

Maatgevend scenario Betuweroute en bijbehorende repressieve voorzieningen



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2021). *'Maatgevend scenario Betuweroute' en bijhorende repressieve voorzieningen*. Arnhem: IFV.

Opdrachtgever: SMO spoor
Contactpersoon: Robert Polman
Titel: 'Maatgevend scenario Betuweroute' en bijbehorende repressieve voorzieningen
Datum: 21 juli 2021
Status: Definitief
Auteurs: Inge Trijssenaar, Nils Rosmuller en Hans Spobeck
Projectleider: Nils Rosmuller
Review en eindverantwoordelijk: Nils Rosmuller

Inhoud

	Inleiding	4
1	Onderzoeksaanpak	6
1.1	Onderzoeksvragen	6
1.2	Aanpak	7
2	Het maatgevende scenario	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Kernpunten uit de werkgroep Betuweroute 1994	8
2.3	Herkomst uitgangspunt bluswatercapaciteit	10
2.4	Herkomst afstand 100 meter bereikbaarheid	10
2.5	Herkomst 30 minuten inzetgereed	10
2.6	Conclusie	11
3	Veiligheidseisen en -maatregelen	12
3.1	Prestatie-eisen	12
3.2	Toetsingscriteria	12
3.3	Bluswater	13
3.4	Bereikbaarheid	13
3.5	25kV teams	14
3.6	Plasverkleinende maatregelen	14
3.7	Praktische complicaties	14
3.8	Conclusie	15
4	Ontwikkelingen	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Ontwikkelingen veiligheidsvoorzieningen	16
4.3	Ontwikkelingen incidentbestrijding	17
4.4	Beoordeling van de ontwikkelingen	20
4.5	Conclusies	21
5	'Maatgevend scenario' Betuweroute anno 2019	22
5.1	Inleiding	22
5.2	Resultaten van de groepssessie	22
5.3	Conclusies	25
6	'Maatgevend scenario' Betuweroute anno 2021	27
6.1	Inleiding	27
6.2	Resultaten interviewrondes	28
6.3	Resultaten plenaire sessie	29
7	Conclusie en eindadvies	31
7.1	Conclusie	31
7.2	Advies IFV	31
	Bronnen	33

Inleiding

Aanleiding

Op de Betuweroute tussen de Rotterdamse Haven en Duitsland rijden alweer ruim 10 jaar goederentreinen, waaronder ook treinen met gevaarlijke stoffen. De Betuweroute kent een behoorlijk scala aan veiligheidsvoorzieningen. De basis voor de veiligheidsvoorzieningen voor de vrije baan van de Betuweroute is al in 1994 gelegd in het zogenoemde *Eindverslag* van de werkgroep Betuweroute Regionale Brandweren (Werkgroep Betuweroute, 1994). Voor de tunnels is de basis voor de veiligheidsvoorzieningen gelegd in het *Beveiligingsconcept spoorwegtunnels uitsluitend bestemd voor goederenvervoer* uit 1997 (het zogenaamde *Groene Boekje*).

Beide documenten hebben geleid tot een pakket aan veiligheidsvoorzieningen, waarbij veelal in één adem gerefereerd wordt aan hét maatgevende scenario. Dit maatgevend scenario betreft dan de 'warme BLEVE' dat ten grondslag ligt aan het pakket van veiligheidsvoorzieningen. Gesproken wordt van de warme BLEVE als 'maatgevend scenario voor de vrije baan van de Betuweroute'. 'Maatgevend' houdt dan in, dat dit scenario de basis heeft gevormd voor het bepalen van de noodzakelijk geachte repressieve veiligheidsvoorzieningen bij het ontwerpen van de Betuweroute, van de beschikbare middelen (schuimvoorzieningen en 25kV-testers) en van de operationele voorbereiding van met name de brandweer (prestatie-eis).

Een 'maatgevend scenario' heeft iets subjectiefs in zich: het gaat erom de argumenten met betrokken partijen uit te wisselen en te komen tot een keuze van het scenario dat men als uitgangspunt neemt voor het vormgeven van de veiligheidseisen en de incidentbestrijdingsorganisatie, daarbij rekening houdend met het systeem van de incidentbestrijding zelf.

De geformuleerde uitgangspunten, veiligheidsvoorzieningen en -maatregelen zijn erop gericht om een 'warme BLEVE' te voorkomen, en eventuele schade zoveel mogelijk te beperken. Intussen zijn we zo'n 25 jaar verder en hebben er diverse ontwikkelingen plaatsgevonden die het legitimeren om het maatgevende scenario 'warme BLEVE' te (her)overwegen/tegen het licht te houden. Het gaat daarbij onder meer om a) voortschrijdend inzicht over de uitwerking en bestrijding van scenario's met gevaarlijke stoffen en b) een verdergaande samenwerking tussen overheidshulpdiensten en ProRail.

Procesgang

De voorzitter van het SO-spoor heeft in 2019 het IFV (Lectoraat Energie- en transportveiligheid) gevraagd een eerste aanzet te leveren voor de (her)overweging van het maatgevende BLEVE-scenario als uitgangspunten voor de veiligheidsvoorzieningen op de vrije baan van de Betuweroute.

Bij oplevering van de eerste rapportage in december 2019 bleek bij zowel ProRail als de veiligheidsregio's nog behoefte te zijn aan een nadere uitwerking van de uitkomsten. Dat als gevolg van enkele (nog actuelere) ontwikkelingen (dan in de eerste versie meegenomen) en enkele hieraan gerelateerde opvattingen bij ProRail en de veiligheidsregio's.

De voorzitter van het SO Spoor heeft in het najaar van 2020 het IFV gevraagd een nadere uitwerking ter verzorgen van enkele actuele ontwikkelingen en gerelateerde opvattingen. Het IFV heeft vervolgonderzoek verricht in de periode februari – april 2021 om tot een inhoudelijk goed en onderbouwd eindadvies te komen. Het voorliggende rapport is de integrale versie van het werk in 2019 en 2021 en bevat de eerste rapportage (2019) met aanvullend de resultaten van het vervolgonderzoek (2021). Dit betekent dat de IFV-rapportage van 2019, met de hier voorliggende versie komt te vervallen.

1 Onderzoeksaanpak

1.1 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van het eerste onderzoek uit 2019 luidt:

In hoeverre is het legitiem om het warme BLEVE-scenario anno¹ 2021 nog steeds te beschouwen als het maatgevende scenario voor de vrije baan van de Betuweroute (dus zonder de Havenspoorlijn en tunnels)?

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. *Welke argumenten waren er toentertijd om het warme BLEVE-scenario te kiezen als maatgevend scenario voor de Betuweroute?*
2. *Tot welke repressieve veiligheidseisen en -maatregelen aan de Betuweroute heeft het warme BLEVE-scenario geleid?*
3. *Welke ontwikkelingen hebben zich ondertussen afgespeeld die van invloed zijn op het voorkomen van een warme BLEVE, dan wel de gevolgen daarvan reduceren?*
4. *Is het warme BLEVE-scenario in de ogen van de veiligheidsregio's en ProRail nog altijd het 'maatgevende scenario' voor de Betuweroute anno 2021, en zo ja waarom? En zo nee, waarom niet, en welk scenario is dan wel maatgevend?*
5. *Mocht blijken dat een ander incidentscenario als 'maatgevend' beschouwd zou moeten worden, zijn dan de huidige veiligheidsvoorzieningen, -middelen en prestatie-eisen nog passend?*

Het aanvullend onderzoek uit 2021 behandelt de volgende onderzoeksvragen:

1. *Wat is de invloed van BLEVE-vrij rijden op de repressieve voorzieningen op de Betuweroute?*
2. *Wat betekenen de resultaten van het emplacementenproject² voor de bestrijding van incidenten op de vrije baan van de Betuweroute?*
3. *Zijn plasverkleinende maatregelen zoals sleuven en gootjes wenselijk om de gevolgen van incidenten te beperken?*
4. *Zijn de slangdoorvoeren naast de vluchtdeuren in de geluidsschermen van de Betuweroute een "nice to have" of een "need to have"?*
5. *In hoeverre zijn de maximale loopafstanden met gaspak (100 m.) nog passend gegeven de ontwikkelingen?*
6. *Hoe moet worden omgegaan met een tijdelijke niet-beschikbaarheid van repressieve voorzieningen?*

¹ We hebben dit jaartal aangepast naar de publicatie van dit rapport, te weten 2021, omdat de conclusie zoals getrokken in 2019 ten aanzien van deze vraag anno 2021 evenzeer nog geldig is.

² Het emplacementenproject staat voor een meerjarig programma (2014-2018) waarin veiligheidsaspecten van het vervoer en rangeren van gevaarlijke stoffen op spooremplacementen zijn uitgediept, alsmede gekeken is naar de incidentbestrijdings(on)mogelijkheden.

1.2 Aanpak

Eerste rapportage (2019)

Om tot een beantwoording van de hoofd- en deelvragen te komen, is voor de eerste rapportage de volgende aanpak gehanteerd:

- > Door middel van het houden van drie interviews en het lezen van beleidsstukken en achtergronddocumentatie zijn de argumenten, eisen, maatregelen en ontwikkelingen inzake het warme BLEVE-scenario (deelvragen 1 t/m 3) onderzocht.
- > Met de verworven informatie is vervolgens een groepssessie gehouden, waarin de argumenten met elkaar zijn gedeeld over de legitimiteit van het warme BLEVE-scenario als maatgevend scenario. Daarbij is ook besproken welk alternatief scenario als maatgevend kan worden gezien (deelvraag 4) en welke repressieve veiligheidsvoorzieningen, veiligheidsmiddelen en prestatie-eisen nog passend zijn (deelvraag 5).

Aanvullende rapportage (2021)

Ten behoeve van de aanvulling zijn vier activiteiten uitgevoerd:

1. Bestudering van de meest actuele inzichten voor wat betreft veiligheid van gevaarlijke stoffen spoorvervoer in Nederland.
2. Interviewronde met:
 - a. Vertegenwoordigers ProRail over nadere onderbouwing discussiepunten en stellingen.
 - b. Vertegenwoordigers veiligheidsregio's over onderbouwde discussiepunten en stellingen.
3. Op basis van de vernomen onderbouwing, spoorse en repressieve kennis heeft het IFV een voorzet geformuleerd voor uitsluitel over de initiële discussiepunten.
4. Plenaire sessie
Onder leiding van het IFV is een bijeenkomst gehouden met dezelfde (als in de interviewrondes) vertegenwoordigers van veiligheidsregio's en ProRail over het uitsluitel over initiële discussiepunten.

2 Het maatgevende scenario

2.1 Inleiding

Onderzoeksvraag 1 luidt: *Welke argumenten waren er toentertijd om het warme BLEVE-scenario te kiezen als 'maatgevend scenario voor de Betuweroute'?*

Om deze vraag te beantwoorden, zal eerst duidelijk moet zijn wat wordt verstaan onder 'een maatgevend scenario' en wat de werkgroep Betuweroute daaronder toentertijd heeft verstaan.

In de bestudeerde literatuur worden verschillende definities gehanteerd voor de term 'maatgevend scenario':

- > Een maatgevend scenario is een scenario waarmee inzicht wordt verkregen in de situaties die medebepalend zijn voor de omvang, het materieel en het materiaal van de brandweer. Een maatgevend scenario wordt geselecteerd uit een set van geloofwaardige scenario's (Encyclo.nl 2019).
- > Het meest ernstige scenario, ofwel het scenario waarbij de meeste slachtoffers vallen, wordt geselecteerd als maatgevend scenario. Uitgangspunt is dat als dit scenario beheersbaar is, de minder ernstige scenario's ook beheersbaar zijn (Handreiking Verantwoording Groepsrisico, 2007).
- > Een beschrijving van een reëel voorstelbaar incident aan de hand van een aantal vooraf geselecteerde factoren, die de ontwikkeling en het verloop van een incident bepalen, en waarbij substantiële gevolgen voor de personen in het bouwwerk optreden en/of substantiële schade aan inventaris of bouwwerk als zodanig ontstaat (Groene boekje, 1997).

De bovenste omschrijving (Encyclo.nl 2019) is terug te zien in het *Eindverslag* (Werkgroep Betuweroute, 1994): er worden incidentscenario's benoemd en de koppeling wordt gelegd met de bestrijding daarvan, in termen van het systeem van inzet, benodigde middelen en repressieve voorzieningen.

2.2 Kernpunten uit de werkgroep Betuweroute 1994

In 1994 heeft een werkgroep van vertegenwoordigers van de betrokken regionale brandweren en het ministerie van Binnenlandse Zaken de veiligheidsaspecten van de Betuweroute geïnventariseerd en geanalyseerd om op basis daarvan een advies over het Voorontwerp-Tracébesluit Betuweroute voor te bereiden voor het lokale bestuur (Werkgroep Betuweroute, 1994).

De werkgroep heeft de volgende scenario's onderscheiden (met tussen haakjes de effectafstanden (m) die bepaald zijn met het Schadescenarioboek):

- > explosie (1000 m)
- > BLEVE (300 m)
- > lekkage tot vloeistof verdicht gas (fakkel, 50 m)
- > plasbrand 600 m² (20 m)
- > uitstroming toxisch gas (2000 m)
- > toxische vloeistofplas 600 m² (150 m)
- > plas milieubelastende stof (<50 m).

Deze scenario's vragen om de volgende inzet van de brandweer (Aantjes e.a. in Werkgroep Betuweroute, 1994):

- > Koelen van drie spoorketelwagens vanaf twee zijden. Dit vraagt een waterlevering van 6000 l/min, oftewel drie tankautosputten (Werkgroep Betuweroute, 1994).
- > Blussen van een plasbrand van 600 m². Dit vraagt in totaal om 6600 liter schuimvormend middel en 3600 liter water per minuut, gedurende 30 minuten.
- > Dichten van een lekkage in chemicaliënpak en de daaropvolgende ontsmetting.
- > Dichten van een lekkage in gaspak en de daaropvolgende ontsmetting.

Nota bene: In 1994 is er vooral gekeken of het scenario al eerder is voorgekomen en naar de effecten en gevolgen ervan, niet naar de kans op het optreden van het scenario (Smit, 2019).

De volgende uitgangspunten zijn destijds benoemd (Werkgroep Betuweroute regionale brandwerven, 1994) voor de brandweerinzet op de Betuweroute. Rosmuller, Oberijé, & Roscam Abbing, (2003) noemen dit repressieve prestatie-eisen:

- 1) Langs de gehele route is een bluswatercapaciteit van 6000 liter water per minuut beschikbaar.
- 2) Een bereikbaarheid van de spoorlijn met brandweervoertuigen tot op maximaal 100 meter is noodzakelijk.
- 3) Binnen 30 minuten moet de brandweer daadwerkelijk ingezet kunnen worden.

In de eindrapportage van de Werkgroep Betuweroute 1994 wordt hierbij **niet** expliciet genoemd dat de warme BLEVE als 'maatgevend scenario' wordt beschouwd. In interviews wordt gemeld dat de warme BLEVE als 'maatgevend' is gekozen voor de bestrijding van scenario's met gevaarlijke stoffen (Boeree, 2019) en dan met name voor de hoeveelheid bluswater (Smit, 2019). Voor toxische scenario's is minder bluswater nodig. Een plasbrand moeten de hulpdiensten kunnen bestrijden, maar daar zijn geen aanvullende voorzieningen voor nodig ten opzichte van scenario's met gevaarlijke stoffen op de weg (Smit, 2019).

In Rosmuller et al. (2003) is de BLEVE als 'maatgevend incident' genoemd voor de inzet, omdat in dat geval de meeste voertuigen (4 tankautosputten, eventueel met dompelpompaanhanger) nabij de plaats van het incident nodig zijn om voldoende koelwater op de ketelwagens te kunnen opbrengen en schuim op de vloeistofplas. De dompelpompen zijn nodig voor het oppompen van de genoemde 6000 liter water per minuut uit spoorloten.

Als maatgevend scenario is de warme BLEVE medebepalend geweest bij het opstellen van veiligheidseisen en voorzieningen onder meer voor bluswater en bereikbaarheid (R. Boeree, 2019).

2.3 Herkomst uitgangspunt bluswatercapaciteit

2.3.1 Bestrijding BLEVE

In de uitgangspunten van de werkgroep Betuweroute wordt de noodzaak voor 6000 liter bluswater per minuut aangegeven. Deze waarde komt voort uit de gebruikte verhaallijn voor het scenario warme BLEVE en de bestrijding hiervan (Smit, 2019; Boeree, 2019; ProRail, 2019):

Uitgangspunt is dat één tankwagon met brandbare vloeistof instantaan faalt, waardoor de gehele inhoud vrijkomt en een plas vormt van 600 m². Er ontstaat een plasbrand waarbij één tankwagon met brandbaar gas in de problemen raakt en twee andere tankwagens worden aangestraald (Smit, 2019). Om een warme BLEVE te voorkomen, dienen de ketelwagens met brandbaar gas te worden gekoeld. Een vuistregel voor het koelen is: 10 liter bluswater per minuut per m² van het te koelen oppervlak van de ketelwagen (Rosmuller, 2019; Smit, 2019). Daarmee is 2000 liter water per minuut per ketelwagen nodig. Voor het koelen van drie wagens is dan 6000 liter per minuut nodig.

2.3.2 Bestrijding toxisch scenario

Om een verspreiding van toxische stoffen te voorkomen, kan bluswater worden ingezet voor het vormen van een waterscherm of het verdunnen van een gaswolk door de Venturiwerking van een waterstraal. In alle gevallen blijkt de hoeveelheid water die hiervoor nodig is, minder te zijn dan bij de warme BLEVE (Smit, 2019). Daarmee is de warme BLEVE maatgevend voor de hoeveelheid bluswater.

2.4 Herkomst afstand 100 meter bereikbaarheid

Voor het bepalen van de afstand van 100 meter van de toegang tot het spoor tot het incident speelden in 1994 de volgende factoren een rol:

- > De hoeveelheid aan brandweerslangen die de tankauto's bij zich hebben en de afstand die daarmee kan worden overbrugd (Smit, 2019).
- > Afstand = snelheid * tijd. Oftewel: hoe korter de afstand tot het incident, hoe korter de tijd tot er ingezet kan worden (Smit, 2019).
- > 100 meter is de worpafstand die een waterkanon kan overbruggen (Smit, 2019).
- > Lopen met gaspak en ademlucht (bij een afstand van bijv. 250 meter is de ademlucht al voor een groot gedeelte verbruikt voordat de gaspakdrager ter plaatse komt (Boeree 2019)). Op basis van Duyvis et.al. (2007) is de 250 meter als maximale loopafstand die aanvankelijk in het ontwerp stond, alsnog veranderd in 100 meter.

Let wel: de afstand van 100 meter is niet gekoppeld aan één specifiek scenario (Boeree, 2019).

2.5 Herkomst 30 minuten inzetgereed

Dat de brandweer binnen 30 minuten na alarmering inzetgereed moet zijn, is een (redelijke) aanname. Dit aantal minuten heeft volgens Smit (2019) te maken met de benodigde tijd om ter plaatse te komen (15 minuten), een verkenning uit te voeren en het materieel klaar te zetten (tezamen ook 15 minuten). Dit aantal minuten stelt op zijn beurt weer eisen aan de beschikbaarheid van bluswater en bereikbaarheid (Smit, 2019).

Ook hier geldt: de duur van 30 minuten is niet gekoppeld aan één specifiek scenario (Boeree, 2019).

2.6 Conclusie

De eerste onderzoeksvraag luidde: *Welke argumenten waren er toentertijd om het warme BLEVE-scenario te kiezen als maatgevend scenario voor de Betuweroute?*

Het is gebleken dat er niet één specifiek scenario als maatgevend scenario is benoemd door de Werkgroep Betuweroute 1994 dat aan de basis ligt voor alle repressieve voorzieningen en uitgangspunten. Dit is bevestigd in de interviews. De uitgangspunten, repressieve voorzieningen en maatregelen zijn terug te voeren op diverse scenario's en de bijbehorende inzetacties van brandweer. De warme BLEVE speelt hierin wel een prominente rol, net als de bestrijding van een plasbrand.

3 Veiligheidseisen en -maatregelen

Onderzoeksvraag 2 luidt: *Tot welke repressieve veiligheidseisen en -maatregelen aan de Betuweroute heeft het warme BLEVE-scenario geleid?*

Eerst moet opgemerkt worden dat er sprake is van een samenspel van scenario's dat geleid heeft tot de veiligheidseisen en repressieve maatregelen zoals door de werkgroep Betuweroute 1994 zijn vastgesteld. In dit hoofdstuk worden die veiligheidseisen en -maatregelen gepresenteerd.

3.1 Prestatie-eisen

Op basis van haar analyse heeft de Werkgroep Betuweroute 1994 de volgende drie voornaamste repressieve prestatie-eisen geformuleerd:

1. Binnen 30 minuten moet de brandweer daadwerkelijk zijn ingezet.
2. De bereikbaarheid van de spoorlijn met brandweervoertuigen tot op 100 meter is noodzakelijk.
3. Langs de gehele Betuweroute is een bluswatercapaciteit van 6000 liter water per minuut noodzakelijk.

3.2 Toetsingscriteria

In (Rosmuller et al., 2003) is voor het gehele traject van de Betuweroute, met uitzondering van de tunnels en bijbehorende toeritten, getoetst in hoeverre aan de drie prestatie-eisen wordt voldaan. Hiertoe zijn eisen geoperationaliseerd in de onderstaande (meetbare) toetsingscriteria (geciteerd uit Rosmuller et al., 2003):

A. Afstand opstelplaats

De loopafstand tussen een opstelplaats en het te bereiken incident mag niet groter zijn dan 100 meter.

B. Geluidsscherm

De loopafstand tussen de opstelplaats en de plaats incident mag vanwege het ontbreken van toegangsdeuren op de juiste plaats in het geluidsscherm niet meer dan 100 meter bedragen.

C. Talud- of brandtrap

Bij taluds en kunstwerken hoger dan 5 meter moeten trappen aangebracht zijn.

D. Grootte opstelplaats/keerlus

De opstelplaats/keerlus moet minimaal 225 m² groot zijn en een dusdanige vorm hebben dat brandweervoertuigen zich goed kunnen opstellen en kunnen keren.

E. Bluswatervoorziening (sloot)

De capaciteit van de (spoor)sloot ter hoogte van de opstelplaats moet voldoen aan de eis van 6000 liter per minuut en een minimale diepte van 70 cm hebben voor het plaatsen van een pomp. De afstand tussen de sloot en de plaats van inzet is maximaal 160 meter.

F. Bluswatervoorziening (droge/natte blusleiding)

Bij het ontbreken van een (spoor)sloot die voldoet aan de eis van 6000 liter per minuut, moet in een droge/natte blusleiding voorzien zijn.

G. Spoorloot

Een sloot die een obstakel vormt tussen de opstelplaats en de plaats incident moet kunnen worden overbrugd.

H. 30 minuten-eis

Binnen 30 minuten na het tijdstip van het ongeval moet een peloton, bestaande uit vier tankautospuiten, op elk willekeurig punt van de Betuweroute zijn ingezet.

De toetsing van de geoperationaliseerde eisen heeft toentertijd plaatsgevonden aan de hand van een analyse van tracékaarten (tekeningen). De toetsing in 2003 resulteerde in 220 knelpunten. Drie knelpunten (de afstand tussen de deuren in de geluidsschermen; de grootte van de opstelplaatsen en de spoorlootoverbrugging) vergden een structurele aanpak. Analyse van de knelpunten heeft uitgewezen dat, als de 30 minuten-eis overschreden werd, dit in de meeste gevallen (slechts) enkele minuten betrof. Voor de analyse is uitgegaan van een standaard inzet met drie of vier tankautospuiten. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor specifieke (brandweer)inzetten zoals een gaspakkeninzet of schuimblussing altijd meer tijd dan het maximum van 30 minuten nodig zal zijn.

3.3 Bluswater

De eis van 6000 liter bluswater per minuut geldt gedurende een periode van 240 minuten (4 uur) (Nibra, 2003). De aanrijdende brandweer heeft pompompen nodig om bluswater uit spoorloten te kunnen halen. Soms zitten de applicaties in het brandweervoertuig, maar in diverse veiligheidsregio's is een aanhanger nodig om de pompompen te transporteren.

3.4 Bereikbaarheid

Bij de Betuweroute is elke 100 m een deur in het geluidsscherm aangebracht, met direct naast de deur een slangdoorvoer (een klep voor de doorvoer van de bluswaterslangen) (ProRail, 2018). In het Tracébesluit Betuweroute was oorspronkelijk 250 meter aangehouden als onderlinge deurafstand. In de tracékaarten die gebruikt zijn voor de toetsing (Rosmuller et al., 2003) was de afstand tussen de deuren 200 meter aan de primaire inzetzijde van de Betuweroute.

De correctie hiervan naar 100 meter heeft veel voeten in aarde gehad (Smit, 2019). Volgens Smit (2019) is het mogelijk dat er nog steeds locaties zijn die niet voldoen aan de gestelde eis van 100 meter aan de primaire inzettijde.

Naast deuren in het geluidsscherm zijn soms spoorlootoverbruggingen nodig voor de bereikbaarheid. Sommige regio's maken hierbij gebruik van opblaasbare spoorlootoverbruggingen (ProRail, 2018).

3.5 25kV teams

Bij de Betuweroute wordt gebruik gemaakt van een spanning van 25 kV op de bovenleiding, wat afwijkt van het reguliere spoor (1500V, 3000V). Bij de brandweer zijn daarom zogenaamde 25kV teams opgeleid, die kunnen testen of er nog spanning staat op de bovenleiding (Smit, 2019) en derhalve kunnen vaststellen of er door de hulpdiensten op dit punt veilig gewerkt kan worden.

3.6 Plasverkleinende maatregelen

Plasverkleinende maatregelen die zijn aangetroffen in dit onderzoek zijn (Reuvers, 2018):

- > Spleten/sleufjes onder de geluidsschermen
- > verholen betongoten en afvoerbuizen naar de omringende watergangen (als spleten niet mogelijk zijn). De verholde betongoten zijn met name nodig bij kunstwerken (bijvoorbeeld bij verdiepte ligging) en daarom minder relevant voor het vrije spoor.

Doordat een eventuele brandbare vloeistof door deze spleten/sleuven weggevoerd wordt van het spoor, wordt de plas onder de ketelwagens en daarmee de kans op een warme BLEVE kleiner. Tegelijkertijd kan de vloeistof als gevolg van het wegvoeren door de spleten wel in het milieu terecht komen en/of in de spoorloot en vervolgens dus opgepompt worden door de pompompen. Tevens neemt hiermee de controle over de verspreiding van de vloeistof af, hetgeen de bestrijdbaarheid nadelig beïnvloedt.

3.7 Praktische complicaties

Er zijn diverse praktische complicaties bij het realiseren en handhaven van de prestatie-eisen:

- > Voor de Betuweroute zijn diverse bluswater- en bereikbaarheidsmaatregelen getroffen. Dit zijn onder andere: elke 100 meter een deur, slangdoorvoeren bij de deuren, 6000 liter water per minuut, binnen 30 minuten water op de spuit. Het onderhoud van de voorzieningen voor bluswater en bereikbaarheid is kostenintensief voor ProRail en heeft continue aandacht nodig. Een voorbeeld hiervan is het begroeid raken van de deuren en slangdoorvoeren met bijvoorbeeld graspollen. Ook het vrijhouden van sloten voor de bluswatervoorziening is lastig. Deze taak wordt vaak door ProRail uitbesteed aan de waterschappen. Na verloop van tijd, bijv. als gevolg van wisseling van personeel en archivering van stukken, kan het soms onduidelijk zijn geworden wat het oorspronkelijke doel van de afspraken was: bluswatervoorziening garanderen of flora en fauna onderhouden.

- > Op sommige locaties is een inzet van de brandweer binnen 30 minuten mogelijk te ambitieus vanwege langere aanrijtijden, beschikbaarheid van menskracht en bereikbaarheid van de Betuweroute zelf (Boeree, 2019).
- > Oefenen op de specifieke vormen van incidentbestrijding die zich kunnen voordoen met transport van gevaarlijke stoffen op de Betuweroute, kost relatief veel aandacht en tijd, en is op het spoor zelf hoe dan ook lastig vanwege de inbreuk op de regulier operatie (spoorvervoer).

3.8 Conclusie

De tweede onderzoeksvraag luidde: *Tot welke repressieve veiligheidseisen en -maatregelen aan de Betuweroute heeft het warme BLEVE-scenario geleid?*

De volgende veiligheidseisen en repressieve maatregelen zijn geïdentificeerd, die echter niet enkel alleen aan het warme-BLEVE scenario zijn verbonden:

- 1) Afstand opstelplaats en plaats incident ≤ 100 m
- 2) Geluidsscherm: deuren iedere 100 m, slangdoorvoer nabij deur
- 3) Talud- of brandtrap bij hoogteverschil >5 meter
- 4) Grootte opstelplaats/keerlus ≥ 225 m²
- 5) Bluswatervoorziening (sloot): 6000 l/min, diep ≥ 70 cm (dompelpomp), afstand ≤ 160 m
- 6) Bluswatervoorziening (droge/natte blusleiding): 6000 l/min
- 7) Spoorvlootoverbrugging indien sloot tussen opstelplaats en incident
- 8) Binnen 30 minuten is een peloton inzetgereed (4 tankautospuiten)
- 9) 25kV teams: brandweer kan spanning bovenleiding testen
- 10) Plasverkleinende maatregelen: spleten/sleufjes of verholen betongoten met afvoerbuizen (N.B. verholen betongoten zijn van toepassing bij een verdiepte ligging en dus niet op het vrije spoor)
- 11) Schuim binnen 30 minuten inzet, plas 600 m² kunnen bestrijden, 30 minuten lang schuim kunnen opbrengen.

Sommige veiligheidseisen en -maatregelen (hoeveelheid bluswater, 30 minuten-eis ten aanzien inzetgereed zijn), zijn in de praktijk soms moeilijk te realiseren en te handhaven.

4 Ontwikkelingen

4.1 Inleiding

Onderzoeksvraag 3 luidt: *welke ontwikkelingen hebben zich ondertussen afgespeeld die van invloed zijn op het voorkomen van een warme BLEVE, dan wel de gevolgen daarvan reduceren?*

De geformuleerde eisen en getroffen veiligheidsmaatregelen waren erop gericht om een scala aan incidentscenario's te voorkomen, en de schade zo veel als mogelijk te (kunnen) beperken. Intussen zijn we ruim 20 jaar verder en hebben diverse ontwikkelingen plaatsgevonden die het gewenst maken om de zogenaamde maatgevendheid van het warme-BLEVE-scenario te (her)overwegen.

- > Er zijn vloeistofplas-verkleinende maatregelen getroffen;
- > Er is onderzoek gedaan naar plasgrootte in relatie tot de (buffer)werking van het ballastbed;
- > Er zijn uitgangspunten geformuleerd aan de treinsamenstelling (warme BLEVE-vrij rijden);
- > Het 'emplacementenproject' heeft inzichten opgeleverd met betrekking tot de uitwerking en bestrijding van scenario's met gevaarlijke stoffen.

4.2 Ontwikkelingen veiligheidsvoorzieningen

4.2.1 Warme BLEVE-vrij rijden

Het convenant van ProRail, spoorvervoerders en chemische petro-industrie *Warme-BLEVE-vrij samenstellen en rijden van treinen* uit 2012 stelt eisen aan de treinsamenstelling van het vervoer van gevaarlijke stoffen op het reguliere spoor³. In de samenstelling van de trein wordt hierbij afstand gehouden tussen tanks met (zeer) brandbare gassen en tanks met zeer brandbare vloeistoffen. De kans op een warme BLEVE op het reguliere spoor wordt sterk gereduceerd met dit convenant.

Met betrekking tot een 'warme-BLEVE-vrij'-samengestelde trein is bepaald dat de afstand tussen een geheel of gedeeltelijk gevulde tank met brandbare gassen en een geheel of gedeeltelijk gevulde tank met zeer brandbare gassen en een geheel of gedeeltelijk gevulde tank met zeer brandbare vloeistoffen ten minste 18 meter moet bedragen dan wel dat de tank met brandbare gassen gescheiden moet zijn van de tank met zeer brandbare vloeistoffen door twee twee-assige wagens of een wagen met vier of meer assen, waarbij onder een gedeeltelijk gevulde tank niet een lege, ongereinigde tank wordt verstaan.

Hoewel het convenant warme BLEVE-vrij rijden **niet** van toepassing is op de Betuweroute, verandert de samenstelling van de treinen die over de Betuweroute gaan wel doordat spoorvervoerders uit willen kunnen wijken naar het regulier spoor in geval van een storing

³ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/convenanten/2012/07/02/convenant-warme-bleve-vrij-boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-samenstellen-en-rijden-van-treinen-bij-het-vervoer-van-gev>

(ProRail, 2019). Exacte cijfers van het aantal warme-BLEVE-vrij-samengestelde treinen op de Betuweroute zijn de onderzoekers niet bekend. ProRail geeft aan dat daar waar relevant, bijna alle treinen op de Betuweroute warme BLEVE-vrij worden samengesteld. Dit verlaagt de warme BLEVE-kans logischerwijs. Echter, de kans op een warme BLEVE op de Betuweroute bestaat nog altijd, waardoor de warme BLEVE voor de incidentbestrijding de warme BLEVE niet is uit te sluiten als incidentscenario.

4.2.2 ERTMS

De Betuweroute is voorzien van een ERTMS-systeem (zie: ERTMS.nl). De komende jaren (tot en met 2022) wordt ERTMS ingebouwd in de treinen. ERTMS maakt gebruik van draadloze communicatie. Hierdoor wordt er continu contact gelegd tussen een individuele trein, de baan waarop deze rijdt en de centrale verkeersleiding. Via een GSM-R-radioverbinding wordt informatie over de rijweg (mag een trein doorrijden of moet deze stoppen?) en de maximum snelheid doorgegeven aan de trein en op een beeldscherm in de trein getoond. Met het huidige systeem wordt het treinverkeer geregeld via seinen langs het spoor. Die zijn bij ERTMS Level 2 niet meer nodig. Als een machinist de instructies van het systeem niet tijdig opvolgt, kan het systeem op iedere locatie, bij iedere snelheid en op ieder moment ingrijpen door bijvoorbeeld de snelheid van de trein aan te passen of deze tot stilstand te brengen.

4.3 Ontwikkelingen incidentbestrijding

4.3.1 Voortschrijdend inzicht plasgrootte

In de risicoanalyse en in de voorbereiding van de hulpverlening voor emplacementen en vrije baan wordt een plasgrootte van 600 m² aangenomen voor het instantaan falen van een ketelwagen met brandbare vloeistof. De waarde van 600 m² is afkomstig van een experiment voor plasvorming en spreiding van water bij het emplacement Kijfhoek in 1989 (ProRail, 2019).

Bij meer recente experimenten op emplacementen zijn kleinere plasgroottes gemeten dan die bij de risicoanalyse gehanteerd worden, te weten 160 m² bij instantaan vrijkomen en 100 m² bij een continue uitstroming (ProRail, 2019). Deze waarden zijn nog niet overgenomen in wet- en regelgeving, of in de eisen aan de Betuweroute. Momenteel wordt de plasomvang van 600 m² nog steeds als uitgangspunt genomen voor de vloeistofplasgrootte voor zowel de vrije baan van de Betuweroute als op emplacementen.

Uitgaande van ballastdikte, volume en bergend vermogen van het ballastbed is het de vraag of er ook voor de vrije baan kleinere plasgrootten verwacht kunnen worden bij het instantaan falen van een spoorketelwagen.

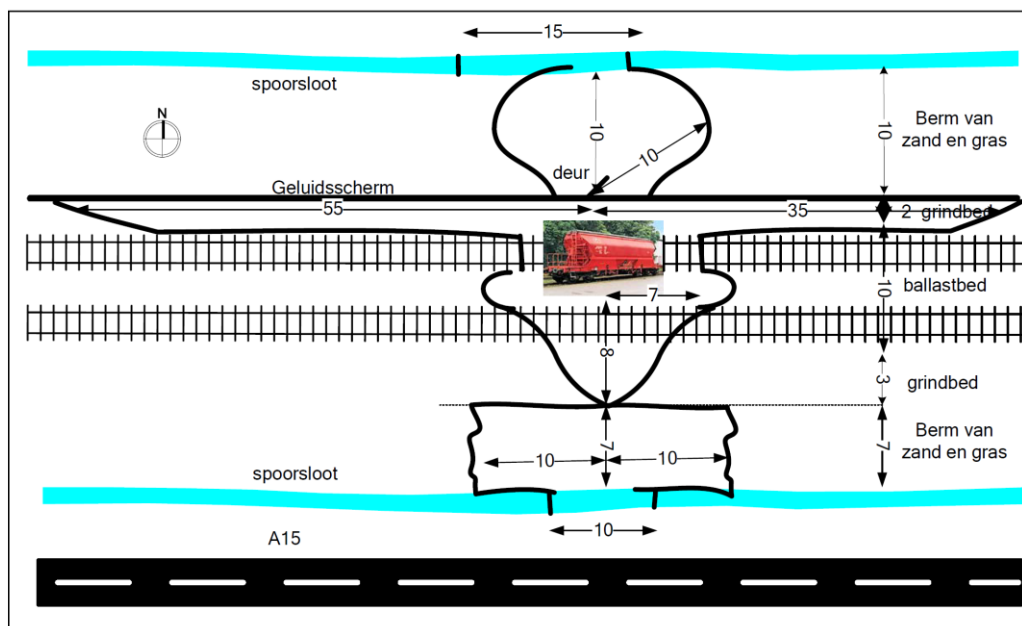
De grootte van de plas is afhankelijk van de permeabiliteit van de ondergrond (Reinders, 2014). Voor instantaan falen van een tankwagen met 23 ton brandbare vloeistof op de weg wordt een plasgrootte van 1500 m² gehanteerd, met asfalt als ondergrond. In 2014 heeft TNO (Reinders, 2014) onderzoek uitgevoerd naar de vorming van plassen bij instantaan falen van een ketelwagen met brandbare vloeistof op een havenemplacement. Hoewel de onderzoeksresultaten gelden voor emplacementen, bevat het onderzoek eveneens relevante informatie voor het vrije spoor. Er bleek bijvoorbeeld dat een vrijgekomen hoeveelheid vloeistof (zoals benzine, diesel of ethanol) meteen in het ballastbed zal doordringen. Indien

de grindlaag van het ballastbed van voldoende omvang is, vrij is van vervuiling en barrières daarbinnen en eventueel aanwezig grondwater geen belemmering vormt, zal alle vloeistof in het grindbed worden opgenomen. Er zal geen plasbrand ontstaan als:

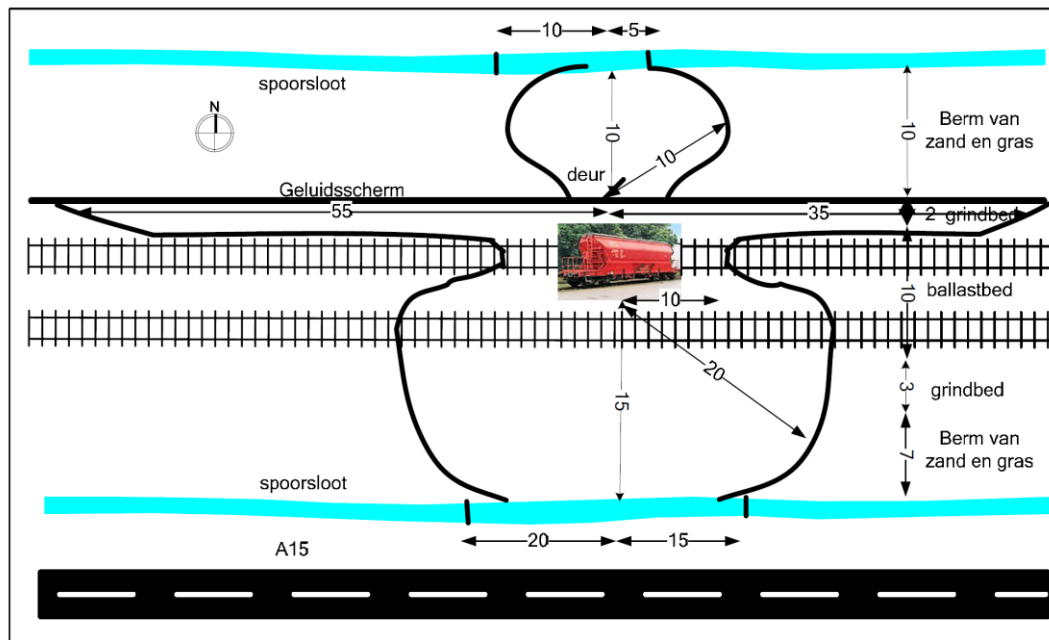
- 1) de omvang van het grindbed zodanig is dat alle vrijgekomen vloeistof in het vrije porievolume wordt opgenomen, en als
- 2) het vloeistofniveau één (of meer) steendiktes onder het oppervlak van het ballastbed ligt.

Indien de grindlaag in het ballastbed niet groot genoeg is om alle vrijgekomen vloeistof op te vangen, of indien doorstroming wordt gehinderd (bijvoorbeeld door een met zand vervuild ballastbed), dan wel geheel afwezig is, met een minder of niet doordringbaar oppervlak als gevolg, kunnen er vloeistofplassen ontstaan (Reinders, 2014).

Bij experimenten op de vrije baan (Rosmuller, 2005) is eveneens waargenomen dat de uitstromende vloeistof snel in het ballastbed verdwijnt. Er is echter ook gebleken dat de vloeistof na enige tijd aan de zijkant uit het ballastbed er weer uitstroomde. Het experiment is uitgevoerd voor ingebruikname van de Betuweroute en omvatte een instantaan vrijkomen van 50 m³ roodgekleurd water (Rosmuller, 2005; Rosmuller, 2009). Het totale plasoppervlak bedroeg op circa 7,5 minuten na uitstroming ongeveer 570 m² en op 20 minuten circa 760 m². De vloeistof liep aan de zijkant uit het ballastbed en verspreidde zich onder meer langs het geluidsscherm in 2 tot 3 minuten tot een langwerpige plas van circa 90 meter lang en 2 meter breed. De diepte van deze plas was ongeveer 15 centimeter. Verder liep de plas onder de deuren in het geluidsscherm de omgeving en naastgelegen spoorstoot in.



Figuur 4.1 Plasvorm op 2.5, 5 en 7.5 minuten na instantane uitstroming, circa 570 m² (Rosmuller, 2005)



Figuur 4.2 Plasvorm op 20 minuten na instantane uitstroming, circa 760 m² (Rosmuller, 2005)

4.3.2 Schuim in plaats van bluswater

Voor het bestrijden van een warme BLEVE was eerder (koelen met) water het uitgangspunt. Bij emplacementen is dit inmiddels schuim geworden (ProRail, 2019). Dit vindt plaats door middel van het afdekken van de (plas)brand en het koelen van de brand. Water en schuim worden pas op het einde bij elkaar gemengd; dit heeft te maken met de afstand waarover schuim verpompt kan worden. Door water en schuim op het einde bij elkaar te brengen wordt ontschuimen tijdens transport voorkomen (Smit, 2019). Schuimvormend middel is los verpompaar naar een reservoir en wordt ter plekke gemengd met water. Schuimvormend middel wordt getransporteerd met schuimaanhangsers.

De reden voor het niet meer blussen met water is dat er een grote hoeveelheid vervuild bluswater in het milieu terecht komt. Tevens speelt mee dat het ballastbed wordt opgevuld met water en daardoor instabiel raakt. Daarnaast blijven veel brandbare vloeistoffen drijven op water, wat kan leiden tot brandgevaar en milieubelasting.

4.3.3 Hoogwerkers

Sommige regio's passen tijdens oefeningen een manier van bestrijden toe, die afwijkt van de standaard, zoals het werken met een hoogwerker waarmee het bluswater of schuim over het geluidsscherm heen gebracht wordt (ProRail, 2019). Hiermee neemt mogelijk de behoefte af aan een deur op iedere 100 meter in het geluidsscherm.

4.4 Beoordeling van de ontwikkelingen

De ontwikkelingen en hun impact op de verschillende prestatie-eisen zijn door de onderzoekers hieronder in een tabel weergegeven. De gebruikte tekens zijn als volgt te interpreteren:

+ betekent: eis zou kunnen worden versoepeld

0 betekent: geen invloed

- betekent: eis zou strenger kunnen

Tabel 4.1 Inschatting van de impact van ontwikkelingen

	Bereikbaarheid 100 m afstand deuren	30 min inzetgereed	Bluswatercapaciteit (6000 l/min)	Opmerkingen
'Warme Bleve-vrij' rijden	0 beïnvloedt kans	0 beïnvloedt kans	0 beïnvloedt kans	Mogelijk heeft een aanzienlijke kansreductie van de warme BLEVE wel invloed op de keuze voor het BLEVE-scenario als maatgevend
ERTMS	0 beïnvloedt kans	0 beïnvloedt kans	0 beïnvloedt kans	
Inzicht plasgrootte	0	0	+ / - Plasgroottes kunnen groter (Rosmuller, 2005) of kleiner (emplacements- project) zijn dan de 600 m ² .	
Schuim i.p.v. water	0	0	+ Minder water nodig bij inzetten van schuim	
Inzet hoogwerker*	+ deuren zijn niet nodig voor bestrijding, wel voor vluchten	0	0	Eerder uitzondering dan regel in de veiligheidsregio's ¹

* De hoogwerker levert ook nieuwe onveilige situaties op voor de hulpverleners. Bovendien zijn de deuren in het geluidsscherm alsnog nodig voor veel andere scenario's, bijvoorbeeld voor het afsluiten van een klep in een spookketel om een lekkage te stoppen, met gebruikmaking van een gaspakinzet.

4.5 Conclusies

De derde onderzoeksvraag luidde: *Welke ontwikkelingen hebben zich ondertussen afgespeeld die van invloed zijn op het voorkomen van een warme BLEVE, dan wel de gevolgen daarvan reduceren?*

Tabel 4.1 presenteert de ontwikkelingen en de inschatting door de onderzoekers van de impact van deze ontwikkelingen op de eisen. De ontwikkelingen van de afgelopen twintig jaar in ogenschouw nemende, kan geconcludeerd worden dat er weinig reden is tot aanpassing van de oorspronkelijke repressieve eisen.

5 'Maatgevend scenario' Betuweroute anno 2019

5.1 Inleiding

Met als basis de informatie die beschreven is in de hoofdstukken 2 tot en met 4, is een groepssessie gehouden met ProRail en de veiligheidsregio's waarin visies met elkaar zijn gedeeld over de invloed van ontwikkelingen op de veiligheidseisen en -maatregelen (in relatie tot het warme BLEVE scenario). Daarbij is ook besproken welk alternatief scenario eventueel als maatgevend kan worden gezien voor het voorzieningenpakket op de vrije baan van de Betuweroute (deelvraag 4).

De onderzoeksvragen voor de groepssessie waren:

- > *Is het warme BLEVE-scenario in de ogen van de veiligheidsregio's en ProRail nog het maatgevende scenario voor de Betuweroute anno 2021, en zo ja waarom? En zo nee, waarom niet, en welk scenario dan wel? (Deelvraag 4)*
- > *Mocht blijken dat een ander incidentscenario als maatgevend beschouwd zou moeten worden, zijn dan de betreffende veiligheidsvoorzieningen, middelen en prestatie-eisen nog passend? (Deelvraag 5)*

5.2 Resultaten van de groepssessie

De conclusie uit zowel de verkenning voorafgaand aan de sessie alsook uit de sessie zelf, is dat niet één scenario maatgevend is voor alle veiligheidseisen en repressieve maatregelen die getroffen zijn voor de Betuweroute. De basis voor de uitgangspunten van de werkgroep Betuweroute 1994 en de daaruit voortvloeiende set van maatregelen wordt namelijk gevormd door meerdere verschillende scenario's die kunnen optreden en de wijzen waarop deze bestreden moeten worden. Dat heeft een set aan veiligheidseisen en maatregelen opgeleverd, die gebaseerd zijn op meerdere scenario's van incidenten op de Betuweroute. De getroffen voorzieningen op de vrije baan van de Betuweroute zijn een samenhangend systeem dat de inzet van de brandweer in vele facetten en bij alle mogelijke scenario's, faciliteert.

De door de Werkgroep in 1994 beschouwde scenario's en ook die in deze groepssessie zijn besproken, zijn zogenaamde '(zeer) grote scenario's' (TIS-categorieën x.3 en x.4):

- 1) plasbrand benzine
- 2) warme BLEVE
- 3) toxische wolk, grote uitstroming
- 4) gaswolkexplosie
- 5) fakkel
- 6) toxische vloeistofplas
- 7) plas milieubelastende stof

Voor de bestrijding daarvan is, na melding, in eerste aanzet een pelotonsinzet. Daarmee hangen maatregelen samen. Die maatregelen zijn besproken in de groepssessie.

Het resultaat van de groepssessie is een plenair met ProRail en de veiligheidsregio samengestelde tabel (tabel 5.1). In deze tabel staan per maatregel (de linker kolom)

- a) het oordeel van de groep met een toelichting daarop (de middelste kolom) en
- b) het scenario/de scenario's dat/die ten grondslag ligt/liggen aan dit oordeel (de laatste kolom).

Tabel 5.1 Oordeel expertgroep ProRail en veiligheidsregio's over maatregelen

Maatregel	Oordeel expertgroep en onderbouwing	Betreft scenario
1) Afstand opstelplaats en plaats incident ≤ 100 m	Maximaal 100 m lopen in gaspak, slanglengtes, inzetdiepte, handelingen ter plekke aan ketelwagens. Oordeel: behouden	Alle scenario's, alsmede druppellekkages
2) Geluidsscherm: deuren iedere 100 m aan de primaire inzetzijde, slangdoorvoer nabij de deur	Afstand op basis van afstand tot incident. Bevorderen bereikbaarheid en inzetsnelheid (o.b.v. afstand) Oordeel: behouden Slangdoorvoer: Reden was waarschijnlijk ter voorkoming van blokkeren van doorgang en struikelen Oordeel: geen oordeel	Alle scenario's en druppellekkages
3) Talud- of brandtrap bij hoogteverschil >5 meter	Hoogte veilig en efficiënt overbruggen en om de bereikbaarheid en de inzetsnelheid te bevorderen Oordeel: behouden, ook nuttig voor bedrijfsvoering spoor	Alle scenario's ook voor reguliere werkzaamheden
4) Grootte opstelplaats/keerlus ≥ 225 m ²	Opstelplaats om een peloton goed te kunnen parkeren en positioneren/manoeuvreren. Oordeel: behouden Keerlus om mobiliteit van voertuigen van hulpdiensten te faciliteren. Iets kleinere draaicirkel: 10 meter buitenbochtstraal, 5,5 meter binnenbochtstraal (Brandweer Nederland, 2019, pg 47), daarnaast ook opstellen Oordeel: behouden	Alle scenario's
5) Bluswatervoorziening (sloot): 6000 l/min gedurende 4u, diep ≥ 70 cm (dompelpomp), afstand ≤ 160 m	T.b.v. koelen zijn een pelotonsinzet en 4 waterkanonnen nodig om spoorketelwagens volledig te kunnen koelen	Koelen ter voorkoming warme BLEVE Verdunnen explosieve wolk

	<p>1 straatwaterkanon heeft een capaciteit van 1200-2000 l/min.</p> <p>Ook bij vloeistofplas voor schuiminzet is veel water nodig</p> <p>Projectinzichten m.b.t. emplacementen: plasmogrootte mogelijk ook kleiner voor vrije spoor, (getest op emplacement voor instantane en continue uitstroming)</p> <p>Uitstroomproef op BR (Rosmuller, 2005): plasmogrootte mogelijk groter (getest op BR, 50m³ instantaan)</p> <p>De kern is: wat is nodig voor de bestrijding: hoe klein moet de vloeistofplas zijn om minder bluswater nodig te hebben? Een grotere plas 'brandt sneller af'.</p> <p>Oordeel: behouden</p>	<p>Verdunnen Toxische wolk</p> <p>Afdekken brandbare vloeistofplas i.c.m. SVM</p>
6) Bluswatervoorziening (droge/natte blusleiding): 6000 l/min gedurende 4u	<p>Is aanwezig, verder zelfde punten als bij punt 5).</p> <p>N.B.: Hoe moet worden omgegaan met deze eis? Nu wordt bv. bij een afwijking van de beschikbaarheid van 6000 l/min het treinverkeer stilgelegd. Hetzelfde zou gelden bij kleine storingen.</p> <p>Oordeel: behouden</p> <p>Opmerking: Bij niet voldoen aan een vergunning, gesprek aangaan met bevoegd gezag om een geïnformeerd en proportioneel besluit te nemen en in overleg tijdelijke maatregelen te treffen.</p>	Alle scenario's
7) Spoorvloeroverbrugging indien sloot tussen opstelplaats en incident	<p>Sloot veilig en efficiënt overbruggen</p> <p>Oordeel: behouden</p>	Alle scenario's
8) Binnen 30 minuten is het peloton inzetgereed (4 tankautospuiten)	<p>Dat betekent dat bereikbaarheid, opstelplek en paraatheid geregeld moet zijn. Dus infra, zie boven.</p> <p>Laten staan, inzet kan ook met 2 tankautospuiten bij een aantal scenario's (inzet volgens TIS-matrix). 30 minuten nog steeds noodzakelijk.</p> <p>Oordeel: behouden</p>	Alle scenario's
9) 25kV teams: brandweer kan spanning bovenleiding testen	<p>Geen wijzigingen</p> <p>Oordeel: behouden</p>	Alle scenario's
10) Plasverkleinende maatregelen ⁽¹⁾ :	<p>Brandweer: het is afhankelijk van het scenario of plasverkleinende maatregelen positief uitpakken.</p>	BLEVE

<p>spleten/gleuven onder geluidsscherm of verholen betongoten met afvoerbuizen</p>	<p>De brandweer heeft bij voorkeur geen spleten/gleuven onder het geluidsschermen: bij sommige scenario's, zoals toxische vloeistof houdt men liever de vloeistof binnen de geluidsschermen.</p> <p>Bij een plasbrand is het voordeel van spleten, dat ze de brand wegleden van het spoor, waardoor de kans op een BLEVE kleiner is. Echter, de brandbare stof kan hierbij in het bluswater terecht komen en ongecontroleerd zich verspreiden.</p> <p>ProRail: Gemeenten hebben veel vragen over gelijkwaardigheid van maatregelen, waaronder plasverkleinende maatregelen. ProRail spreekt daarover met RIVM in het kader van onderzoek ten behoeve van de maatregelencatalogus.</p> <p>Oordeel: geen oordeel</p>	
<p>11) Schuim binnen 30 minuten inzet, plas 600 m² kunnen blussen, 30 minuten lang schuim kunnen opbrengen</p>	<p>Schuiminzet brandweer (van de Ploeg, 2005): schuim binnen 15 min. aanwezig, 15 min. opbouw met 4000 liter schuimvormend middel. Er zijn zwaardere eisen aan schuim voor wegsenario's. NFPA-norm wordt gehanteerd.</p> <p>Oordeel: behouden</p>	<p>Plasbrand</p>

⁽¹⁾ De maatregelen zijn voorgesteld voor 7 locaties (zeer moeilijk binnen 30 minuten ontruikbaar) waar hoge geluidsschermen staan (bron: Reuvers, 2018)

Over de meeste maatregelen en de wenselijkheid ervan zijn ProRail en de veiligheidsregio's het eens, namelijk om deze te behouden. Enkele maatregelen (slangdoorvoer in de deuren en sleuven/gootjes onder het geluidsscherm is geen eensluidend oordeel gevormd).

5.3 Conclusies

De onderzoeksvragen 4 en 5 luiden:

- 4) *Is het warme BLEVE-scenario in de ogen van de veiligheidsregio's en ProRail nog het maatgevende scenario voor de Betuweroute anno 2021, en zo ja waarom? En zo nee, waarom niet, en welk scenario is dan wel maatgevend?*
- 5) *Mocht blijken dat een ander incidentscenario als maatgevend beschouwd zou moeten gaan worden, zijn dan de huidige veiligheidsvoorzieningen, middelen en prestatie-eisen nog passend?*

Het antwoord op de vierde onderzoeksvraag luidt dat er door de werkgroep Betuweroute 1994 geen sprake was van één maatgevend scenario. Meerdere scenario's hebben geleid tot een set aan eisen en voorzieningen voor de vrije baan van de Betuweroute. De eisen en voorzieningen die hieruit voortvloeiden lijken ook anno 2021 nog altijd legitiem, ook wanneer diverse ontwikkelingen uit de afgelopen jaren in de beschouwing worden meegenomen. Daarmee is de vijfde vraag beantwoord. De omvang van de scenario's in combinatie met het systeem van de brandweerinzet (incidentbestrijding) vormen over het geheel genomen de basis voor bovenstaande conclusie.

Het betreft de volgende eisen en maatregelen:

- > Afstand opstelplaats en plaats incident ≤ 100 m
- > Geluidsscherm: deuren iedere 100 m met slangdoorvoer
- > Talud- of brandtrap bij hoogteverschil > 5 meter
- > Grootte opstelplaats/keerlus ≥ 225 m²
- > Bluswatervoorziening (sloot): 6000 l/min, diep ≥ 70 cm (dompelpomp), afstand ≤ 160 m
- > Bluswatervoorziening (droge/natte blusleiding): 6000 l/min
- > Spoorvlootoverbrugging indien er een sloot is tussen opstelplaats en incident
- > Binnen 30 minuten is een peloton inzetgereed (4 tankautospuiten)
- > 25kV teams: de brandweer kan de spanning van de bovenleiding testen met speciale opgeleide teams en apparatuur
- > Schuim is beschikbaar binnen 30 minuten na alarmering inzetgereed, en voldoende om een plas(brand) van 600 m² te kunnen bestrijden gedurende 30 minuten.

Voor een tweetal maatregelen is op basis van het onderzoek 2019 nog geen oordeel geformuleerd over de noodzakelijkheid:

- > Geluidsscherm: slangdoorvoer nabij deur
- > Plasverkleinende maatregelen: spleten/gleuven onder geluidsschermen.

6 ‘Maatgevend scenario’ Betuweroute anno 2021

6.1 Inleiding

Het VMO Spoor heeft het IFV in oktober 2020 gevraagd om een verdiepend onderzoek te doen op basis van een eerdere IFV-rapportage ‘Maatgevend Scenario Spoor Betuweroute’ van 23 oktober 2019. Aanleiding was een verschil van mening tussen ProRail en de veiligheidsregio’s over een aantal uitkomsten van het IFV-rapport waarover toen nog geen oordeel werd geveld. Tevens kwamen enkele actualiteiten (BLEVE-vrij rijden, emplacementenproject, en tijdelijke niet beschikbaarheid van repressieve voorzieningen) in beeld waarover het VMO spoor een (veiligheids)oordeel wenst. Hieronder wordt hierover uitsluitsel gegeven. Het gaat hierbij om de volgende onderzoeksvragen c.q. discussiepunten:

1. *Wat is de invloed van BLEVE-vrij rijden op de repressieve voorzieningen op de Betuweroute?*
2. *Wat betekenen de resultaten van het emplacementenproject⁴ voor de bestrijding van incidenten op de vrije baan van de Betuweroute?*
3. *Zijn plasverkleinende maatregelen zoals sleuven en gootjes wenselijk om de gevolgen van incidenten te beperken?*
4. *Zijn de slangdoorvoeren naast de vluchtdeuren in de geluidsschermen van de Betuweroute een “nice to have” of een “need to have”*
5. *In hoeverre zijn de maximale loopafstanden met gaspak (100 m.) nog passend gegeven de ontwikkelingen?*
6. *Hoe moet worden omgegaan met een tijdelijke niet-beschikbaarheid van repressieve voorzieningen?*

Werkwijze

In twee aparte digitale interviewrondes, een ronde met vertegenwoordigers van veiligheidsregio’s en een ProRail zijn de vragen/discussiepunten besproken. De resultaten zijn samengevat in een tabel 6.1. Op basis van deze resultaten is een digitale plenaire sessie gehouden met alle vertegenwoordigers van ProRail en de veiligheidsregio’s bij elkaar. Hierin zijn de resultaten besproken.

⁴ Het emplacementenproject staat voor een meerjarig programma (2014-2018) waarin veiligheidsaspecten van het vervoer en rangeren van gevaarlijke stoffen op spooremplacementen zijn uitgediept, alsmede gekeken is naar de incidentbestrijdings(on)mogelijkheden.

6.2 Resultaten interviewrondes

De resultaten van beide interviewrondes zijn samengevat in tabel 6.1. Per discussiepunt (meest-linker kolom in tabel 6.1) is het oordeel van ProRail (middelste kolom) en het oordeel van de veiligheidsregio's (meest-rechter kolom) samengevat.

Tabel 6.1 Resultaten interviewrondes

Discussiepunten / stellingen	Oordeel ProRail	Oordeel VR's
1. Warme BLEVE-vrij rijden	De bij de start overeengekomen aanvullende maatregelen die gericht zijn op snelle afvoer vd vloeistofplas (sleuven onder geluidsscherm) hebben aan belang verloren, doordat de <u>kans</u> op warme BLEVE <u>kleiner</u> is geworden door BLEVE-vrij rijden op de Betuweroute.	BLEVE-vrij rijden is geen garantie voor de Betuweroute; voor de <u>incidentbestrijding</u> heeft het <u>weinig</u> effect.
2. Resultaten emplacementenproject Resultaat 1: Bestrijding is gericht op afdekken vd plas	Bij een plas is het verstandig om <u>schuim</u> te gebruiken. Dan is minder water nodig dan bij een koelstrategie.	Extrapoleren van de resultaten van het emplacementenproject naar de vrije baan is moeilijk vanwege de verschillen in ontwerp/uitvoering: <ul style="list-style-type: none"> - vrije baan heeft spoorloten - vrije baan heeft wel (een beperkt) ballastbed, echter stroomt i.t.t. emplacementen de gelekte vloeistof ook uit buiten het ballastbed waar dan wel een grote plas kan ontstaan; - sommige emplacementen zijn goed bereikbaar / vrije baan vaak niet. - Er is voor bestrijding van een plasbrand nog altijd veel water en veel <u>schuim</u> nodig, maar minder indien voor 'schuimen' als inzetstrategie gekozen wordt i.p.v. koelen. Vergelijking met emplacementen levert geen aanpassing in huidige voorzieningen op.
Resultaat 2: Toxisch gas is buiten beschouwing gelaten	Toxisch gas scenario <u>niet</u> meenemen in de preparatie op de Betuweroute of emplacementen: de inzet van de brandweer bij een toxisch gas is niet effectief.	Toxische gasontsnapping <u>wel</u> meenemen voor Betuweroute.
Resultaat 3: Fakkelflam is niet bestrijdbaar	Fakkelflam is <u>niet</u> bestrijdbaar.	Fakkelflam <u>nauwelijks</u> te bestrijden; goede verkenning nodig om eventuele inzet te doen (koeling).
Resultaat 4: Koude BLEVE en toxische gas zijn niet verder beschouwd voor voorzieningen en maatregelen	Beide scenario's <u>niet</u> meenemen op de Betuweroute.	Scenario 'toxisch gas' <u>wel</u> meenemen voor bepaling van de maatregelen.
3. Plasverkleinende maatregelen: sleuven/gootjes	Sleuven/gootjes zijn <u>nadelig</u> voor de incidentbestrijding.	Gebruik van sleuven en afvoergootjes bij geluidsschermen is <u>niet wenselijk</u> .
4. Slangdoorvoeren nabij vluchtdeuren	Nut van slangdoorvoeren wordt betwijfeld. ProRail ziet dit als een <u>nice to have</u> dat niet standaard bij deuren in nieuw te realiseren geluidsschermen langs sporen op het Basisnet hoeft te worden toegepast.	"Need to have"; wel goed beheeren door ProRail.
5. Loopafstanden (met gaspak) maximaal 100m	Uitgangspunt van maximaal 100m is begrijpelijk, maar voor de BR <u>niet strikt noodzakelijk</u> . ProRail ziet het als een nice to have dat niet standaard bij nieuw te realiseren geluidsschermen langs sporen op het Basisnet hoeft te worden toegepast.	Maximaal 100m loopafstand voor gaspakkeninzet is <u>goed uitgangspunt</u> . In stand houden.

Discussiepunten / stellingen	Oordeel ProRail	Oordeel VR's
6. Tijdelijk niet-beschikbare repressieve voorzieningen	In geval van tijdelijke uitval van repressieve voorzieningen kunnen goede <u>procesafspraken</u> , gemaakt in de koude situatie, voor beide partijen leiden tot uitwisseling van mogelijkheden en argumenten, en daarmee tot acceptabele alternatieve maatregelen of acceptatie van het restrisico.	<ul style="list-style-type: none"> - Brandweer (VR) wil <u>niet overvallen/verrast</u> worden, wil wel in gesprek gaan over gelijkwaardige maatregelen. - Verantwoordelijkheid voor beschikbaarheid voorzieningen ligt bij ProRail. Mogelijk onderwerp bespreken via SO Spoor (werkgroep IB).
7. Algemene opmerkingen		We moeten uitgaan van een integraal systeem van maatregelen. Dit vanwege de verschillende incidentbestrijdingstactieken als gevolg van meerdere incidentscenario's met de eigen specifieke effecten.

6.3 Resultaten plenaire sessie

Tijdens de plenaire sessie met ProRail en de veiligheidsregio's zijn de resultaten zoals verwoord in tabel 6.1 besproken, en dan met name de verschilpunten. Het resultaat van de bespreking is hieronder per onderzoeksvraag verwoord. De resultaten worden voor het merendeel door zowel ProRail als de veiligheidsregio's gesteund (beide zijn het eens). Op sommige onderdelen zijn zij het niet eens, en is het gevelde oordeel die van de onderzoekers.

1. Wat is de invloed van BLEVE-vrij rijden op de repressieve voorzieningen op de Betuweroute?

Ga uit van een kleinere kans op het scenario 'warme BLEVE' door BLEVE-vrij rijden op de Betuweroute, maar kans is niet nul. Derhalve rekening met het scenario warme BLEVE houden bij de voorbereiding op de incidentbestrijding en de repressieve voorzieningen.

2. Wat betekenen de resultaten van het emplacementenproject voor de bestrijding van incidenten (een warme BLEVE en plasbrand) op de vrije baan van de Betuweroute?

Resultaat 1: Bestrijding is gericht op afdekken van de plas

ProRail en veiligheidsregio's zijn het er over eens dat bij een plasbrand de inzet gericht is op met schuim i.p.v. (voorheen) koelen met water. Voor het afdekken met schuim is in de handreiking⁵ 'bluswatervoorziening en bereikbaarheid 2019' (Brandweer Nederland, 2020, pg 76) een uitwerking van de hoeveelheid bluswater gegeven (pg 76): 6000 liter per minuut, gedurende 60 minuten. Hiervoor is dan 11.340 liter schuimvormendmiddel (SVM) nodig (uitgaan van een plasoppervlakte van 600m², schuimopbrengst van 7l/min/m², 3% bijmenging en reservefactor van 1,5).

⁵ <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20200117-BRWNL-Handreiking-Bluswatervoorziening-en-Bereikbaarheid-2019.pdf>

Resultaat 2: Toxisch gas is buiten beschouwing gelaten

ProRail en veiligheidsregio's zijn het eens dat het scenario 'toxisch gas' niet gangbaar is en wat betreft de Betuweroute niet bruikbaar voor scenario's druppellekkages of instantaan falen. Voor toxisch gas is wel het 'tussenscenario' 'lekkage/continue uitstroming' mogelijk. Voor het beheersen van de toxische wolk, scenario continue uitstroming uit een gat met een diameter van 75mm is 3000 liter water per minuut nodig, gedurende 60 minuten (Brandweer Nederland, 2020, pg 79).

Resultaat 3: Fakkelfbrand is niet bestrijdbaar

ProRail en de veiligheidsregio's zijn het eens dat een fakkelfbrand niet te bestrijden is. Er is geen offensieve inzet nodig van de hulpdiensten.

Resultaat 4: Koude BLEVE en toxische gas zijn niet verder beschouwd voor voorzieningen en maatregelen

ProRail en de veiligheidsregio's zijn het eens dat koude BLEVE niet te bestrijden is. Voor de uitwerking van repressieve voorzieningen als gevolg van het scenario 'toxisch gas uitstroming', zie hierboven bij resultaat 2 van het emplacementenproject.

3. Zijn plasverkleinende maatregelen als sleuven / gootjes wenselijk om de gevolgen van incidenten te beperken?

Nee, partijen zijn het eens over de nadelige invloed van sleuven / gootjes onder de geluidsschermen.

4. Zijn de slangdoorvoeren naast de vluchtdeuren een “nice to have” of een “need to have”?

ProRail en de veiligheidsregio's zijn het niet eens over noodzakelijkheid. Veiligheidsregio's verschillen ook onderling over de noodzakelijkheid van de slangdoorvoeren. Ons eigen oordeel is dat slangdoorvoeren op de Betuweroute niet cruciaal is voor de incidentbestrijding. Ze zijn wat ons betreft een 'nice to have'. De slangdoorvoeren zijn uniek voor de Betuweroute, maar zijn volgens de geïnterviewden in brondocumenten over repressieve voorzieningen van de Betuweroute niet terug te vinden.

5. In hoeverre zijn de maximale loopafstanden met gaspak (100m.) nog passend gegeven de ontwikkelingen?

De afstand van 100m is een breed geaccepteerde afstand opdat een gaspakkeninzet nog uitvoerbaar is. Tevens draagt deze eis bij aan de uitvoerbaarheid van meer inzetscenario's.

6. Hoe moet worden omgegaan met een tijdelijke niet-beschikbaarheid van repressieve voorzieningen?

Partijen zijn het eens om goede afspraken te maken over situaties van tijdelijke niet-beschikbare repressieve voorzieningen. De oorzaak kan zowel bij ProRail als bij de brandweer liggen. Kijk met elkaar naar de relevantie van de niet-beschikbare voorziening en wat hiervan de consequenties zijn, en mogelijke alternatieven.

7 Conclusie en eindadvies

7.1 Conclusie

De hoofdconclusie uit zowel het IFV-onderzoek van 2019 als 2021 is dat er niet één scenario is dat maatgevend is voor alle veiligheidseisen en -maatregelen die getroffen zijn voor de Betuweroute. De basis voor de uitgangspunten van de werkgroep Betuweroute 1994 en de daaruit voortvloeiende set van maatregelen wordt namelijk gevormd door verschillende incidentscenario's die kunnen optreden op de vrije baan van de Betuweroute en de manieren waarop deze te bestrijden zijn. De getroffen voorzieningen op de vrije baan van de Betuweroute zijn een samenhangend systeem dat de inzet van de brandweer in vele facetten en bij alle mogelijke scenario's, faciliteert. Dit gold in 1994, 2019 en anno 2021 nog steeds.

7.2 Advies IFV

Op basis van het onderzoek 2019 en 2021 adviseert het IFV aan het VMO Spoor om de conclusies van het onderzoek 2019 en 2021 over te nemen. Daarbij adviseert het IFV om de integraliteit van het voorzieningenpakket te accepteren en uit te gaan van een samenstel van scenario's dat daaraan ten grondslag ligt.

Wat betreft de onderzoeksvragen en discussiepunten die in het vervolgonderzoek 2021 naar voren kwamen adviseert het IFV het hiernavolgende.

1. Wat is de invloed van BLEVE-vrij rijden?

Ga uit van een geringe(re) kans op het warme BLEVE-scenario op de Betuweroute, maar kans erop bestaat nog steeds. De geringe(re) kans heeft geen invloed op het geheel aan maatregelen, omdat die uitgaat van een samenhang van de verschillende incidentscenario's. Integraliteit van de incidentscenario's is het uitgangspunt voor de repressieve maatregelen op de Betuweroute.

2. Wat betekenen de resultaten van het emplacementsproject voor de bestrijding van een warme BLEVE en plasbrand op het vrije spoor?

Resultaat 1: Bestrijding is gericht op afdekken van de plas

ProRail en Veiligheidsregio's bespreken of ze het eens zijn over de uitwerking en het resultaat van de bluswaterhoeveelheid in de handreiking van Brandweer Nederland (2020): 6000 liter per minuut, gedurende 60 minuten en de benodigde hoeveelheid SVM bedraagt 11.340 liter.

Resultaat 2: Toxisch gas is buiten beschouwing gelaten

ProRail en Veiligheidsregio's bespreken of ze het eens zijn over de uitwerking en het resultaat van de bluswaterhoeveelheid in de handreiking van Brandweer Nederland (2020): 3000 liter per minuut, gedurende 60 minuten.

Resultaat 3: Fakkelfbrand is niet bestrijdbaar

Neem het scenario 'fakkelfbrand' niet mee bij de beoordeling van repressieve maatregelen behorende bij de Betuweroute. Laat de incidentbestrijdingstactiek (namelijk 'geen offensieve bron-inzet') bij dit scenario accorderen in het VMO Spoor.

Geef wel aan wat aan effectbestrijding gedaan kan worden zoals de omgeving afzetten en het informeren omwonenden.

Resultaat 4: Koude BLEVE en toxische gas zijn niet verder beschouwd voor voorzieningen en maatregelen

Neem het scenario koude BLEVE niet mee bij de beoordeling van Betuweroute-repressieve maatregelen. Laat de incidentbestrijdingstactiek (namelijk geen offensieve inzet') bij dit scenario accorderen in het VMO Spoor. Geef wel aan wat aan omgevingsmanagement gedaan kan worden zoals de omgeving afzetten en het informeren omwonenden. Voor de uitwerking van repressieve voorzieningen als gevolg van het scenario 'toxisch gas uitstroming', zie hierboven bij resultaat 2 van het emplacementenproject.

3. Zijn plasverkleinende maatregelen zoals sleuven / gootjes wenselijk om de gevolgen van incidenten te beperken?

Breng geen sleuven en gootjes onder geluidsschermen aan als plasverkleinende maatregelen.

4. Zijn de slangdoorvoeren naast de vluchtdeuren een "nice to have" of een "need to have"?

Beschouw de slangdoorvoeren bij vluchtdeuren als 'nice to have'; ze hebben weinig invloed op de repressieve inzet (niet elke veiligheidsregio gebruikt ze, en er worden alternatieven gebruikt). De slangdoorvoeren zijn daarentegen wel onderhoudsintensief. Het IFV adviseert deze maatregel als eis te schrappen.

5. Wat is de invloed van de maximale loopafstanden met gaspak?

Blijf de loopafstand van maximaal 100 m aanhouden.

6. Hoe gaan we om met een tijdelijke niet-beschikbaarheid van repressieve voorzieningen?

Maak in het SO Spoor goede afspraken over (tijdelijk) niet-beschikbare repressieve voorzieningen met betrekking tot de Betuweroute van ProRail en de veiligheidsregio's. Hierbij valt te denken aan een analyse van de onbeschikbaarheid van een repressieve maatregel: a) de tijdsduur en b) ingrijpendheid van de onbeschikbaarheid op de veiligheid, alsmede c) de mogelijke compenserende maatregelen. Daarnaast zal een proces met elkaar uitgewerkt kunnen worden over hoe hier met elkaar mee om te gaan, hoe tot een afweging te komen en uiteindelijk tot het te nemen besluit.

7. Algemene opmerkingen

Wat betreft samenwerking tussen ProRail en de veiligheidsregio's in brede zin:

Dankzij de ondertekening van de 'Samenwerkingsafspraken' in 2020 is er verbeterde samenwerking tussen ProRail, veiligheidsregio's en politie. Partijen hoeven daardoor in-the-heat-of-the-moment niet meer tegenover elkaar te staan, maar kunnen (en dat gebeurt ook) die verbeterde samenwerking benutten om in minder spannende tijden met elkaar in gesprek te gaan over veiligheidskwesties.

Bronnen

Brandweer Nederland. (2020). *Handreiking bluswatervoorziening en bereikbaarheid 2019*. Arnhem: Brandweer Nederland. <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20200117-BRWNL-Handreiking-Bluswatervoorziening-en-Bereikbaarheid-2019.pdf>

Ploeg, van der, E. (2005). *Schuiminzet Betuweroute*. Railplan.

Duyvis, M.G., Molag, M., Schreurs, H. en Arentsen, D. (2007). *Invloed van geluidsschermen op de externe veiligheid en het optreden van de hulpverleningsdiensten bij treinincidenten op de Betuweroute*. Arnhem: NIFV.

Encyclo.nl, 2019. Geraadpleegd in augustus 2019.

ERTMS.nl, geraadpleegd in oktober 2019.

Groene Boekje. (1997). *Beveiligingsconcept spoorwegtunnels uitsluitend bestemd voor goederenvervoer*. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Directie Brandweer en Rampenbestrijding. September 1997.

Handreiking Verantwoording Groepsrisico. 2007. *Handreiking Verantwoording groepsrisico*, VROM, BZK, IPO, versie 1.0, nov. 2007.

Nibra (2003). *Toetsing repressieve prestatie-eisen Betuweroute*.

Reinders, J. (2014). *Plasvorming door vloeistofuitstroming in een ballastbed*. Utrecht: TNO.

Reuvers, J. (2018). *Plasbrand-verkleinende maatregelen Betuweroute*. Concept memo van J. Reuvers aan SO-spoor. 1 augustus 2018.

RIVM. (2019). *Stappenplan bepalen explosieaandachtsgebieden*. <https://omgevingsveiligheid.rivm.nl/>, geraadpleegd op 1 oktober 2019.

Rosmuller, N. (2005). *Praktijkproeven Betuweroute: Instantane uitstroming en koeling*. Arnhem: NIBRA.

Rosmuller, N. (2009). *Instantaneous liquid release from a rail tanker: The influence of noise shields on pool shape and pool size*. Journal of Hazardous Materials, 164 (2–3), 695–699. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.061>.

Rosmuller, N., Oberijé, N., en Roscam Abbing, M. (2003). *Toetsing repressieve prestatie-eisen Betuweroute, hoofddocument*. Arnhem: NIBRA.

Werkgroep Betuweroute regionale brandweren. (1994). *Eindverslag, augustus 1994*.

Deelnemers interviews, groepssessie en plenaire sessie

Boeree, 2019	Interview met Reinier Boeree, voormalig IFV dd. 8 augustus 2019
Smit, 2019	Interview met Richard Smit, VGGM, dd. 9 september 2019
ProRail, 2019	Interview met Wim de Visser, Roel Amesz en Mylene Malipaard, dd. 10 september 2019
Groepssessie 2019	Groepssessie herijking maatgevend scenario, dd. 21 oktober 2019, Deelnemers: Richard Smit (VGGM) Jos Dresen (VRGZ) Herman Belonje (VRR) Mirjam Kroonen (VRR) Eric van Maanen (VRR) Roel Amesz (ProRail) Jack Konings (ProRail) Wim de Visser (ProRail) Jan Jacobs (voorzitter IBGS) Nils Rosmuller (IFV) Inge Trijssenaar (IFV)

Interviewronde IFV-veiligheidsregio's op 11 februari 2021, deelnemers:

Jos Dresen (VRGZ)
Arie van den Berg (VRR)
Richard Smit (VGGM)
Herman Belonje (VRR)
Eelco van Bijsteren (VRZHZ)
Nils Rosmuller (IFV)
Hans Spobeck (IFV)

Interviewronde IFV-ProRail op 25 februari 2021, deelnemers:

Wim de Visser (ProRail)
Roel Amesz (ProRail)
Wopke Botjes (ProRail)
Nils Rosmuller (IFV)
Hans Spobeck (IFV)

Plenaire sessie IFV-veiligheidsregio's-ProRail op 15 april 2021, deelnemers:

Jos Dresen (VRGZ)
Arie van den Berg (VRR)
Richard Smit (VGGM)
Wim de Visser (ProRail)
Roel Amesz (ProRail)
Wopke Botjes (ProRail)
Nils Rosmuller (IFV)
Hans Spobeck (IFV)