 2014 R10876, 13 juni 2014 prnr. 060.02192

- 2014: TNO-rapport Plasvorming door vloeistofuitstroming op havenemplacementen - 2014 R10876, 13 juni 2014 pnr. 060.02192
- 2017/2018 Emplacementenproject – Expertgroep ‘maatregelen en voorzieningen’ – en zo overgenomen in onder andere Rapportage Incidentbestrijding, Emplacement Waalhaven-Zuid (2022) per 01-01-2023, ProRail, Versie 10.0, Status Definitief, Hoofdstuk 6)

1989 – Notitie SAVE - uitstroomtest

Belangrijkste conclusies:

- Live-test uitgevoerd op zand op emplacement Kijfhoek voordat er een ballastbed was.
- Een horizontaal gerichte "instantane", uitstroming van circa 60 seconden.
- *'De ervaringen met uitstromingen van spoorketelwagens wijzen er op dat de uitstromende hoeveelheid vaak beperkt blijft tot maximaal 50% van de inhoud.'* Er wordt uitgegaan van maximaal 40 m³ wat uitstroomt.
- *'De ondergrond bestond uit droog zand dat in afwijking van de gebruikelijke situatie bij NS niet is bedekt met ballast (grind of steenslag). Dit vergemakkelijkt het volgen van het proces, aangezien anders het water vrij snel wegzakt tussen de ballast en dan spreidt. Door de afwezigheid van ballast vindt een snellere spreiding plaats en een groter oppervlak.'*
- Het overstroomde terreinoppervlak wordt geschat op 600 tot 650 m². De laagdikte van de vloeistofplas wordt op het moment van maximale spreiding aan de rand geschat op circa 2 cm. Na 10 minuten was het plasoppervlak gereduceerd tot circa 20% van de oorspronkelijke omvang (120-130 m²).

2014 – TNO-rapport Plasvorming door vloeistofuitstroming op havenemplacementen

Belangrijkste conclusies:

- Locatie Waalhaven-Zuid leek de meest heterogene, d.w.z. behalve stenen bleek ook zand aanwezig relatief dicht onder het maaiveld. Bij de andere locatie (Botlek) vermeldde de profielen tot op grotere diepte voornamelijk de aanwezigheid van grover materiaal (stenen). Waalhaven-zuid leek derhalve meer een 'worst case', ten aanzien van doorlaatbaarheid.
- De verschillende deellocaties van Waalhaven-Zuid verschilden onderling enigszins van elkaar wat betreft de infiltratiesnelheid. Dit betreft echter alleen de zandlaag. De vloeistof zal vrijwel direct door de grindlaag heen zakken en pas op de zandlaag weerstand ondervinden tegen verder indringen.
- De snelheid waarmee een dergelijke plas verdwijnt, is dan afhankelijk van de doorlaatbaarheid van de zandlaag onder het grindbed. Uit experimenten uitgevoerd door Efectis (Efectis, 2012) blijkt dat, wanneer een brandende vloeistof tot ca. 2 x steendikte onder het oppervlak van het ballastbed is gedaald, de vlammen nog slechts enkele centimeters hoog zijn en geen gevaar meer vormen t.a.v. de dreiging van een BLEVE. In brandproeven, uitgevoerd door Efectis, blijkt dat het brandvermogen vrijwel tot 0 is gedaald als het vloeistofniveau tot 1 á 2 steendiktes (5-10 cm) onder het ballastoppervlak is gezakt.
- In het geval waarin de vloeistof het gehele grindbed vult, en dus tot aan de bovenkant van het grind staat, zal het, na ontsteking, 2 tot 4 minuten duren alvorens het brandvermogen tot een verwaarloosbare waarde is gedaald, d.w.z. totdat het vloeistofniveau tot 2 á 3 steendiktes onder het grindoppervlak is gedaald. Indien de vloeistof ook nog infiltreert in een onderlaag, zal het brandniveau sneller dalen. Dit is dan afhankelijk van de doorlaatbaarheid van deze onderlaag. Indien de grindlaag van het ballastbed van voldoende omvang (ruwweg 3-4 x het vrijgekomen vloeistofvolume) is om alle vrijgekomen zeer brandbare vloeistof te bergen en daarbinnen vrij is van vervuiling en barrières zal niet de grootte van het plasoppervlak maatgevend zijn voor de omvang en tijdsduur van een plasbrand (en de daarop gebaseerde bestrijdingsmaatregelen of risico's) maar de snelheid waarmee het vloeistofoppervlak in de ondergrond zakt.
- Indien de grindlaag in het ballastbed niet groot genoeg is om alle vrijgekomen vloeistof op te vangen, of indien doorstroming wordt gehinderd (denk aan porfierpaden, dat zijn de (wandel)paden tussen spoorlijnen meestal bestaand uit stenen), of indien delen van het grindbed lager liggen dan de omgeving (kuilen), dan wel geheel afwezig zijn (met een minder of niet doordringbaar oppervlak als gevolg), kunnen er vloeistofplassen ontstaan die vrije plasoppervlakken vormen waar dan plasbranden kunnen ontstaan. Dergelijke plasbranden kunnen aanzienlijk langer duren dan hierboven aangegeven, omdat zij kunnen worden "gevoed" vanuit het omringende ballastbed, waarin zich vloeistof heeft opegehoopt.

- In het geval waarin de vloeistof het gehele grindbed vult, en dus tot aan de bovenkant van het grind staat, zal het, na ontsteking, 2 tot 4 minuten duren.
- Update 2023: De TNO-proeven [in 2014] zijn dan ook uitgevoerd met het “oude” ballastbed van emplacement Waalhaven-Zuid met een dikte van 31,5 cm. (Rapportage Incidentbestrijding, Emplacement Waalhaven-Zuid per 01-01-2023 (behorend bij OLO aanvraagnummer 6585771, ProRail, Versie 10.0, Status Definitief, Hoofdstuk 6))

2017/2018 Emplacementenproject

Belangrijkste conclusies:

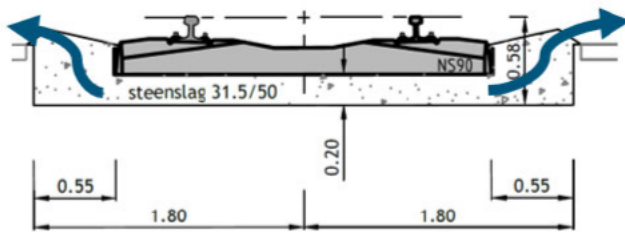
- In expertgroep (VRR, DCMR, ProRail) is een generieke plasgrootte van 160 m² bij een instantaan falen van een ketelwagen overeengekomen. Bij een continue uitstroom vanuit een ketelwagen wordt generiek uitgegaan van een plasgrootte van 100 m²
- De plasgrootte van 160 m² die is genomen is op basis van:
 - I. vrijkomen van volledige inhoud van een spoorketelwagen (85 m³), 80% reductie en toegepast op ballastbed:
 - II. *‘Indien 85 m³ vrijkomt, dan zal er bij een ballastbeddikte van 30 cm een oppervlak van 800 m² nodig zijn om alle vloeistof tot aan de bovenkant van het ballastbed te bergen. De observatie van 20% van het oppervlak is toegepast op dit oppervlak van 800 m², dit resulteert in een oppervlak van 160 m².’*
 - III. Uitgegaan is, zo wordt gesteld, van gegevens SAVE onderzoek 1989, terwijl
 - ◆ daarin staat expliciet een uitstroming van 50% d.w.z. 40 m³ (en geen 100% van 80 of 85 m³).
 - ◆ daar is destijds een experiment uitgevoerd op zandgrond en niet boven ballastbed
 - ◆ daar een reductie van 80% na 10 min. voor plasgrootte geldt voor indringen van het water in zand en niet voor een andere stof in een ballastbed.

De waarden van 100 m² en 160 m² zijn in de jaren daarna gebruikt in diverse risicoberekeningen en -rapporten voor emplacementen.

Invloed van ballastbed op plasbrand

De onderzoeken uit 1989 en 2014 vullen elkaar aan en laten zien dat een plas op een emplacement zich heel anders kan ontwikkelen als deze op een ondergrond ontstaat dat bestaat uit zand, uit klei of uit ballastbed. De conclusies en redenering over plasgrootte zoals genomen in het Emplacementenproject (en overgenomen in diverse andere onderzoeken en rapporten daarna) maak een oneigenlijk gebruik van testresultaten uit 1989 en 2014. De onderbouwing voor 160 m² en 100 m² is zwak en de keuze ervoor arbitrair.

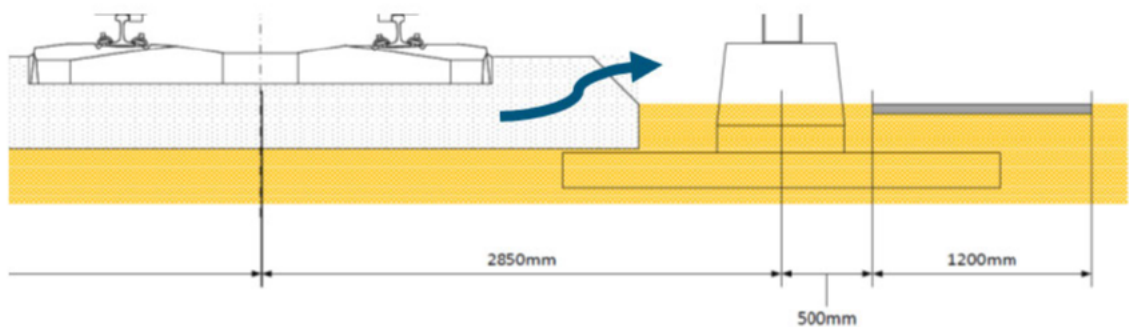
De grootte en vorm van een plasbrand op een emplacement moet dus worden vastgesteld aan de hand van de feitelijk aanwezige condities op een emplacement en kunnen niet zomaar globaal voor alle emplacementen met één reëel plasoppervlak worden aangeduid voor specifieke gevaarskenmerken. Daarbij moet de invloed van het ballastbed zeker worden meegenomen.



Uitstroming uit ballastbed bij emplacementen met paden aan beide zijden van een spoor



Uitstroming uit ballastbed bij dubbelsporige spoorbaan met lager gelegen inspectiepaden



Uitsnede van vorig figuur t.b.v. duidelijk beeld verschil met uitstroming ballastbed op een emplacement

Gegeven de aanwezige getroffen maatregelen en voorzieningen wordt voor een scenario met lekkage op een emplacement (lage snelheden, diverse veiligheidsmaatregelen), uitgegaan van een representatief scenario. Dit representatieve scenario is een lekscenario van een wagen met N-hexaan (voorbeeldstof voor stofcategorie C3), een vloeistofkolomhoogte van 2,5 meter en met een uitstroming uit een gat van 3". De uitstroom vanuit deze lekkage bedraagt dan 20 liter per seconde en leegloop van 40 m³.

Als er een minimale ballastonderlaagdikte van 0,20 meter is, een ballastbed dat een goede kwaliteit heeft en er geen grondwaterstand in het ballastbed is, wordt de margegrens voor een "barbecuebrand" (brand met vloeistofniveau van 100mm onder bovenkant ballastbed) niet overschreven. Bij deze omstandigheden biedt het ballastbed dus voldoende bergingscapaciteit. In zo'n situatie is plasvorming wel mogelijk over een korte tijd bij zeer extreme lekdebieten (mogelijk in extreme gevallen binnen de eerste minuut van een lekkage), maar dat bij verschillende diktes van het ballastbed de plas zich snel verspreidt en daarbij onder de margegrens komt van een "barbecuebrand".

Het uitgangspunt voor de worst-case scenario's is leegloop van 60 m³ in 10 minuten, wat betekent een lekkage met een uitstroom van 100 l/s. Omdat de uitstroom bij een lekkage niet gelijkmatig verloopt, is overcapaciteit nodig om plasvorming op en naast het ballastbed te voorkomen. Extreme lekdebieten zijn direct afhankelijk van de diepte van het ballastbed. De resultaten zijn dat bij een ballastonderlaagdikte van 0,2 meter de margegrens van een "barbecuebrand" wordt bereikt bij 160 l/s en bij een dikte van 0,35 meter bij 240 l/s. De gemiddelde waarde voor uitstroming bij catastrofaal falen (100 l/s) ligt onder de waarde van 160 l/s voor een ballastbed onderlaagdikte van 0,2 meter, waardoor de benadering ook aantoont dat het worst-case scenario theoretisch voldoet aan de bergingscapaciteit. De grafieken van de theoretische benadering laten ook zien dat bij extreme lekdebieten en overschrijding van de margegrens 'barbecuebrand', het vloeistofniveau binnen 5-10 minuten weer zakt onder de margegrens.

De diepte van het ballastbed heeft impact op de bergingscapaciteit. Dit betekent dat het vergroten van de dikte van de onderlaag een doelmatige maatregel kan zijn voor het vergroten van de bergingscapaciteit. De noodzaak hiervoor is afhankelijk van een lokale situatie. De korte tijd waarover een plas kan ontstaan is afhankelijk van de grootte van het lekdebiet, de dikte en kwaliteit van het ballastbed en de lokale situatie. Hiermee is de

theoretische bergingscapaciteit van het ballastbed afhankelijk van meerdere factoren, waarvoor er verschillende beheersmaatregelen mogelijk zijn om de bergingscapaciteit te verbeteren of te borgen in tijd. De nieuwbouwnorm voor dikte ballastbed (onderlaag 0,35m vanaf onderkant dwarsligger) biedt voldoende bergingscapaciteit voor nieuwbouwsituaties.

“Barbecuebrand”

Bij een brand met voldoende ballast in het ballastbed zal het vloeistofniveau dalen tot in het ballastbed. Als er dan toch ontsteking van een plas plaatsvindt, ontstaat er een “barbecuebrand” (brand met vloeistofniveau van 100mm onder bovenkant ballastbed). Er is onderzoek gedaan naar de effecten van zo’n “barbecuebrand”:

- ‘Bij een ballastbed dat is aangelegd en onderhouden conform het Ontwerpvoorschrift, zal er geen plasbrand ontstaan met hoge warmtestraling. De brand in het ballastbed levert een lage stralingsintensiteit.’
- ‘Een brand in het ballastbed geeft zoals aangegeven geen hoge langdurige warmtestraling af waardoor van het (snel) opwarmen van een andere wagen geen sprake is.’



Figuur B2.2 Vlamhoogtes bij ballastbedden met verschillende vloeistofniveaus (Bron: Efectis, 2012)

Een brand in het ballastbed geeft zoals aangegeven geen hoge langdurige warmtestraling af waardoor van het (snel) opwarmen van een andere wagen geen sprake is. Zelfs bij een grotere uitstroming zal de brand beperkt zijn tot enkele minuten en niet tot 15-20 minuten of meer. Er is alleen sprake van mogelijk gevaar van opwarming van een andere wagen bij een langdurige grote brand met hoge warmtestraling naar de omgeving (dus groot plasoppervlak) waarbij er ook nog andere wagens in de nabijheid aanwezig moeten zijn.

Er kunnen verschillende type situaties wat betreft ballastbed kunnen worden onderscheiden:

1. **PUUR EN VOLDOENDE BALLASTBED** - Het ballastbed wat aanwezig is in en tussen de sporen zorgt ervoor dat een plasbrand in het ballastbed plaatsvindt. Bij voldoende ballastbed zakt de vloeistof snel tot onder 2 à 3 steendiktes onder het grindoppervlak en zal bij brand het brandvermogen een verwaarloosbare waarde hebben (TNO-rapport *Plasvorming door vloeistofuitstroming op havenemplacementen* - 2014 R10876, 13 juni 2014 pnr. 060.02192). In het geval waarin de vloeistof het gehele grindbed vult, en dus tot aan de bovenkant van het grind staat, zal na ontsteking het 2 tot 4 minuten duren voordat het brandvermogen tot een verwaarloosbare waarde is gedaald. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat een puur ballastbed met voldoende steendikte effectief werkt. Er wordt dus van uitgegaan dat de weersomstandigheden, zoals hevige regenval of strenge vorst, geen beperking opleveren voor de afvoercapaciteit van het ballastbed. Aanstraling van een wagen voor langdurige tijd kan worden uitgesloten en daarmee ook het BLEVE-scenario.

2. **DEELS (VOLDOENDE) BALLASTBED** - Tussen of langs de sporen is een andere ondergrond dan ballastbed (b.v. op porfierpaden van zand/klei), resulterend in een smalle, langwerpige vloeistofplasbrand (plasbrand op een porfierpad van zand/klei). Aanstraling van een wagen voor langdurige tijd kan niet worden uitgesloten en daarmee kan een BLEVE-scenario niet worden uitgesloten.
3. **GEEN BALLASTBED** - Op open terrein zoals naast de sporen - zand/klei/asfalt – waar de vloeistof zich onbelemmerd kan uitbreiden, resulterend in een min of meer cirkelvormige plas (grotere plasbrand). Aanstraling van een wagen voor langdurige tijd kan niet worden uitgesloten en daarmee kan een BLEVE-scenario niet worden uitgesloten.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1700 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Rivium Westlaan 72
2909 LD Capelle aan den IJssel
Postbus 8590
3009 AN Rotterdam

Copyright ©

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct een melding te maken bij security@antegroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

www.anteagroup.nl