



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Actualisatie van de rekenmethode risico's van rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen op **spoorwegemplacements**

Actualisatie van de rekenmethode risico's van rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen op spoorwegemplacements

RIVM-rapport 2024-0013

Colofon

© RIVM 2025

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2024-0013

N.J.J.M. Smets (auteur), RIVM
P.G.J. Timmers (auteur), RIVM
P.A.M. Uijt de Haag (auteur), RIVM

Contact:
Nanja Smets
Milieu en Veiligheid, Centrum Veiligheid
omgevingsveiligheid@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van
Infrastructuur en Waterstaat in het kader van project I/123003/25/AV

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Actualisatie van de rekenmethode risico's van rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen op spoorwegemplacements

Het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor kan risico's hebben voor de omgeving. Bij een ongeval kan er bijvoorbeeld een brand of ontploffing ontstaan. Er bestaan twee aparte rekenmethoden om deze risico's in kaart te brengen: één voor doorgaand vervoer van treinen en één voor rangeerhandelingen op een emplacement. Bij rangeerhandelingen wordt een trein bijvoorbeeld gesplitst of moet hij langere tijd wachten op het emplacement (een locatie waar handelingen mogelijk zijn).

De rekenmethode voor rangeerhandelingen op emplacementen gebruikt nog gegevens van onderzoek uit 1995. Sindsdien zijn verschillende maatregelen genomen om de veiligheid te verbeteren of bestaande maatregelen zijn verbeterd. Het RIVM doet nu een voorstel om de rekenmethode op basis van nieuwere inzichten en cijfers te actualiseren. Het RIVM beveelt gebruikers, zoals veiligheidsregio's en gemeenten, aan om risico's met de aangepaste methoden te berekenen.

De rekenmethode voor rangeerhandelingen sloot bijvoorbeeld niet meer aan bij de rekenmethode voor doorgaand vervoer. Deze was in 2019 al geactualiseerd. Daardoor waren bepaalde handelingen die eerst onder rangeerhandelingen vielen, zoals aankomst en vertrek, bij doorgaand vervoer gaan horen. Zonder de aanpassing worden deze handelingen ook nog bij de rangeerhandelingen berekend.

Verder blijkt het mogelijk de rekenmethode voor rangeerhandelingen eenvoudiger te maken. Het RIVM heeft hiervoor gekeken naar nieuwere data over ongevallen en naar wetenschappelijke literatuur over mogelijke scenario's voor ongevallen.

Kernwoorden: externe veiligheid, ongevallen, faalkansen, BLEVE, rekenmethode rangeerhandeling, emplacement, spoorwegen, spoor, vervoer gevaarlijke stoffen

Synopsis

Update for calculating risks of activities involving hazardous substances on shunting yards

Transporting hazardous substances by rail can entail risks to the environment. For example, an accident can cause a fire or explosion. There are two separate methods to model the risks involved: one for transport by rail and one for shunting in a yard. Shunting includes separating trains or stabling them in a yard (a location that facilitates shunting activities) for a longer period of time.

The risk calculation method for shunting in yards still uses data from a 1995 study. Since then several safety measures have been introduced or improved. RIVM has now submitted a proposal for an update to the calculation method, based on more recent insights and data. RIVM recommends that users such as safety region and municipalities model risks using the amended method.

The calculation method for shunting was no longer in line with the calculation method for transport by rail. The latter had already been updated in 2019, incorporating certain activities originally included in the shunting model – such as arrival and departure – into the transport model. Unless the shunting model is updated as well, these activities are also still considered shunting.

In addition, it has proven possible to simplify the calculation method for shunting. This follows an RIVM review of more recent data on accidents and of the scientific literature on possible accident scenarios.

Keywords: external safety, accidents, probabilities of failure, BLEVE, calculation method for shunting, yard, railways, rail, transport of hazardous substances, dangerous goods

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

2 Actualisatie van de rekenmethode — 13

- 2.1 Systeembeschrijving — 13
- 2.2 Verbeterpunten rekenmethode 2021 — 13
- 2.3 Casuïstiek — 14
- 2.4 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement — 14
- 2.5 Bepaling kans op een groot ongeval — 14
- 2.6 Warme BLEVE — 15
- 2.7 Vergelijking kans op een groot ongeval met de rekenmethode 2021 — 15
- 2.8 Rekenmodel risico's rangeerhandelingen op spoorwegemplacementen — 15
- 2.9 Beoordeling van de rekenmethode — 15

3 Systeembeschrijving — 17

- 3.1 Type spoor — 17
- 3.2 Type spoorwegemplacementen — 19
- 3.3 Type ketelwagen en stofklasse — 20

4 Casuïstiek — 23

- 4.1 Selectie — 23
 - 4.1.1 Keuze type ongevallen — 23
 - 4.1.2 Keuze van onderzoeksperiode en -gebied — 24
- 4.2 Inventarisatie grote ongevallen — 25
 - 4.2.1 Nederlandse data — 25
 - 4.2.2 Europese data — 27
- 4.3 Samenvatting casuïstiek — 32

5 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement — 33

- 5.1 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement in Nederland — 33
- 5.2 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement in Frankrijk — 34
- 5.3 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement RID-Europa — 34

6 Kans op een groot ongeval — 37

- 6.1 Kans op een groot ongeval op een spoorwegemplacement — 37
- 6.2 Vergelijking kans op een groot ongeval met rekenmethode 2021 — 38
 - 6.2.1 Kans op een groot ongeval met rekenmethode 2021 — 38
 - 6.2.2 Vergelijking met de kans op basis van casuïstiek — 41
- 6.3 Onzekerheden — 42

7 Invloed van het ballastbed — 43

- 7.1 Plasvorming en brandvermogen op het ballastbed — 43
 - 7.1.1 1989: Plasmagrootte bij uitstroming op spoorwegemplacementen (SAVE) — 43
 - 7.1.2 1998: Vloeistofafvoer door ballastbed (WL Delft Hydraulics) — 44
 - 7.1.3 2005: Praktijkproeven Betuweroute (Nibra) — 44
 - 7.1.4 2009: Scenario plasbrand Rotterdam Centraal (Arcadis) — 45

7.1.5	2012: Brandgedrag van vloeistoffen in een ballastbed (Efectis Nederland B.V.) — 45
7.1.6	2013: Uitstroomprouven ETT/OCI en Euromax Maasvlakte (SAVE) — 45
7.1.7	2014: Plasvorming door vloeistofuitstroming in een ballastbed (TNO) — 46
7.1.8	2023: Onderzoek warme BLEVE spoorvervoer; Analyse maatregelen (Antea Group) — 46
7.2	Warme BLEVE op een ballastbed — 47
7.2.1	Warme BLEVE en casuïstiek — 47
7.2.2	Onderzoeken ballastbed — 48
7.2.3	Maatregelen waarmee een warme BLEVE wordt voorkomen en beperkt — 50
7.2.4	Conclusie warme BLEVE — 50
7.3	Het scenario plasbrand op een ballastbed — 51
7.4	Het ballastbed en giftige vloeistoffen — 52

8 Resultaten en consequenties — 53

8.1	Resultaten van dit onderzoek — 53
8.2	Consequentieonderzoek kans op een groot ongeval — 54

9 Conclusies en aanbevelingen — 57

Dankbetuiging — 59

Literatuur — 61

Verklarende woordenlijst en afkortingen — 63

Bijlage 1 Beoordeling van dit onderzoek — 65

Bijlage 2 Overzicht van typen spoorwegemplacements — 68

Bijlage 3 Overzicht van de ongevallen — 70

Bijlage 4 Aanvullende ongevalsanalyse — 76

Bijlage 5 Analyse ongevallen buiten selectieperiode uit notitie SAVE — 83

Bijlage 6 Berekening totale faalkans per spoorketelwagen per type spoorwegemplacement voor de situatie met ATB-vv volgens de rekenmethode 2021 — 85

Bijlage 7 Consequentieonderzoek — 88

Bijlage 8 Correctie rekenmethode doorgaand vervoer — 89

Bijlage 9 Beschouwing faalkansen emplacements met heuvel — 94

Bijlage 10 Actuele rekenmethode — 97

Samenvatting

Het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor leidt tot risico's voor de omgeving. Om deze risico's goed en eenduidig in kaart te brengen, zijn rekenmethoden ontwikkeld. De risico's van het spoor gaan over het doorgaande vervoer en de rangeerhandelingen. Doorgaand vervoer en rangeerhandelingen kunnen op alle sporen van een emplacement plaatsvinden. Voor beide activiteiten zijn aparte rekenmethoden ontwikkeld.

De rekenmethode voor rangeerhandelingen uit 2021 (1) beschrijft de huidige werkwijze. De ongevalskansen, scenario's en uitgangspunten die daarin gehanteerd worden, zijn nog gebaseerd op onderzoek uit 1995 (2). Daarnaast zijn er sinds die tijd diverse veiligheidsmaatregelen geïntroduceerd dan wel verbeterd, zoals crashbuffers en ontsporingsgeleiding. RIVM heeft onderzocht of de rekenmethode voor rangeerhandelingen op een emplacement zonder heuvel kan worden geactualiseerd op basis van recentere inzichten en ongevalsdata. Om een integrale aanpak te hebben met het berekenen van risico's voor doorgaand vervoer, wordt dezelfde methode gehanteerd: een inventarisatie van grote ongevallen in RID (regelgeving voor internationaal vervoer van gevaarlijke stoffen) Europa in een representatieve tijdsperiode. Op deze manier is ook een integrale risicoafweging te maken op een emplacement, waar zowel doorgaand vervoer als rangeerhandelingen plaatsvinden.

Uit de analyse van ongevallen bleek dat er, buiten heuvelen, geen grote ongevallen plaats hebben gevonden op emplacementen in de tijdsperiode 2005 tot 2017. Met een statistische analyse is een onder- en een bovengrens bepaald voor de kans op een groot ongeval. De ondergrens is 0, omdat er in de geselecteerde tijdsperiode geen relevante incidenten plaatsvonden. De bovengrens hangt af van het aantal ketelwagens dat een emplacement bezoekt en de gekozen betrouwbaarheid (95%). De faalkansen volgens de rekenmethode 2021 vallen binnen dit betrouwbaarheidsinterval. Dat betekent dat de huidige faalkansen niet aantoonbaar te hoog of te laag zijn. Met 0 ongevallen kan ook geen preciezere waarde worden vastgesteld. Daarom wordt voorgesteld om de huidige faalkansen te handhaven. Op basis van de casuïstiek schatten we de onzekerheid in de kans op een groot ongeval in op een factor 10.

In de rekenmethode voor rangeerhandelingen uit 2021 zijn ook plasbranden opgenomen en een warme BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) als domino-effect. Uit meerdere onderzoeken is naar voren gekomen dat de ondergrond van een emplacement (het ballastbed) ervoor zorgt dat brandbare vloeistof snel wegstroomt. Daarom zal er geen noemenswaardige plasbrand plaatsvinden en wordt de kans op een BLEVE verwaarloosbaar klein geacht.

De activiteit heuvelen viel buiten deze onderzoekscope, omdat heuvelen in Nederland maar op één emplacement (Kijfhoek) wordt toegepast. Er zijn in het onderzoek wel incidenten tijdens heuvelen in beeld gekomen.

De informatie hierover kan bij de actualisatie van de QRA voor emplacement Kijfhoek worden gebruikt.

Met de onderzoeksresultaten is het rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid (3) gevalideerd met recentere representatieve gegevens. Dit heeft geleid tot een vereenvoudiging van de rekenmethode, op basis van casuïstiek, literatuur, onderzoeken en jurisprudentie. Het RIVM beveelt aan om de risico's van rangeerhandelingen van gevaarlijke stoffen op spoorwegemplacements te berekenen volgens de nieuwe geactualiseerde rekenmethode.

1 Inleiding

Spoorwegemplacements zijn een begreemd deel van de spoorinfrastructuur waar, naast eventuele andere activiteiten (bijvoorbeeld doorgaand vervoer, reinigen reizigersmaterieel), rangeerhandelingen worden verricht aan reizigers- en/of goederentreinen. Onder rangeerhandelingen verstaan we activiteiten waarbij de samenstelling van de trein verandert, inclusief overstand (het voor langere tijd wachten van rangeerdelen op het emplacement). Voor omgevingsveiligheid zijn de spoorwegemplacements van belang waar rangeerhandelingen worden verricht aan goederentreinen met gevaarlijke stoffen.

Het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor leidt tot risico's voor de omgeving. Om deze risico's goed en eenduidig in kaart te brengen, zijn rekenmethoden ontwikkeld. De risico's van het spoor betreffen het doorgaande vervoer en de rangeerhandelingen. Doorgaand vervoer en rangeerhandelingen kunnen op alle sporen van een emplacement plaatsvinden. Voor beide activiteiten zijn aparte rekenmethoden ontwikkeld.

De rekenmethode voor rangeerhandelingen uit 2021 (1) beschrijft de huidige werkwijze. Deze is één op één overgenomen in module II van het rekenvoorschrift omgevingsveiligheid (3). De ongevalskansen, scenario's en uitgangspunten die daarin gehanteerd worden, zijn nog gebaseerd op onderzoek uit 1995 (2). Die cijfers zijn gedateerd. Ook de methodiek die gebruikt is om ze af te leiden, past niet meer binnen de wijze van afleiden, zoals beschreven in het protocol voor aanpassing van rekenmethodieken van 2012 (4). Een actualisatie van de rekenmethode is daarom gewenst. De rekenmethode voor het doorgaand vervoer is al eerder geactualiseerd (5). Doel van dit onderzoek is een actualisatie van de rekenmethode voor rangeerhandelingen op spoorwegemplacements zodanig dat, in de toekomst, een integrale risicoafweging mogelijk wordt voor rangeeractiviteiten en doorgaand vervoer op emplacementen. Het RIVM heeft daarom onderzocht of er nieuwe gegevens beschikbaar zijn om te komen tot een actualisatie van de rekenmethode voor spoorwegemplacements.

2 Actualisatie van de rekenmethode

Voor het berekenen van de externe-veiligheidsrisico's (hierna: risico's) van het doorgaand vervoer van gevaarlijke stoffen over spoor wordt voor een bepaald spoortraject de vervoersprestatie (wagen.km/jaar) vermenigvuldigd met de kans op een groot ongeval (per wagen.km). Een groot ongeval wordt gedefinieerd als een ongeval met een EV-relevante uitstroming van een gevaarlijke stof, oftewel een uitstroming die levensbedreigend kan zijn buiten de spoorinfrastructuur. Dit betreft een grote uitstroming van giftige gassen/vloeistoffen en grote uitstromingen van brandbare gassen/vloeistoffen met ontsteking. In de aanpak voor doorgaand vervoer is deze kans op een groot ongeval bepaald door een inventarisatie van de EV-relevante ongevallen die in een bepaald tijdsbestek en een bepaald gebied hebben plaatsgevonden.

Voor deze actualisatie van de 'kans op een groot ongeval bij rangeerhandelingen op spoorwegemplacements' wordt aangesloten bij de aanpak voor doorgaand vervoer. De actualisatie van deze rekenmethode gebeurt in een aantal stappen:

1. beschrijving van het beschouwde systeem;
2. beschouwing van bekende verbeterpunten uit rekenmethode 2021;
3. onderzoek van de casuïstiek;
4. onderzoek naar het aantal spoorketelwagens per jaar op een spoorwegemplacement;
5. bepaling van de kans op een groot ongeval;
6. beschouwing van de kans op een warme BLEVE op een spoorwegemplacement;
7. vergelijking van de nieuwe faalkansen op basis van casuïstiek met de faalkansen volgens de rekenmethode 2021;
8. voorstel voor een aanpassing rekenmethode risico's rangeerhandelingen op emplacements;
9. beoordeling van de nieuwe rekenmethode op basis van door het RIVM opgestelde kwaliteitscriteria.

Deze stappen zijn hier kort, en in de volgende hoofdstukken uitgebreid beschreven.

2.1 Systeembeschrijving

Er wordt onderscheid gemaakt in verschillende typen spoor en ook de spoorwegemplacements kan men onderverdelen in verschillende typen. Bij de actualisatie van de rekenmethode moet dit spoorstelsel eerst beschreven worden en moet vastgelegd worden welke spoorkenmerken meegenomen worden in de rekenmethode. Dit is beschreven in hoofdstuk 3.

2.2 Verbeterpunten rekenmethode 2021

In de rekenmethode voor rangeerhandelingen spoorwegemplacements (2021) wordt een aantal verbeterpunten genoemd (1). De onderstaande verbeterpunten worden in dit onderzoek beschouwd en indien mogelijk meegenomen.

Voorbeeldstoffen. Bij actualisatie van de rekenmethode spoorwegemplacementen zouden de stofklassen en voorbeeldstoffen in lijn moeten zijn met de gebruikte stofklassen en voorbeeldstoffen voor doorgaand vervoer. In de geactualiseerde rekenmethode voor doorgaand vervoer worden de volgende vier stofklassen gebruikt:

- GF – brandbaar gas
- GT – giftig gas
- LF – brandbare vloeistof
- LT – giftige vloeistof

Plasvorming ballastbed. Er is, in het verleden, onderzoek gedaan naar plasvorming op het ballastbed (6). Hierin werd aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de voorwaarden waaraan een ballastbed moet voldoen om een langdurige plasbrand te voorkomen. Paragraaf 7.1 gaat hierop in.

BLEVE. In de rekenmethode 2021 wordt een warme BLEVE van stofcategorie brandbaar gas beschouwd. Een warme BLEVE van vloeistof-ketelwagens wordt in deze rekenmethode echter niet beschouwd. Als een langdurige plasbrand mogelijk is op het ballastbed, dan dient dit scenario ook beschouwd te worden.

Dubbeltellingen. Bij de berekening van de risico's van doorgaand treinvervoer en rangeerhandelingen mogen er geen dubbeltellingen voor aankomst en vertrek op het spoorwegemplacement optreden.

Daarnaast is een aanbeveling om te kijken naar de *Wijze van vervoer*. Behalve de ketelwagens met standaard inhoud waarmee nu gerekend wordt, worden al ketelwagens toegepast met een grotere inhoud. Dit is echter nog op beperkte schaal en daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

2.3 Casuïstiek

Voor het afleiden van de kans op een groot ongeval wordt gekeken naar casuïstiek. De casuïstiek beschrijft het aantal ongevallen in een bepaalde tijdsperiode in een bepaald geografisch gebied. Bij de keuze voor tijdsperiode en geografisch gebied moet een afweging worden gemaakt tussen enerzijds statistisch gezien voldoende ongevallen en anderzijds ongevallen die voldoende representatief zijn voor het huidige Nederlandse spoorstelsel. De selectie van de casuïstiek en de analyse zijn beschreven in hoofdstuk 4.

2.4 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement

Naast casuïstiek is ook het aantal ketelwagens per jaar op spoorwegemplacementen in het gekozen gebied nodig voor het afleiden van de kans op een groot ongeval. Het aantal ketelwagens op spoorwegemplacementen is beschreven in hoofdstuk 5.

2.5 Bepaling kans op een groot ongeval

Met het aantal ongevallen dat op een spoorwegemplacement heeft plaatsgevonden ('teller'-informatie, zie hoofdstuk 4) en het aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt ('noemer'-

informatie, zie hoofdstuk 5), kunnen we statistisch uitspraken doen over de kans op een groot ongeval. Dit is beschreven in hoofdstuk 6.

2.6 Warme BLEVE

Het scenario warme BLEVE kan optreden als een ketelwagen met tot vloeistof verdicht gas wordt aangestraald door een plasbrand van een naburige ketelwagen. In het verleden zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de invloed van het ballastbed op het ontstaan van een plasbrand en een warme BLEVE. Deze onderzoeken en wat dit betekent voor een warme BLEVE op een spoorwegemplacement zijn beschreven in hoofdstuk 7.

2.7 Vergelijking kans op een groot ongeval met de rekenmethode 2021

De kans op een groot ongeval op basis van de verzamelde casuïstiek wordt in paragraaf 6.2 vergeleken met dezelfde kans in de rekenmethode 2021 (1).

2.8 Rekenmodel risico's rangeerhandelingen op spoorwegemplacementen

Het combineren van de kans op een groot ongeval en de effecten en vervolgcansen leidt tot het voorstel voor een rekenmodel rangeerhandelingen op spoorwegemplacementen. In hoofdstuk 8 zijn de resultaten van dit onderzoek samengevat en worden de consequenties in beeld gebracht. De nieuwe rekenmethode rangeerhandelingen op spoorwegemplacementen wordt beschreven in Bijlage 10.

2.9 Beoordeling van de rekenmethode

Het RIVM heeft criteria ontwikkeld voor het beoordelen van voorstellen voor aanpassing van de rekenmethoden (7). In Bijlage 1 vergelijken we de afgeleide rekenmethode met deze criteria uit (7).

3 Systeembeschrijving

Alle treinen of treindelen, met vervoer van gevaarlijke stoffen in bulk, die rangeerhandelingen ondergaan, vallen onder de rekenmethode rangeerhandelingen spoorwegemplacements. Rangeerhandelingen zijn hier (i) activiteiten, waarbij de samenstelling van de goederentrein verandert en (ii) overstand. Deze keuze is in lijn met de actualisatie doorgaand vervoer (5), waarin al het doorgaand vervoer wordt meegenomen (inclusief alle aankomende/vertrekkende en doorgaande treinen op een spoorwegemplacement).

3.1 Type spoor

Het is van belang dat ongevallen niet dubbel geteld worden: Schadegevallen horen ofwel bij 'doorgaand vervoer' ofwel bij 'rangeerhandelingen'. Bij de actualisatie doorgaand vervoer is daarom een eenduidige indeling van de verschillende sporen gemaakt. Hierbij zijn afspraken gemaakt over welke typen ongevallen vallen onder de rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor, en welke ongevallen vallen onder de rekenmethode rangeerhandelingen spoorwegemplacements. De indeling die bij actualisatie doorgaand vervoer is gemaakt, is als volgt:

- Type A: vrije baan zonder wissels, dat wil zeggen dat er geen wissel gelegen is binnen 500 m.
- Type B: vrije baan met wissels, dat wil zeggen dat er minimaal één wissel gelegen is binnen 500 m én het traject niet is ingedeeld als type C.
- Type C: complexe situaties, waarbij minimaal één wissel gelegen is binnen 500 m én de breedte van de spoorbundel groter is dan 25 m¹.

Het spoortype C wordt, op basis van de erop plaatsvindende activiteiten, ingedeeld in de volgende klassen:

- Spoortype C, klasse C1: alleen doorgaand vervoer.
- Spoortype C, klasse C2: doorgaand vervoer in combinatie met rangeerhandelingen – activiteit waarbij zowel een rangeerdeel als doorgaand vervoer betrokken is. Bijvoorbeeld een aankomende, vertrekkende of doorgaande trein die botst met een rangeerdeel.
- Spoortype C, klasse C3: enkel rangeerhandelingen – activiteiten waarbij de samenstelling van de goederentrein verandert en overstand.

Op basis van deze indeling is destijds een keuze gemaakt over welke spoortypes/activiteiten tot doorgaand vervoer gerekend moeten worden en welke behoren tot het spoorwegemplacement.

Tot doorgaand vervoer moet gerekend worden:

- Type A
- Type B
- Type C, klasse C1 met alleen doorgaand vervoer

¹ Deze breedte van de spoorbundel is een arbitraire keuze uit 2007. Aanvullend op HART zijn in de actualisatie doorgaand vervoer ook 'complexe situaties' meegenomen op basis van expert judgement.

- Type C, klasse C2 met doorgaand vervoer in combinatie met rangeerhandelingen, *alleen de ketelwagens behorende bij het doorgaande vervoer*.

Een aankomende of vertrekkende trein heeft een treinnummer toegekend gekregen en wordt daarom toegekend aan het doorgaand vervoer.

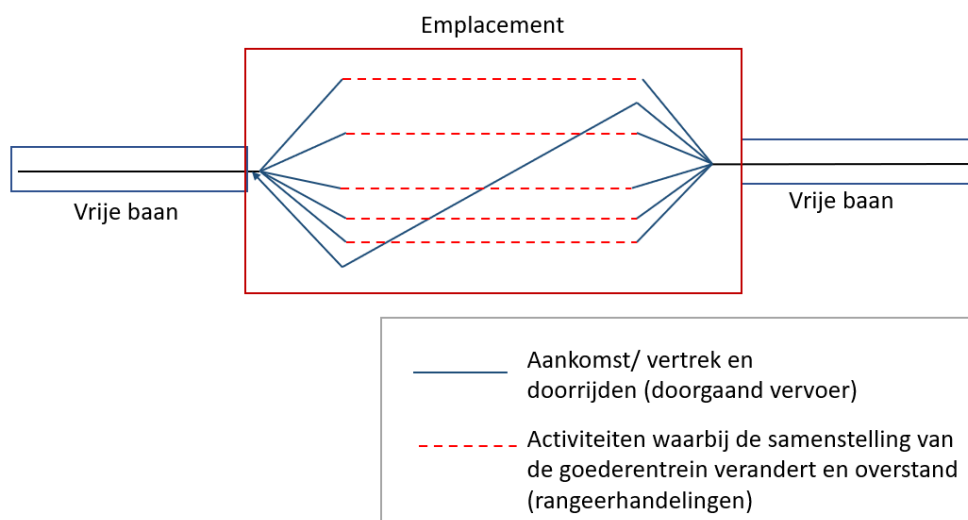
Dit betekent dat de rekenmethode rangeerhandelingen van toepassing is op de overige categorieën, zijnde:

- Type C, klasse C3 met rangeerhandelingen (en overstand).
- Type C, klasse C2 met doorgaand vervoer in combinatie met rangeerhandelingen, *alleen de ketelwagens behorende bij het rangeerdeel*.

Op spoorwegemplacements kan zowel doorgaand vervoer als rangeerhandelingen (waaronder overstand) plaatsvinden. In Figuur 3.1 is schematisch weergegeven wat doorgaand vervoer is en wat rangeerhandelingen:

- Links en rechts in de figuur is vrije baan (blauw omkaderd), dit kan spoortype A of B of C (klasse C1) zijn, behorende bij rekenmethode doorgaand vervoer (5).
- Het spoorwegemplacement (rood omkaderd in de figuur) is spoortype C.
 - Als er een ongeval is met doorgaand vervoer over het emplacement of met aankomende of vertrekkende treinen, dan valt deze schade onder type C, klasse C1, behorende bij rekenmethode doorgaand vervoer, zie blauwe lijnen (5). Er zijn geen specifieke sporen toegewezen voor doorgaand vervoer. Dit kan per moment verschillen.
 - Als er een ongeval is met een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel, dan vallen beschadigde ketelwagens van de aankomende/vertrekkende trein onder type C, klasse C2, en worden deze beschadigde ketelwagens meegenomen als schade behorende bij doorgaand vervoer (5).
 - Als er een ongeval is met een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel, dan vallen beschadigde ketelwagens van de trein die rangeerhandelingen ondergaat (het rangeerdeel) onder het type C, klasse C2. En worden deze beschadigde ketelwagens meegenomen als schade behorende bij rangeerhandelingen op spoorwegemplacements.
- Ongevallen tijdens rangeerhandelingen (inclusief overstand) zonder interactie met doorgaand vervoer behoren tot type C, klasse C3 (gestippelde rode lijn in de figuur) behorende bij rekenmethode rangeerhandelingen op spoorwegemplacements.

Figuur 3.1 Schematische weergave van doorgaand vervoer (blauwe lijn en blauwe vak) en rangeerhandelingen (rode gestippelde lijn). Er zijn geen specifieke sporen toegewezen aan doorgaand vervoer of rangeerhandelingen (inclusief overstand). Dit kan per moment verschillen.



De hierboven beschreven indeling in spoortypen en de toekenning van verschillende schadegevallen hierbinnen, voorkomt dubbeltellingen in de rekenmethodiek voor doorgaand spoorvervoer en spoorweg-emplacementen.

3.2 Type spoorwegemplacementen

Spoorwegemplacementen kunnen op basis van de bedrijfsactiviteiten onderverdeeld worden in drie typen (8, 9). Een overzicht van de verschillende spoorwegemplacementen wordt gegeven in Bijlage 2. Hieronder volgt een korte beschrijving van de drie typen.

Type 1 - Bediening van verladers

Type 1 emplacementen zijn spoorwegemplacementen die in de directe nabijheid van de verladers liggen. Het rangeerproces op deze locaties is nauw verweven met het transport van rangeerdelen (een locomotief met één of meerdere ketelwagens) van en naar de locatie van deze verlader. De procesvoering op deze locaties kenmerkt zich door relatief lange overstandtijden (gemiddeld vier uur) en relatief veel rangeerhandelingen per trein.

Type 2 - Kopmaken en locwisselen

Type 2 emplacementen zijn spoorwegemplacementen waar met treinen met gevaarlijke stoffen uitsluitend sprake is van kopmaken en locwissel en waar geen rangeerhandelingen plaatsvinden. De wachttijden zijn daardoor kort. De handeling gebeurt slechts één keer per trein. Kopmaken en locwissel is juridisch onderdeel van doorgaand vervoer. Type 2 emplacementen behoren daarom bij spoortype C, klasse C1 met alleen doorgaand vervoer. Deze rekenmethode is daarom niet van toepassing op dit type spoorwegemplacement.

Type 3 - Rangeren langs de route

Type 3 emplacementen zijn spoorwegemplacementen waar de procesvoering identiek is aan type 1. Er is echter geen directe verbinding met nabijgelegen bedrijven. Treinen uit verschillende richtingen komen aan op deze locatie, en worden bijvoorbeeld gecombineerd of gewijzigd van samenstelling op basis van de bestemming van de trein of treindelen. Omdat het niet gaat om bedienen van verladers maar rangeren langs de route is de overstandtijd korter (gemiddeld twee uur) en het aantal rangeerhandelingen per trein aanmerkelijk lager dan bij de type 1-emplacementen.

Spoorwegemplacementen met incidentele of geen rangeerhandelingen

Behalve de in typen 1, 2 of 3 ingedeelde locaties is er een grote groep spoorwegemplacementen – ongeveer vijftig – waar slechts incidenteel rangeerhandelingen worden uitgevoerd: eens per jaar/jaren. Deze emplacementen nemen we in deze rekenmethode niet mee.²

Dit rapport is van toepassing op de emplacementen, zoals genoemd in Bijlage 2. Spoorwegemplacementen met een heuvel (Kijfhoek) worden in dit rapport niet beschouwd. Bijlage 9 gaat echter wel kort in op de bevindingen vanuit de casuïstiek met betrekking tot heuvelen.

3.3 Type ketelwagen en stofklasse

In de rekenmethode voor rangeerhandelingen uit 2021 is het onderscheid in type ketelwagen volledig gebaseerd op de vervoerde stofklasse (1). Voor brandbare vloeistoffen is de kans op een uitstroming ongeveer een orde van grootte hoger dan voor de andere stofcategorieën. Deze faalkansen zijn in het verleden bepaald op basis van expert-inschattingen voor de sterkte van constructies van verschillende ketelwagens.

Omdat directe informatie over de sterkte van een ketelwagen vaak ontbreekt, gaan we in deze actualisatie van de rekenmethode opnieuw uit van de stofklasse als indicatie van de sterkte van de ketelwagens. De rekenmethode 2021 gaat uit van een stofindelingsmethode, specifiek voor spoor. Deze actualisatie van de rekenmethode rangeerhandelingen sluit aan bij de stofindelingsmethode volgens de S3b-methodiek. Deze methodiek is recent ook bij de actualisatie faalkansen doorgaand vervoer gebruikt. Beide indelingen zijn weergegeven in *Tabel 3-1*. Het verschil tussen de twee indelingen zit in definities en verdere onderverdeling in subklassen.

Tabel 3.1 Stofklassen voor risicoberekeningen (10).

Omschrijving	Huidig	S3b methodiek
Brandbaar gas	A	GF
Giftig gas	B	GT
Brandbare vloeistof	C	LF
Giftige vloeistof	D	LT

² Eerder werd deze groep spoorwegemplacementen ook ingedeeld als 'type 4-emplacementen': emplacementen waar slechts incidenteel – eens per jaar/jaren – sprake is van rangeerhandelingen of emplacementen met enkel doorgaand vervoer.

Al deze stofklassen kennen een onderverdeling in subklassen. Deze worden in Bijlage 10 specifiek genoemd.

De vervoerseisen in het RID verschillen per stofklasse (11). De sterkte-eisen aan ketelwagens voor brandbare vloeistof zijn lager dan de sterkte-eisen aan ketelwagens voor gassen en giftige vloeistoffen. Ook kunnen de sterkte-eisen binnen één stofklasse, zoals brandbaar gas, uiteenlopen. In de geactualiseerde rekenmethode voor doorgaand spoorvervoer wordt onderscheid gemaakt in sterkte van wagens voor brandbare vloeistoffen en die van overige wagens (gassen en giftige vloeistoffen). Er wordt geen onderscheid gemaakt in mogelijke verschillen in sterkte van wagens binnen de stofklasse: de afgeleide kans op een groot ongeval geldt voor al het vervoer binnen een stofklasse. Dit onderzoek sluit daarbij aan.

4 Casuïstiek

De casuïstiek beschrijft de ongevallen in een bepaalde tijdsperiode in een bepaald geografisch gebied. Voor de casuïstiek moet een afweging worden gemaakt tussen enerzijds statistisch gezien voldoende ongevallen en anderzijds ongevallen die voldoende representatief zijn voor de Nederlandse spoorwegemplacements.

In het Protocol aanpassing rekenmethodieken externe veiligheid (4) staan uitgangspunten en randvoorwaarden voor het verzamelen van de statistiek. Het gaat om:

1. Een algemeen streven is om de dataset van ongevallen en waarnemingen zo representatief en groot (vooral het aantal waarnemingen) mogelijk te maken.
2. De registratie van de statistiek dient op een geordende wijze te hebben plaatsgevonden en de data (aantal gebeurtenissen en de beschrijving ervan) moeten worden bewaard. Hiertoe dienen bedrijven of brancheorganisaties procedures voor het melden van ongevallen te hebben opgesteld.
3. Minimaal moet over de laatste dertig jaar inzicht worden gegeven in het aantal ongevallen en bijbehorende waarnemingen.
4. Het streven is dat de gebruikte data openbaar zijn of openbaar gemaakt worden.
5. De benadering is dat eerst branchegericht wordt gekeken, waarna data uit Nederland, Europa enzovoort worden bekeken. Na selectie van tijdsperiode en geografisch gebied moeten de relevante ongevallen verzameld worden.

4.1 Selectie

4.1.1 *Keuze type ongevallen*

De scenario's en faalkansen voor rekenmethode 2021 zijn gebaseerd op onderzoek uit 1995 (2). Actualisatie is gewenst. Ten eerste omdat de cijfers mogelijk gedateerd zijn. Ten tweede omdat de methodiek die destijds gebruikt is, niet overeenstemt met de nieuwe werkwijze die beschreven is in het protocol van 2012 (4). Ten derde omdat er sindsdien technologische ontwikkelingen zijn geweest en ten vierde is het wenselijk om aan te sluiten bij de rekenmethode voor het doorgaand vervoer, waarvoor de scenario's en ongevals-kansen onlangs geactualiseerd zijn (5).

Grote ongevallen met uitstroming van gevaarlijke stoffen op het spoor zijn zeldzaam. Dat maakt het moeilijk om een betrouwbare faalkans af te leiden.

In de rekenmethode 2021 is eerst de kans op een ongeval met een trein (botsing of ontsporing) bepaald op basis van ongevallen met goederentreinen met en zonder gevaarlijke stoffen. Daarna zijn de vervolgcansen voor uitstroming van gevaarlijke stoffen bepaald op basis van expertjudgement. Voor de kans op een ongeval met een trein waren destijds voldoende gegevens beschikbaar. De vervolgcansen in de

rekenmethode 2021 zijn onzeker, omdat er betrekkelijk weinig ongevallen met gevaarlijke stoffen zijn.

In de rekenmethode voor doorgaand vervoer is gekozen voor een andere benadering, namelijk om direct uit te gaan van grote ongevallen met uitstroming van gevaarlijke stoffen. Dit onderzoek sluit daarbij aan. Hoewel emplacementen besloten terreinen zijn die soms afgelegen liggen, is de verwachting dat dergelijke ongevallen goed beschreven zijn in de media en/of worden bijgehouden in databases, en dus dat alle relevante ongevallen gevonden kunnen worden. Uitgaan van de grote ongevallen heeft als voordeel dat er geen vervolgekansen afgeleid hoeven te worden. Deze zijn namelijk al meegenomen in de kans op een groot ongeval. Nadeel is dat er een grotere onderzoeksperiode en/of onderzoeksgebied meegenomen moeten worden in de analyse, omdat er veel minder grote ongevallen zijn. Bij de inventarisatie is geen onderscheid gemaakt tussen typen emplacementen.

4.1.2 *Keuze van onderzoeksperiode en -gebied*

Zoals hierboven gesteld, dient voor de keuze van onderzoeksperiode- en -gebied een afweging worden gemaakt tussen enerzijds statistisch gezien voldoende ongevallen en anderzijds ongevallen die voldoende representatief zijn voor de huidige Nederlandse spoorwegemplacementen. Hierbij spelen twee tegengestelde overwegingen een rol:

- Om de ongevallen representatief te laten zijn voor het huidige Nederlandse spoorstelsel, wil je de tijdsperiode en het gebied het liefst beperken tot de laatste tien tot vijftien jaar en tot Nederland. Er zijn in de afgelopen jaren verschillende verbeteringen doorgevoerd. Zo zijn bijvoorbeeld de bodemafluiters (Gesprek ProRail RIVM, 15 mei 2023) van de ketelwagens aangepast, waar in het verleden veel lekkages plaatsvonden, en is sinds 2007 opklimbeveiliging verplicht (12).
- Om zoveel mogelijk ongevallen te verzamelen voor een betrouwbare statistiek, wil je de tijdsperiode en het gebied zo groot mogelijk maken.

Zoals uit de hierna volgende beschrijving van de casuïstiek blijkt, is er in Nederland de afgelopen 21 jaar op een spoorwegemplacement slechts één groot ongeval geweest met een gevaarlijke stof. Dit was het ongeval in Kijfhoek (2011) en dit ongeval vond plaats op een heuvel en door een fout in het heuvelproces. Dit heuvelproces is in Nederland uniek voor dit emplacement. Daarom is dit ongeval niet bruikbaar voor de afleiding van een generieke ongevalskans, maar is het alleen relevant voor de kans op een ongeval bij het heuvelproces. Omdat het slechts één ongeval betreft op een spoorwegemplacement met een heuvel, moet het geografische gebied groter gekozen worden. De volgende keuzes zijn gemaakt:

- Voor de geografische selectie van ongevallen (en transport) is gekozen voor landen in Europa die zijn aangesloten bij de RID (afgekort tot RID-Europa), omdat het gebruikte materieel enigszins vergelijkbaar is.³

³ Het feit dat in alle geselecteerde landen RID is voorgeschreven, wil echter niet zeggen dat de situatie in alle RID-landen vergelijkbaar is met Nederland. Zo kunnen bijvoorbeeld de beveiligingssystemen verschillend zijn.

- Voor de bepaling van de ongevalskans moet de periode lang genoeg zijn voor voldoende ongevallen en kort genoeg om voldoende representatief te zijn. Per databron wordt gezocht naar een zo lang mogelijke periode, afhankelijk van de beschikbare data binnen verschillende bronnen. Voor Nederlandse ongevallen komen we dan op de periode 1996–2016. Voor ongevallen in Frankrijk 2000–2012 en voor Europa 2005–2016.

4.2 Inventarisatie grote ongevallen

De volgende paragrafen bespreken de inventarisatie van grote ongevallen. Om zo veel mogelijk ongevallen te vinden in Europa, hebben we verschillende databronnen geraadpleegd. In de volgende paragrafen bespreken we kort de verschillende databronnen met de gevonden ongevallen en of deze ongevallen geselecteerd zijn als ongeval met een effect dat relevant is voor de externe veiligheid. Zie ook Bijlage 4 voor een overzicht van ongevallen uit verschillende databases.

4.2.1 Nederlandse data

Ongevallen met ketelwagens in Nederland worden beschreven in de ongevallendatabase van ProRail (Promise⁴) en het ongevallenbestand MISOS van ILT. Voor dit onderzoek is een selectie gemaakt van alle typen ongevallen met goederentreinen uit de MISOS- en PROMISE-database. Vervolgens is er, overeenkomstig de aanpak voor het doorgaand vervoer, een voorselectie gemaakt van ongevallen met ketelwagens met gevaarlijke stoffen (maar ook waar de stof onbekend was), waarbij deze gevaarlijke stoffen ook zijn vrijgekomen (selectie in database: wagens lek) en dat deze ongevallen hebben plaatsgevonden op een spoorwegemplacement (selectie van locatie in database: private siding, shunting yard, station without shunting, shunting yard & emplacement). Na deze voorselectie blijven er acht ongevallen over (zie Tabel 4.1) die in meer detail zijn bekeken. Bij deze analyse kwam bij een aantal ongevallen naar voren dat de vervoerde stof (die eerst onbekend stond in de database) voor spoor geen relevante stof voor de externe veiligheid betrof.

Tabel 4.1 Beschrijving Nederlandse ongevallen (1996-2016). Waarbij NR staat voor niet-relevant.

Nr.	Datum, plaatsnaam Oorzaak	Stof	Stof cat.	EV Effect	Geselecteerd en reden
1	20-3-1997, Almelo Ontsporing	Vuile ballast	NR	Geen	Nee, voor modaliteit spoor geen relevante stof
2	15-9-2000, Arnhem Ontsporing van 4 met grind beladen wagens. Mogelijke oorzaken niet correct uitvoeren inspecties/	Grind	NR	Geen	Nee, voor modaliteit spoor geen relevante stof

⁴ ProRail Management Information Safety Environment.

Nr.	Datum, plaatsnaam Oorzaak	Stof	Stof cat.	EV Effect	Geselecteerd en reden
	controles, wissel defect, te hoge snelheid				
3	21-4-2001, Maasvlakte Ontsporing van 2 wagens. Menselijk falen, lege wagens	Onbekend	NR	Geen	Nee, geen uitstroming want de wagens waren onbeladen.
4	15-5-2001, Kijfhoek 2 wagens ontsporen. Geen gevaarlijke stoffen.	Onbekend	NR	Geen	Nee, geen effect
5	19-4-2002, Botlek Niet overzien van rijweg	Acrylnitril	LF2/ LT1	Geen	Nee, betreft een kleine uitstroming
6	17-9-2004, Kijfhoek Falend heuvelsysteem waardoor afloopje niet wordt afgeremd	Vloeibare kalk	NR	Geen	Nee, voor modaliteit spoor geen relevante stof
7	14-1-2011, Kijfhoek Storing in heuvelproces, te weinig remming, lekkage door overbuffering	Ethanol	LF1/ LF2	Brand	Nee, ongeval als gevolg van heuvelproces.
8	6-3-2015, Tilburg STS-passage reizigerstrein	Butadieen	GF2	Geen	Nee, hoort bij doorgaand vervoer

Het ongeval met nummer 7 in *Tabel 4.1* betreft een ongeval door het heuvelproces op het spoorwegemplacement Kijfhoek en valt daarmee buiten de scope van dit onderzoek. De ongevallen door het heuvelproces worden besproken in Bijlage 9.

Het ongeval met nummer 8 in bovenstaande tabel (*Tabel 4.1*) betreft een ongeval met uitstroming door een botsing van een doorgaande goederentrein met een reizigerstrein. Dit ongeval is onderdeel van de Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor en valt daarmee buiten de scope van dit onderzoek.

De overige zes ongevallen worden op basis van de stof en het effect niet-relevant geacht voor externe veiligheid.

4.2.2

Europese data

De volgende paragrafen beschrijven ongevallen in RID-Europa. Hiervoor zijn deze bronnen gebruikt:

- Europese ongevalsdata, beschikbaar uit actualisatie doorgaand vervoer (5).
- Franse ongevalsdata uit onderzoek van DNV en SNCF (13).
- Data beschikbaar uit notitie van SAVE (14).
- Data beschikbaar uit contact met Zwitserland.

Voor de actualisatie doorgaand vervoer (5) is een inventarisatie gedaan van grote ongevallen met een grote brand of een explosie tot gevolg. Deze database omvat incidenten tot en met de eerste maanden van 2017. Aangezien we bij voorkeur rekenen met een tijdsperiode van één jaar, is gekozen voor een evaluatie tot 2016. Het incident uit 2017 wordt echter wel nog genoemd in *Tabel 4.2*. De verwachting was dat dergelijke grote ongevallen goed beschreven zijn en dus alle relevante ongevallen gevonden kunnen worden. Geografisch is de keuze gemaakt voor landen in Europa die zijn aangesloten bij RID. Hieruit hebben we de selectie gemaakt van ongevallen die plaatsvonden op een spoorwegemplacement, wat leidt tot acht ongevallen (zie *Tabel 4.2*). De nummering uit de database van de actualisatie doorgaand vervoer is in de tabel aangehouden. Op deze data is een aanvullende analyse uitgevoerd, samen met incidentbestrijders van ProRail en ook intern RIVM. Zie Bijlage 4 voor de gehele analyse. Ongeval 61 betreft weer het ongeval door het heuvelproces op het spoorwegemplacement Kijfhoek en valt daarmee buiten de scope van dit onderzoek. De ongevallen door het heuvelproces worden besproken in Bijlage 9.

Tabel 4.2 Beschrijving ongevallen in RID-Europa (1985-2016) uit analyse voor actualisatie doorgaand vervoer (5). Ongeval met nummer 38 staat ook genoemd in paragraaf 4.2.2.1 en ongeval met nummer 61 staat genoemd in paragraaf 4.2.1. Gedetailleerdere analyse staat in Bijlage 4.

Nr.	Datum, plaatsnaam (land), oorzaak	Stof en stof-categorie	EV Effect	Analyse	Geselecteerd en reden
0	8-1-1987, Karlsruhe (D) Oorzaak onbekend, uitstroming uit één wagen met benzine.	Benzine LF2	Geen	Uit nadere analyse blijkt dat er erg weinig informatie is. Ongeval valt buiten de inventarisatie periode.	Nee, zie analyse.
3	28-12-1989, Bréauté Beuzeville (F) Trein ontspoord op station en twee ketelwagens met 50 ton ethanol vatten vlam.	Ethanol LF1/ LF2	Brand	Uit nadere analyse blijkt dat er erg weinig informatie is. Ongeval valt buiten de inventarisatie periode.	Nee, zie analyse.

Nr.	Datum, plaatsnaam (land), oorzaak	Stof en stof-categorie	EV Effect	Analyse	Geselecteerd en reden
38	3-10-2001, Miramas (F) Botsing van ammoniakwagen met platte wagen. Ammoniakwagen heeft een gat van 50mm. Ongeval als gevolg van heuvelproces. Locatie: entrée van de bundel (na de heuvel).	Ammoniak GT3	Giftig	Uit nadere analyse blijkt het een groot lek te zijn.	Nee, ongeval door heuvelproces.
39a	16-2-2002, Osnabrück (D) Falen van een wissel. Aankomende trein ontspoord. Wagen met acrylnitril valt om. Een lege ongereinigde LPG wagen vat vlam.	Acrylnitril LF2/ LT1	Brand	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein, deze valt onder het doorgaand vervoer	Nee, ongeval hoort bij doorgaand vervoer.
39b	16-2-2002, Osnabrück (D) Falen van een wissel. Aankomende trein ontspoord. Wagen met acrylnitril valt om. Een lege ongereinigde LPG wagen vat vlam.	Propaan (leeg maar ongereinigd) GF3	Brand	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein, deze valt onder het doorgaand vervoer.	Nee, ongeval hoort bij doorgaand vervoer.
45	21-4-2004, Monceau-sur-Sambre (B) Niet genoeg ruimte tussen stilstaande trein en aankomende trein. Aankomende trein uit Antwerpen botst op stilstaande trein met lege ketelwagens. Lekkage van ketelwagen met ethyleendichloride van trein uit Antwerpen.	Ethyleen dichloride LF2	Geen	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein, deze valt onder het doorgaand vervoer.	Nee, ongeval hoort bij doorgaand vervoer.

Nr.	Datum, plaatsnaam (land), oorzaak	Stof en stof-categorie	EV Effect	Analyse	Geselecteerd en reden
61	14-1-2011, Kijfhoek Storing in heuvelproces, te weinig remming, lekkage door overbuffering ⁵ .	Ethanol LF1/ LF2	Brand		Nee, ongeval door heuvelproces.
56	19-2-2010, Kilpilahti (Fin) Door een menselijke fout rijdt een goederentrein door het stootblok en vallen twee wagens. Geen uitstroom.	Industrial gasoline LF2	Geen	Geen uitstroming van gevaarlijke stoffen.	Nee, geen uitstroming.
70	13-3-2017, Solaize (F) Ontsporing door dubbele breuk in het spoor ten tijde van het binnenrijden van de trein. Gat van 45 mm in wagon met bio-ethanol.	Bio-ethanol LF1/ LF2	Geen	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein, deze valt onder het doorgaand vervoer.	Nee, ongeval hoort bij doorgaand vervoer en valt buiten selectie-periode.

4.2.2.1

Franse data uit onderzoek van DNV en SNCF

In de periode 2000-2012 vonden 814 ongevallen met wagens met gevaarlijke stoffen plaats op rangeerterreinen in Frankrijk volgens onderzoek van DNV (13). Van deze 814 ongevallen zijn er:

- 277 ongevallen zonder uitstroom.
- 479 ongevallen met druppellekkages door bijvoorbeeld niet goed sluiten van afvoerklap.
- 58 met uitstroming. De uitleg die gegeven wordt bij deze ongevallen, is het vrijkomen van gevaarlijke stoffen door het verlies van de afdichting van de omhulling. Dat zou potentieel leiden tot een volledige lediging van de wagon met een min of meer hoog debiet bij gebrek aan interventie (bijvoorbeeld: bodemklap van de tank, defecte lasnaad aan de tank, ...).

DNV heeft een analyse uitgevoerd en bekeken welke van de 58 lekken mogelijk kunnen leiden tot een ongeval dat relevant is voor de externe veiligheid. Dan blijven er tien ongevallen over. Deze zijn beschreven in *Tabel 4.3*. Geen van deze tien ongevallen is relevant voor het afleiden van een generieke kans op een groot ongeval. Alleen ongeval 1 is relevant voor het afleiden van de kans op een groot ongeval voor heuvelen. De motivatie daarvoor staat in de tabel.

⁵ Dit incident wordt ook besproken bij de Nederlandse data (incident 1).

Tabel 4.3 Beschrijving Franse ongevallen (2000-2012). Waarbij LNR staat voor Liquid (vloeistof) niet relevant en GNRL Tot vloeistof gekoeld gas, niet relevant. Gedetailleerdere analyse staat in Bijlage 4.

Nr.	Datum, plaatsnaam Oorzaak en locatie ongeval op het emplacement	Stof en stof- categorie	EV Effect	Analyse	Geselecteerd en reden
1	3-10-2001, Miramas Botsing van ammoniakwagen met platte wagen. Ammoniakwagen heeft een gat van 50mm. Locatie: net na de heuvel Ongeval als gevolg van heuvelproces.	Ammoniak GT3	Giftig		Nee, ongeval door heuvelproces.
2	2-1-2001, Sotteville Lek bij ventiel/ klep. Locatie: bundel verdeel-, sorteer of - vormingsspooren. Oorzaak: intrinsiek falen.	LPG GF3	Geen	Klein lek, wagens worden nog verplaatst. Waarschijnlijk kapotte klep/ lek bij pakking.	Nee, zie analyse.
3	26-3-2003, Sibelin Lek onder wagen, 170kg fluorwaterstofzuur lekt uit de wagen in een tijds�pannen van 5 uur. Oorzaak: intrinsiek falen	Fluor waterstof- zuur LT1/2 of 3	Giftig	Berekend op basis van tekst over ongeval is de gatgrootte ~2mm. Dus een klein lek.	Nee, zie analyse.
4	7-8-2010, Sibelin Lek in tankwagen (20 l/u) aan de onderkant bij de afsluiting van de tank. Locatie: bundel verdeel-, sorteer of - vormingsspooren. Intrinsiek falen	Aceton LF2	Geen	Berekend op basis van tekst over ongeval is de gatgrootte ~1mm. Dus een klein lek.	Nee, zie analyse.
5	18-6-2001, Mulhouse- Nord Lek in tank, scheur van 8cm, brandweerlieden dichten het lek tijdelijk. Locatie: midden van een spoorbundel. Oorzaak: intrinsiek falen	Zoutzuur LNR – RID8	Geen	Dit is één van de ongevallen waar een productiefout in de ketelwagens was. De lasnaden waren niet goed. Met zoutzuur ontstond dan lekkage. Er zijn geen aanwijzingen dat het een grote lekkage was, op basis van de tekst verwachten	Nee, zie analyse.

Nr.	Datum, plaatsnaam Oorzaak en locatie ongeval op het emplacement	Stof en stof- categorie	EV Effect	Analyse	Geselecteerd en reden
				we een kleine lekkage.	
6	5-8-2004, Sibelin Lek in wagen, scheur van 1 cm wordt afgesloten met een houten wig. Locatie: bundel verdeel-, sorteer of -vormingssporen. Oorzaak: intrinsiek falen	Zoutzuur LNR – RID8	Geen	Weinig uitstroming, klein gat (1cm) dat gedicht wordt met een houten wig.	Nee, zie analyse.
7	25-5-2005 Sibelin Perforatie ter hoogte van de klep. Verder geen informatie van hoeveel er lekt. Locatie: bundel verdeel-, sorteer of - vormingssporen. Oorzaak: intrinsiek falen	Zoutzuur LNR – RID8	Geen	Lijkt een klein lek bij een klep, misschien weer een lasnaad, het is namelijk weer een wagen die zoutzuur vervoert.	Nee, zie analyse.
8	31-7-2006, Miramas Lek in tankwagen, geen indicatie van grootte of hoeveelheid uitstroming. Medewerker ruikt gasgeur, lek wordt tijdelijk gedicht door brandweer. Locatie: bundel verdeel-, sorteer of -vormingssporen. Oorzaak: intrinsiek falen	LPG GF3	Geen	Klein lek, niet goed aangedraaide flens? In ieder geval was er niet veel aan de hand, ze rijden daarna door met de wagen.	Nee, zie analyse.
9	23-3-2008, Mulhouse- Nord Lek in tankwagen, Gat dat lekt met 12 l/u. Locatie: bundel verdeel-, sorteer of -vormingssporen Oorzaak: intrinsiek falen	Zoutzuur LNR – RID8	Geen	Klein lek van 12 l/u	Nee, zie analyse.
10	20-10-2001, St. Pierre de Corps Lek in tankwagen, verder geen afmeting, Tijdens het heuvelen (voor het ontkoppelen) wordt het lek geconstateerd en tijdelijk gedicht door de brandweer. Tijd: 10.30 uur constatering en tijdelijke dichting van het lek om 11.45 uur. Daarna kan het ontkoppelen weer doorgaan. Locatie: heuvel. Oorzaak: intrinsiek falen	Argon GNRL – RID2	Geen	Lijkt op afblazen van de tank, dit is een veiligheidsmaat- regel.	Nee, zie analyse.

4.2.2.2 Data beschikbaar uit notitie SAVE

In een notitie van SAVE (14) uit 2006 zijn ongevallen verzameld met spoortransport van gevaarlijke stoffen. Er is casuïstiek verzameld in de volgende landen: Duitsland, Frankrijk, Polen, Italië, Zwitserland, België en Nederland. De verzamelde ongevallen komen uit de periode 1970–2003. Al deze ongevallen zijn bekeken, maar vallen buiten de selectieperiode. In Bijlage 5 zijn voor de volledigheid de ongevallen uit deze notitie te vinden die plaatsvonden op een spoorwegemplacement.

4.2.2.3 Data uit Zwitserland

Vanuit Zwitserland zijn gegevens aangeleverd over ongevallen op emplacementen van 2018-2022 (15). Deze dataset bevat geen ongevallen die relevant zijn voor externe veiligheid.

4.3 Samenvatting casuïstiek

Er zijn meerdere databronnen bekeken: gedetailleerde databronnen voor Nederland en Frankrijk, nieuwsberichten en databases voor overig Europa. Veel ongevallen hangen samen met doorgaand vervoer, niet met rangeren. We zien, buiten ongevallen met heuvelen, geen EV-relevante ongevallen met rangeerhandelingen in de jaren nul en de jaren negentig. Alleen door de jaren tachtig mee te nemen, komen er twee ongevallen extra in aanmerking (Karlsruhe en Bréauté). Die tijdsperiode wordt niet-representatief geacht voor de actuele situatie, omdat er sindsdien verschillende verbeteringen zijn doorgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.1.2.

Er zijn drie ongevallen die bij nadere analyse bij doorgaand vervoer horen:

- Nummer 70. Datum 13-3-2017. Locatie: Solaize (F).
- Nummer 45. Datum 21-4-2004. Locatie: Monceau-sur-Sambre (B).
- Nummer 39a/b. Datum 16-2-2002. Locatie: Osnabrück (D).

Deze drie ongevallen vallen buiten de geselecteerde periode (2005-2016) die gebruikt is in de Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor (5). Op twee punten hebben deze drie ongevallen mogelijk wel invloed. Dit is beschreven in Bijlage 8. Uit de analyse blijkt dat het ongeval in Osnabrück ten onrechte niet meegenomen is bij de afleiding van de kans op een groot ongeval en de gebeurtenissenboom. Wanneer we dit ongeval wel meenemen, dan blijkt dat de gebeurtenissenboom niet verandert. Wel wijzigt de faalfrequentie per spoortype. Deze wijziging varieert van 0,7 procent lager (type A en B) tot 1,7 procent hoger (type C).

Uit de verzamelde casuïstiek volgt dat er slechts twee ongevallen overblijven die binnen de geselecteerde periode vallen en niet tot doorgaand vervoer horen. Deze ongevallen hebben beide plaatsgevonden tijdens het heuvelproces. Er zijn dus geen EV-relevante ongevallen aangetroffen op een spoorwegemplacement zonder heuvel.

5 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement

Voor een statistische inschatting van de faalkans per ketelwagen op een spoorwegemplacement zijn twee gegevens nodig:

- het aantal ongevallen dat op een spoorwegemplacement heeft plaatsgevonden ('teller'-informatie, zie hoofdstuk 4);
- het aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt, of het aantal rangeerhandelingen dat op een spoorwegemplacement heeft plaatsgevonden ('noemer'-informatie).

Dit hoofdstuk beschrijft de informatie over aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt, achtereenvolgens in Nederland, Frankrijk en RID-Europa.

5.1 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement in Nederland

Voor het aantal ketelwagens met gevaarlijke stoffen dat in een jaar een rangeerhandeling ondergaat op een spoorwegemplacement in Nederland zijn twee bronnen beschikbaar, namelijk een rapportage van ProRail en een rapportage van Antea Group. Onder rangeerhandelingen worden verstaan: wijzigen van samenstelling van een trein op een rangeerterrein (kopmaken, samenstellen/ splitsen, locwissel) en overstand.

ProRail heeft een overzicht gegeven van het aantal ketelwagens met gevaarlijke stoffen dat per jaar op een spoorwegemplacement een rangeerhandeling ondergaat (16, 17). De door ProRail aangeleverde cijfers zijn het gemiddelde over de jaren 2019 t/m 2021, behalve bij locwissel. Daar zijn de cijfers het gemiddelde van 2020-2021. In *Tabel 5.1* staat het overzicht van het aantal ketelwagens, exclusief heuvelen, dat per jaar op een spoorwegemplacement is.

Tabel 5.1 Aantal ketelwagens met gevaarlijke stoffen per jaar per type spoorwegemplacement in Nederland in de periode 2019-2021 (kopmaken, samenstellen/splitsen, overstand) of 2020-2021 (locwissel).

Type Emplacement	Kop-maken	Loc-wissel	Samenstellen /splitsen	Overstand
Type 1	21.240	11.192	19.451	54.863
Type 2	6654	742	0	7842
Type 3	32.942	20.670	11.463	39.827
Kijfhoek				53.839

Het totaal aantal wagens overstand is 156.371 per jaar. Het totaal wagens dat een handeling ondergaat (kopmaken, locwissel en samenstellen/splitsen) is 124.354 per jaar. Hierbij is aangenomen dat één ketelwagen niet betrokken is bij zowel kopmaken als samenstellen/splitsen.

Iedere rangeeractiviteit (samenstellen/splitsen, kopmaken, et cetera) bestaat uit een rangeerhandeling én overstand. Het aantal ketelwagens in overstand is groter dan het totaal van kopmaken, locwissel, samenstellen/ splitsen, omdat hierin ook de treinen zijn meegenomen die tijdelijk op het spoorwegemplacement staan, maar geen andere emplacementshandeling ondergaan.

Antea Group geeft in een rapportage (8) een prognose van aantallen ketelwagens met gevaarlijke stoffen per spoorwegemplacement. Het totaal aan ketelwagens is 272.229 per jaar. Deze wagenaantallen zijn een factor twee groter dan de door ProRail gegeven wagenaantallen. Dit wordt toegekend aan het verschil tussen realisatie en prognose. Voor een statistische inschatting van de faalkans per wagen gaan we uit van de gerealiseerde data, dat wil zeggen de data van ProRail. Dit is een conservatieve benadering, aangezien je deelt door een lager aantal ketelwagens. In *Tabel 5.2* zijn de aantallen ketelwagens samengevat. Hierbij wordt opgemerkt dat de aantallen gebaseerd zijn op een periode van drie jaar. Wanneer deze data gebruikt worden voor het afleiden van een statistische benadering van de faalkans, moet geëxtrapoleerd worden naar de periode waarover casuïstiek beschikbaar is. Dit introduceert een onzekerheid.

Tabel 5.2 Gemiddeld aantal ketelwagens met gevaarlijke stoffen per jaar op een spoorwegemplacement in Nederland

	Totaal
Handelingen	124.354
Overstand	156.371

5.2 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement in Frankrijk

DNV heeft in 2014 de ongevallen op Franse spoorwegemplacementen geanalyseerd (13). Uit dit DNV-onderzoek halen we het aantal ketelwagens dat jaarlijks in Frankrijk wordt gerangeerd. Over een periode van 13 jaar (2000-2012) zijn 9,1 miljoen ketelwagens met gevaarlijke stoffen aanwezig op de Franse spoorwegemplacementen. Het aandeel van de ADR-stofklassen gassen (klasse 2), brandbare vloeistoffen (klasse 3), giftige stoffen (klasse 6) en bijtende stoffen (klasse 8) hierin, is bekend voor de periode 2009-2012. Het gemiddelde percentage ketelwagens met klasse 2 stoffen is 24 procent, voor klasse 3 is dit 49 procent, voor klasse 6 is dit 5 procent en voor klasse 8 is dit 10 procent. De bijdrage van klasse 2, 3, 6 en 8 samen is daarmee 89 procent voor de periode 2009-2012. Dit is in dit rapport gebruikt als basis voor een inschatting voor de gehele periode (2000-2012). Daarmee komt het aantal aanwezige ketelwagens met klasse 2, 3, 6 en 8 stoffen op Franse spoorwegemplacementen samen uit op 8,1 miljoen ketelwagens, dat wil zeggen 620.000 per jaar.

5.3 Aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement RID-Europa

Het statistische bureau Eurostat verzamelt data over transport van gevaarlijke stoffen over het spoor voor RID-Europa (18). De vervoersprestatie per land voor het vervoer van gevaarlijke stoffen in miljoen ton·km per RID-klasse is beschikbaar. Er wordt echter geen onderscheid gemaakt of dit plaatsvond als doorgaand vervoer, of als

onderdeel van rangeerhandelingen op een spoorwegemplacement. Hierdoor is het aantal ketelwagens op een spoorwegemplacement niet bekend.

Een grove inschatting van het gemiddeld aantal ketelwagens per jaar op een spoorwegemplacement in RID-Europa is te maken door het gemiddeld aantal ketelwagens per jaar op een spoorwegemplacement in Nederland en Frankrijk te extrapoleren op basis van de bijdrage van deze landen aan de totale vervoersprestatie binnen RID-Europa. Bij deze extrapolatie is gebruikgemaakt van de vervoersprestatie voor brandbare gassen (RID-klasse 2) en brandbare vloeistoffen (RID-klasse 3). Dit is als voldoende representatief geacht voor het vervoer van de RID-klassen 2, 3, 6 en 8, omdat het aantal ketelwagens op Franse spoorwegemplacementen in de klassen 2 en 3 een factor 5 groter is dan in de klassen 6 en 8 (24% + 49% versus 5% + 10%, zie paragraaf 5.2).

In Tabel 5.3 worden de vervoersprestaties voor Nederland, Frankrijk en RID-Europa gegeven voor de RID-klassen 2 en 3.

Tabel 5.3 Vervoersprestaties (2004-2021) in miljoen ton·km/jaar (Eurostat).

	Nederland	Frankrijk	RID-Europa
Klasse 2	149	1183	8.236
Klasse 3	204	2615	41.643
totaal	353	3798	49.879

Op basis van Tabel 5.3 is af te leiden dat Nederland (0,7%) en Frankrijk (7,6%) samen voor 8,3 procent bijdragen aan de vervoersprestatie van RID-klasse 2 en 3 stoffen binnen RID-Europa. Een globale inschatting van het aantal emplacementsbezoeken in RID-Europa staat in Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Schatting van het aantal emplacementsbezoeken in RID-Europa gebaseerd op aandeel Europees vervoer en aantal emplacementsbezoeken.

Bron	Aandeel in Europees vervoer	Aantal emplacementsbezoeken (ketelwagens per jaar)	Extrapolatie: aantal emplacementsbezoeken (ketelwagens per jaar) in RID-Europa
Nederland	0,7%	156.371	22 miljoen
Frankrijk	7,6%	620.000	8,1 miljoen
Nederland en Frankrijk samen	8,3%	776.371	9,3 miljoen

Het aantal emplacementsbezoeken per jaar in Europa is bepaald door het aantal emplacementsbezoeken in Nederland en Frankrijk te extrapoleren naar Europa op basis van het vervoersaandeel. Deze extrapolatie kent enkele onzekerheden:

- Het aantal emplacementsbezoeken in Nederland en Frankrijk, met de extrapolatie naar de periode waarover casuïstiek

beschikbaar is. De onzekerheid hierin wordt ingeschat als klein (veel minder dan $\pm 50\%$).

- De relatieve bijdrage van het vervoer in Frankrijk en Nederland binnen RID-Europa. De onzekerheid hierin wordt ook ingeschat als klein (veel minder dan $\pm 50\%$).
- De extrapolatie met het aandeel vervoer in Europa is gedaan op basis van de vervoersprestatie in alleen de klassen 2 en 3. De onzekerheid door alleen te extrapoleren met de vervoersprestatie van spoorketelwagens in de klassen 2 en 3 is beperkt (minder dan 20%), omdat deze klassen de meerderheid van de vervoersstroom in klassen 2, 3, 6 en 8 is.
- In de extrapolatie is aangenomen dat het gemiddeld aantal emplacementsbezoeken per ton.km vervoer in Europa hetzelfde is als in Nederland en Frankrijk samen (één bezoek per $5,3 \times 10^3$ ton.km). Naar verwachting zijn er in Nederland relatief meer emplacements-bezoeken per ton.km vervoer door de compactere structuur: de aanwezigheid van industrieclusters en havens op een relatief klein oppervlak. Dit blijkt ook uit de data:
 - in Nederland gemiddeld één emplacementsbezoek per $2,3 \times 10^3$ ton.km;
 - in Frankrijk gemiddeld één emplacementsbezoek per $6,1 \times 10^3$ ton.km.

De Europese data zijn voornamelijk gebaseerd op de Franse data door het hogere aandeel van Frankrijk in het vervoer binnen RID-Europa. De aanname is dat geografische kenmerken van Europa (qua aantal emplacements, lengte trajecten doorgaand vervoer) redelijk overeenkomen met Frankrijk. Vergelijken we de extrapolatie vanuit Frankrijk alleen (8,1 miljoen per jaar) met de extrapolatie vanuit Frankrijk en Nederland samen (9,3 miljoen per jaar, zie *Tabel 5.4*), dan is de onzekerheid in de extrapolatie in de orde van 10 procent. De totale onzekerheid in het aantal emplacementsbezoeken per jaar in RID-Europa wordt hiermee op minder dan een factor 2 geschat.

6 Kans op een groot ongeval

Met het aantal ongevallen dat op een spoorwegemplacement plaatsvond ('teller'-informatie, zie hoofdstuk 4) en het aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt ('noemer'-informatie, zie hoofdstuk 5), kunnen we statistisch een inschatting maken van de kans op een groot ongeval.

Dit hoofdstuk gebruikt drie waarden:

- gemiddelde: de kans op een groot ongeval als verhouding van het aantal ongevallen gedeeld door het aantal wagens;
- 50-percentiel: de bovengrens voor de kans op een groot ongeval op basis van 50 procent betrouwbaarheid;
- 95-percentiel: de bovengrens voor de kans op een groot ongeval op basis van 95 procent betrouwbaarheid.

6.1 Kans op een groot ongeval op een spoorwegemplacement

Er zijn (zonder heuvelen) in de geselecteerde periode geen grote ongevallen gebeurd op de spoorwegemplacementen. De kans op een groot ongeval per ketelwagen is in *Tabel 6.1* gegeven voor drie verschillende bronnen, namelijk:

- Nederland: het aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt in Nederland (*Tabel 5.2*, 156.371 ketelwagens overstand per jaar) gedurende een periode van 21 jaar (paragraaf 4.2.1, ongevalscausistiek uit de periode 1996–2016).
- Frankrijk: het aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt in Frankrijk (*Tabel 5.4*, 620.000 ketelwagens per jaar) gedurende een periode van 13 jaar (paragraaf 4.2.2.1, ongevalscausistiek uit de periode 2000–2012).
- Europa: het aantal ketelwagens dat een spoorwegemplacement bezoekt in Europa (paragraaf 5.3, 9.300.000 ketelwagens per jaar) gedurende een periode van 12 jaar (paragraaf 4.3, ongevalscausistiek uit de periode 2005–2016).

Tabel 6.1 Kans op een groot ongeval op basis van het aantal ketelwagens in de geselecteerde periode.

Bron	Wagens	ongevallen	Gemiddelde /wagen	50- percentiel /wagen	95- percentiel /wagen
Nederland	3.283.791	0	0	$2,1 \times 10^{-7}$	$9,1 \times 10^{-7}$
Frankrijk	8.100.000	0	0	$8,6 \times 10^{-8}$	$3,7 \times 10^{-7}$
Europa	112.000.000	0	0	$6,2 \times 10^{-9}$	$2,7 \times 10^{-8}$

De percentielwaarden geven een bovengrens aan voor de kans op een groot ongeval op basis van een bepaalde betrouwbaarheid (50% of 95%). Aangezien is uitgegaan van 0 ongevallen, is voor al deze resultaten de ondergrens gelijk aan 0. De resultaten kunnen dus worden gelezen als:

- Voor Nederland als gegevensbron ligt de kans op een groot ongeval per ketelwagen met een betrouwbaarheid van 50

procent tussen 0 en $2,1 \times 10^{-7}$. Met een betrouwbaarheid van 95 procent ligt de waarde tussen 0 en $9,1 \times 10^{-7}$.

- Voor Frankrijk als gegevensbron ligt de kans op een groot ongeval per ketelwagen met een betrouwbaarheid van 50 procent tussen 0 en $8,6 \times 10^{-8}$. Met een betrouwbaarheid van 95 procent ligt de waarde tussen 0 en $3,7 \times 10^{-7}$.
- Voor Europa als gegevensbron ligt de kans op een groot ongeval per ketelwagen met een betrouwbaarheid van 50 procent tussen 0 en $6,2 \times 10^{-9}$. Met een betrouwbaarheid van 95 procent ligt de waarde tussen 0 en $2,7 \times 10^{-8}$.

6.2 Vergelijking kans op een groot ongeval met rekenmethode 2021

In deze paragraaf worden de kansen op een groot ongeval uit paragraaf 6.1 vergeleken met de faalkansen van rekenmethode 2021.

6.2.1 *Kans op een groot ongeval met rekenmethode 2021*

In rekenmethode 2021 (1) wordt voor spoorwegemplacements gerekend met 7 verschillende scenario's:

1. Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V).
2. Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR).
3. Eenzijdig ongeval.
4. Locwisselen of kopmaken.
5. Samenstellen van een trein door middel van samenstellen/splitsen en plaatsen.
6. Omhalen
7. Overstand

Voor al deze scenario's zijn basisfaalkansen gegeven en tabellen voor de verschillende scenario's met de faalkans per ketelwagen. Wat de scenario's betreft, zijn de volgende opmerkingen te maken.

- Sinds 2004 (19) wordt het scenario 'Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)' als onderdeel van het doorgaand vervoer gezien. In de herziening van ongevalskansen voor doorgaand vervoer zijn deze scenario's dan ook bij doorgaand vervoer meegenomen. Dit betekent dat dit scenario voor spoorwegemplacements niet meer beschouwd hoeft te worden. Het scenario 'Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel' wordt nog wel beschouwd.
- Ook sinds 2004 (20) is via een juridische uitspraak vastgelegd dat het scenario 'locwisselen of kopmaken' onderdeel is van doorgaand vervoer. Ook dit scenario wordt niet meer beschouwd voor spoorwegemplacements.
- Een type 2-emplacement is gedefinieerd als een spoorwegemplacement waar met treinen met gevaarlijke stoffen uitsluitend sprake is van kopmaken en locwissel en waar geen andere rangeerhandelingen aan deze treinen plaatsvinden. Kopmaken/locwissel is juridisch onderdeel van doorgaand vervoer en bij de actualisatie van de rekenmethode voor doorgaand vervoer ook hierin meegenomen. Er vinden op dit

type spoorwegemplacement geen handelingen plaats die in de risicoberekening meegenomen moeten worden.⁶

- Paragraaf 7.3 bespreekt de invloed van het ballastbed. Daaruit blijkt dat, als er sprake is van de aanwezigheid van een voldoende groot ballastbed, een langdurige en intensieve plasbrand wordt voorkomen. Een kortdurende plasbrand van beperkte omvang heeft geen relevante effecten buiten de terreingrens en daarom geen relevante bijdrage aan het externe veiligheidsrisico. Bij een risicoanalyse voor rangeerhandelingen hoeft een plasbrand, bij aanwezigheid van een ballastbed, daarom niet meegenomen te worden in de risicoberekening. Hierdoor valt het scenario eenzijdig ongeval weg, aangezien het scenario eenzijdig ongeval alleen geldt voor brandbare vloeistoffen.

Voor de overgebleven scenario's worden volgens rekenmethode 2021 (1) de faalfrequenties berekend per type spoorwegemplacement. *Tabel 6.2* geeft een overzicht van de basisfaalkansen voor deze scenario's. Voor de berekeningen van de faalkansen voor type 1- en type 3-emplacementen is voor wat betreft het aantal rangeerhandelingen of overstandtijd uitgegaan van de parameters die zijn vastgesteld in het emplacementenproject (8) en gegeven in *Tabel 6.3*. Met de combinatie van basisfaalkansen en aantal rangeerhandelingen is voor type 1- en type 3-emplacementen de totale faalkans per ketelwagen berekend. De resultaten van deze berekening staan in *Tabel 6.4*.

Tabel 6.2 Basisfaalkansen per ketelwagen van overgebleven scenario's overeenkomstig de rekenmethode 2021.

Handeling	instantaan	continu	totaal
Interactie rangeerdeel geen ATB-vv			
- Brandbare vloeistof	$4,20 \times 10^{-9}$	$6,40 \times 10^{-9}$	$1,06 \times 10^{-8}$
- overig	$4,20 \times 10^{-10}$	$6,40 \times 10^{-10}$	$1,06 \times 10^{-9}$
Interactie rangeerdeel ATB-vv			
- Brandbare vloeistof	$1,90 \times 10^{-9}$	$2,80 \times 10^{-9}$	$4,70 \times 10^{-9}$
- overig	$1,90 \times 10^{-10}$	$2,80 \times 10^{-10}$	$4,70 \times 10^{-10}$
Samenstellen, splitsen, plaatsen			
- Brandbare vloeistof	$1,00 \times 10^{-10}$	$1,50 \times 10^{-10}$	$2,50 \times 10^{-10}$
- overig	$1,00 \times 10^{-11}$	$1,50 \times 10^{-11}$	$2,50 \times 10^{-11}$
Omhalen			
- Brandbare vloeistof	$4,24 \times 10^{-9}$	$6,36 \times 10^{-9}$	$1,06 \times 10^{-8}$
- overig	$4,24 \times 10^{-10}$	$6,36 \times 10^{-10}$	$1,06 \times 10^{-9}$
Overstand (per uur)			
- Brandbare vloeistof	$5,71 \times 10^{-11}$	-	$5,71 \times 10^{-11}$
- overig	$5,71 \times 10^{-11}$	-	$5,71 \times 10^{-11}$

⁶ Bij het kopmaken op een type 2-emplacement vindt ook beperkt overstand plaats (20 minuten–1,5 uur). Aangezien 1 uur overstand een faalfrequentie heeft van $5,71 \times 10^{-11}$ is dit risico te verwaarlozen t.o.v. de risico's van doorgaand vervoer.

Tabel 6.3 Aantal rangeerhandelingen per ketelwagen per type spoorwegemplacement

Handeling	Type 1	Type 2	Type 3
Interactie rangeerdeel tijdens A/V	1	-	1
Samenstellen, splitsen, plaatsen	5	-	2
Omhalen	1	-	1
Overstand (aantal uur)	4	-	2

Tabel 6.4 Totaal van faalkansen per ketelwagen per type spoorwegemplacement (zonder ATB-vv) volgens de rekenmethode 2021.

	stofklasse	Instantaan	Continu	Totaal
Type 1 emplacement	Brandbare vloeistof	$1,47 \times 10^{-8}$	$2,18 \times 10^{-8}$	$3,65 \times 10^{-8}$
	overig	$1,12 \times 10^{-9}$	$1,35 \times 10^{-9}$	$2,47 \times 10^{-9}$
Type 2 emplacement	Brandbare vloeistof	NVT		
	overig			
Type 3 emplacement	Brandbare vloeistof	$1,43 \times 10^{-8}$	$2,14 \times 10^{-8}$	$3,56 \times 10^{-8}$
	overig	$9,78 \times 10^{-10}$	$1,31 \times 10^{-9}$	$2,28 \times 10^{-9}$

De getallen in *Tabel 6.4* zijn afgeleid voor een spoorwegemplacement zonder ATB-vv. Wanneer wel ATB-vv aanwezig is op een spoorwegemplacement dan heeft dat alleen invloed op het scenario 'Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR)'. Overeenkomstig de rekenmethode 2021 wordt voor ATB-vv een reductie van 70 procent op de faalkans gerekend. Voor het betreffende scenario geldt dat niet zeker is dat alle seinen op het spoorwegemplacement zijn voorzien van ATB-vv. Aangenomen wordt dat 80 procent van de seinen zijn voorzien van ATB-vv waardoor gerekend mag worden met een reductie van $0,8 \times 70\% = 56\%$. In dat geval worden de waarden uit *Tabel 6.5* gevonden voor de faalkans per ketelwagen. De bijbehorende tabellen voor deze berekening zijn, ingevuld voor de situatie met ATB-vv, opgenomen in Bijlage 6.

Tabel 6.5 Totaal van faalkansen per ketelwagen per type spoorwegemplacement overeenkomstig rekenmethode 2021 (met ATB-vv).

	stofklasse	Instantaan	Continu	Totaal
Type 1 emplacement	Brandbare vloeistof	$1,24 \times 10^{-8}$	$1,82 \times 10^{-8}$	$3,06 \times 10^{-8}$
	overig	$8,92 \times 10^{-10}$	$9,91 \times 10^{-10}$	$1,88 \times 10^{-9}$
Type 2 emplacement	Brandbare vloeistof	N.V.T.		
	overig			
Type 3 emplacement	Brandbare vloeistof	$1,20 \times 10^{-8}$	$1,78 \times 10^{-8}$	$2,97 \times 10^{-8}$
	overig	$7,48 \times 10^{-10}$	$9,46 \times 10^{-10}$	$1,69 \times 10^{-9}$

6.2.2

Vergelijking met de kans op basis van casuïstiek

In paragraaf 6.1 zijn de percentielwaarden voor de faalkans per ketelwagen afgeleid voor ketelwagens op een spoorwegemplacement op basis van casuïstiek. Hierbij is, voor de casuïstiek, geen onderscheid gemaakt in type emplacement. Deze waarden worden hier nog eens weergegeven in Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Kans op een groot ongeval op basis van de casuïstiek

Bron	Gemiddelde /wagen	50-percentiel /wagen	95-percentiel /wagen
Nederland	0	$2,1 \times 10^{-7}$	$9,1 \times 10^{-7}$
Frankrijk	0	$8,6 \times 10^{-8}$	$3,7 \times 10^{-7}$
Europa	0	$6,2 \times 10^{-9}$	$2,7 \times 10^{-8}$

Deze waarden zijn in Tabel 6.7 vergeleken met de totale kans op een groot ongeval voor een spoorwegemplacement type 3 volgens de rekenmethode 2021. Het verschil in kans tussen type 1 en type 3 emplacement is kleiner dan 10 procent.

Tabel 6.7 Kans op een groot ongeval op basis van de casuïstiek en overeenkomstig rekenmethode 2021 (type 3 emplacement).

Faalkans	Brandbare vloeistof /wagen	Overig /wagen
Rekenmethode 2021, met ATB-vv	$3,0 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-9}$
Rekenmethode 2021, zonder ATB-vv	$3,6 \times 10^{-8}$	$2,3 \times 10^{-9}$
Gemiddelde (casuïstiek)	0	0
95-percentiel (casuïstiek)	$2,7 \times 10^{-8}$	$2,7 \times 10^{-8}$

We zien dat de uit de casuïstiek afgeleide bovengrens (95-percentiel op basis van Europa) vergelijkbaar is met (brandbare vloeistofwagens) of een factor 10 groter is (overige wagens), dan de kans volgens de rekenmethode 2021. De huidige kansen op een groot ongeval vallen dus binnen de bandbreedte van de recente casuïstiek. Dit betekent dat de huidige faalkansen niet strijdig zijn met de casuïstiek, en dat uit de casuïstiek geen betere kansen op een groot ongeval zijn af te leiden.

Met 0 ongevallen in de casuïstiek kun je namelijk niet concluderen dat de huidige kans te laag is (een onderschatting). Met de huidige noemerdata kunnen we ook niet concluderen dat de huidige kans te hoog is (een overschatting). Dit betekent dat er uit de casuïstiek geen bezwaren zijn om de huidige faalkansen te blijven gebruiken.

6.3 Onzekerheden

In paragraaf 6.2 is de kans op een groot ongeval uit de casuïstiek vergeleken met de faalkansen van de rekenmethode 2021. De afgeleide kansen uit de casuïstiek kennen onzekerheden. De onzekerheden betreffen met name:

1. Het aantal waargenomen ongevallen.
De kans op een groot ongeval is afgeleid op basis van 0 waargenomen ongevallen. Als er toch één (niet gevonden in de openbare literatuur) ongeval heeft plaatsgevonden, dan nemen de 50- en 95-percentielwaarden met ongeveer een factor 2 toe (zie *Tabel 6.8*).

Tabel 6.8 Kans op een groot ongeval op basis van de casuïstiek.

Bron	Aantal ongevallen	Gemiddelde /wagen	50-percentiel /wagen	95-percentiel /wagen
Europa	0	0	$6,2 \times 10^{-9}$	$2,7 \times 10^{-8}$
Europa	1	$8,9 \times 10^{-9}$	$1,5 \times 10^{-8}$	$4,2 \times 10^{-8}$

De gemiddelde waarde bij één ongeval, $8,9 \times 10^{-9}$ per wagen, is ongeveer een factor vier hoger dan de faalkans uit de rekenmethode 2021 voor ketelwagens met brandbare gassen, giftige gassen en giftige vloeistoffen ($2,3 \times 10^{-9}$ per wagen voor type 3 emplacement zonder ATB-vv). De onzekerheid in de faalkans door het missen van een ongeval schatten we daarom in op een factor 4.

2. Aantal spoorketelwagens op een emplacement.
In paragraaf 5.3 is geschat dat de totale onzekerheid in het aantal emplacementsbezoeken per jaar in RID-Europa hooguit een factor twee is.

In de rekenmethode 2021 is de kans op een groot ongeval afgeleid uit de kans op een ongeval op basis van incidenten/casuïstiek uit de jaren tachtig (2, 21). Hierbij zijn expert schattingen toegepast om de kans op een incident te vertalen naar de kans op een EV-relevant ongeval. De kans op een EV-relevant ongeval is een factor 10-100 lager geschat dan de kans op een incident voor wagens met gevaarlijke stoffen. Uit *Tabel 6.7* blijkt dat de kans op een groot ongeval voor overige wagens volgens de rekenmethode 2021 een factor 10 lager is dan de 95-percentielwaarde uit de casuïstiek. Hiermee schatten we de onzekerheid in de kans op een groot ongeval in op een factor 10.

7 Invloed van het ballastbed

Al meerdere jaren is er discussie over de invloed van een ballastbed op verschillende scenario's en vooral op de kans op een warme BLEVE. Dit hoofdstuk gaat daarop dieper in. Paragraaf 7.1 beschrijft de huidige bekende onderzoeken voor plasvorming en brandvermogen op een ballastbed. Daarna wordt dieper ingegaan op de verschillende scenario's in relatie tot dit ballastbed. Achtereenvolgens worden het warme BLEVE-scenario, de plasbrand en het vrijkomen van giftige vloeistoffen in het ballastbed behandeld.

Een ballastbed zorgt voor stabiliteit van het spoorstelsel en voor afvoer van regenwater en vloeistoffen. Onder ballastbed verstaan we in dit rapport: een ballastbed dat is aangelegd en onderhouden conform de Ontwerpvoorschriften ProRail OVS00056-7.1 (22).

7.1 Plasvorming en brandvermogen op het ballastbed

In het verleden zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de invloed van een ballastbed op het ontstaan van een plasbrand en daardoor een warme BLEVE. Hierna volgt een overzicht van de resultaten van deze onderzoeken. Het RIVM acht deze resultaten relevant voor deze rekenmethode.

- 7.1.1** *1989: Plasgrootte bij uitstroming op spoorwegemplacements (SAVE)*
De toenmalige ministeries VROM en V&W hebben in 1989 SAVE en NS verzocht om via een proef inzicht te krijgen in de maximale plasgrootte bij instantane uitstroming uit een spoorketelwagen op het spoor (23). Hiervoor werd een proef uitgevoerd op een solitair gelegen kopspoor op emplacement Kijfhoek. De ondergrond bestond uit vlak terrein, bestaande uit droog zand met spaarzame begroeiing. Deze ondergrond was niet bedekt met ballast. Om uitspoelen van grind en grond te voorkomen, lag voor de uitstroombuiging een zeil. Omdat uit ervaringen met uitstromingen is gebleken dat de uitstromende hoeveelheid vaak beperkt blijft tot 50 procent van de inhoud is men voor deze proef uitgegaan van 60 à 70 procent van de inhoud van een 4-assige ketelwagen. Als vloeistof werd gekozen voor water met een groene kleurstof. Het experiment resulteerde in een uitstroom van 42,6 m³ in 60 seconden.

Het rapport stelt: Uit videobeelden en afstandmarkeringen in het terrein werd het oppervlak van het overstroomde terrein ingeschat op 600–650 m². De laagdikte van de vloeistofplas werd op het moment van maximale spreiding aan de rand geschat op 2 cm. Na 10 minuten was het plasoppervlak gereduceerd tot ongeveer 20 procent van de oorspronkelijke omvang, ofwel 120–130 m².

Deze resultaten liggen ten grondslag aan de plasbrandoppervlakten van 300 en 600 m² die sinds die tijd worden gebruikt in de rekenmethoden voor doorgaand vervoer en voor spoorwegemplacements.

7.1.2 1998: Vloeistofafvoer door ballastbed (WL Delft Hydraulics)

WL Delft Hydraulics (24) heeft onderzocht of een ballastbed gecombineerd met een onder het ballastbed aangebrachte goot (toepassing in tunnels voor de Betuweroute) voldoende capaciteit heeft om afstroming over het ballastbed te voorkomen. Met afstromen wordt bedoeld dat de vloeistof niet in het ballastbed wegzakt, maar eroverheen wegvloeit. Dit afstromen kan een grotere vloeistofplas tot gevolg hebben.

Als representatief scenario is gekozen voor een ongeval met lekken van product uit de ketelwagen, gecombineerd met het instromen van bluswater. Hiervoor zijn proeven uitgevoerd in een kleinschalige opstelling van 1×1 m waarin een ballastbed en goot op reële schaal zijn opgebouwd. Daarnaast zijn proeven uitgevoerd met een sectie van 30 m lengte. Er is aangenomen dat in de praktijk bij een lek debieten kunnen worden verwacht van maximaal 4 m³/min productvloeistof en 0,1 m³/min per m² ballastbed bluswater. Voor de sectie van 30 meter betekent dit dus 4 m³/min product en 3 m³/min bluswater.

Het resultaat van deze proeven was dat de stijghoogte in het ballastbed maximaal 5 cm bedraagt, als alleen productvloeistof of alleen bluswater werd aangeboden. Ook wanneer beide vloeistofstromen tegelijk werden aangeboden en de uitstroomopening van de afvoergoot geheel werd afgesloten, vond geen afstroming over het ballastbed plaats. De stijghoogte van de vloeistof in het ballastbed is in dat geval afhankelijk van de hellingshoek van de goot en bedraagt 35–40 cm bij een horizontale goot, 30 cm bij een hellingshoek van 2 procent en 20–30 cm bij een hellingshoek van 4 procent. De belangrijkste beperking voor de afvoer van de vloeistof werd gevormd door de afvoergoot zelf en niet door het ballastbed.

7.1.3 2005: Praktijkproeven Betuweroute (Nibra)

Door Nibra (25) werd een uitstroomproef georganiseerd met als doel te onderzoeken welke invloed aanwezige geluidsschermen en spoorloten hebben op de plasvorm en het plasoppervlak bij een instantane uitstroming van 50 m³ vloeistof. Hiervoor werd een horizontaal trajectdeel van de Betuweroute gekozen met aan één zijde een geluidsscherm op 2 m afstand van het spoor en een sloot op 10 m afstand buiten het geluidsscherm. Aan de andere zijde lag eerst een ballastbed met een tweede spoor, daarnaast nog 3 m grindbed en 7 meter verderop een spoorloot. Tussen het grindbed en de sloot bevond zich een berm van zand en gras. Voor de uitstroming is gebruikgemaakt van een wagen van het type onderlosser met 4 losopeningen (80 x 20 cm). De inhoud van 50 m³ vloeistof kwam binnen 3 minuten vrij. Uit deze proef werden de volgende conclusies getrokken:

- Het totale plasoppervlak bedraagt na 7,5 minuten ca. 570 m². Daarna vindt uitzakking uit het ballastbed plaats en neemt het plasoppervlak toe tot ca. 760 m² na 20 minuten.
- Langs het geluidsscherm ontstaat een geul die zich uitstrekt over een lengte van ongeveer 90 m en ca 2 m breed.
- De uitgestroomde vloeistof wordt geblokkeerd door het geluidsscherm, met uitzondering van het gedeelte waar de deur zich bevindt.

- De uitgestroomde vloeistof komt relatief snel in beide spoor sloten terecht.
- De uitstromende vloeistof in het ballastbed is niet volledig te zien, omdat de stenen van het ballastbed nog droog zijn. Er vindt dus geen afstroming over het ballastbed plaats.

7.1.4 2009: Scenario plasbrand Rotterdam Centraal (Arcadis)

Arcadis (26) heeft modelmatig berekend wat er gebeurt als 70 m³ benzine of pentaan instantaan vrijkomt op een ondergrond van zand voorzien van een ballastbed met een oppervlakte van 600 m² nabij Rotterdam Centraal. De modelberekening over hoe snel de stoffen wegzakken in de ondergrond is uitgevoerd met het model MODFLOW-SURFACT. Uit de berekeningen blijkt dat binnen circa 10 minuten minimaal 97 procent van de totale hoeveelheid is geïnfiltreerd in het zandbed. De overige 3 procent blijft achter in het ballastbed.

Wat de continue uitstroming betreft, wordt gerefereerd aan het eerder uitgevoerde onderzoek door WL Delft Hydraulics.

7.1.5 2012: Brandgedrag van vloeistoffen in een ballastbed (Efectis Nederland B.V.)

In het kader van een onderzoek naar de effectiviteit van sprinklerinstallaties in de Betuweroute heeft Efectis een verkennend onderzoek uitgevoerd naar het brandgedrag in een ballastbed (27). Hiervoor zijn tests uitgevoerd met een ballast met steendiameter $D = 50$ mm. Een stalen bak van 1x1 meter werd gevuld met ballast, waarna de bak werd gevuld met brandstof tot het gewenste niveau en ontstoken. Als brandstof is gekozen voor diesel en heptaan. De conclusie uit dit onderzoek is dat bij een brandstofdiefte van $2D$, dus 100 mm, het brandvermogen met ongeveer een factor 100 wordt gereduceerd ten opzichte van een open vloeistofbrand, van 2,2 MW/m² naar 0,01 MW/m². Bij een brandstofdiefte van $1D$ werd een brandvermogen van 0,16 MW/m² gemeten, dus een reductie met orde grootte van ongeveer een factor 10.

7.1.6 2013: Uitstroomproeven ETT/OCI en Euromax Maasvlakte (SAVE)

In opdracht van APM Terminals Maasvlakte II B.V., Rotterdam World Gateway B.V. en Euromax Terminal Rotterdam zijn uitstroomproeven uitgevoerd uit een tankcontainer met minimaal 28 m³ inhoud (28). Bij de uitstroming is voor een 2 inch- en een 3 inch-uitstroming gekozen. Twee tests zijn uitgevoerd op het spoorwegemplacement van OCI/ETT in Europoort. Voor de derde test is gebruik gemaakt van de Euromax terminal. Als uitstroommedium is gebruik gemaakt van water. Om te voorkomen dat de vloeistofstroom alleen maar tussen de spoorstaven zou terechtkomen, zijn er obstructies aangebracht in de vloeistofstroom om ook een zijdelingse uitstroom te simuleren. Bij de eerste test (2" uitstroming) werd een totaal plasoppervlak gemeten van 34,45 m². Bij de tweede en derde test (3 inch-uitstroom) werd een totaal oppervlak gemeten van circa 100 m². Zodra de toevoer van water werd gestopt, zakte het water binnen 1 minuut weg.

7.1.7 2014: Plasvorming door vloeistofuitstroming in een ballastbed (TNO)

In 2014 heeft TNO een onderzoek uitgevoerd naar de doordringbaarheid van een ballastbed en de zich daaronder bevindende zandlaag (6). De conclusies uit het rapport zijn:

- Een vrijgekomen hoeveelheid vloeistof (benzine, diesel, ethanol) uit bijvoorbeeld een spoorketelwagen zal meteen in het ballastbed doordringen. Als de grindlaag van het ballastbed van voldoende omvang is, vrij is van vervuiling en barrières daarbinnen en eventueel grondwater geen belemmering vormt, zal alle vloeistof in het grindbed worden opgenomen en zal er geen plasbrand ontstaan die een bedreiging kan vormen voor de omgeving of andere wagens op een spoorwegemplacement. De omvang van het grindbed moet dan zodanig zijn, dat in het vrije porievolume alle vrijgekomen vloeistof wordt opgenomen en dat daarbij het vloeistofniveau 1 of meer steendiktes onder het oppervlak van het ballastbed ligt.
- In geval waarin vrijgekomen brandbare vloeistof tot aan de bovenkant van het grind staat en wordt ontstoken, zal de afname van de omvang en het brandvermogen van de plasbrand worden bepaald door de doorlaatbaarheid van de zandlaag onder het grind en door de afbrandsnelheid. Voor het emplacement Waalhaven-zuid zou dit betekenen dat de maximale bereikte waarde naar verwachting hooguit 40 procent zal bedragen van de waarde die bij een plasbrand van een vrij vloeistofoppervlak kan worden bereikt. Na circa 15 minuten zal het brandvermogen minder dan 1/10 bedragen van de waarde die bij een plasbrand van een vrij vloeistofoppervlak kan worden bereikt.

7.1.8 2023: Onderzoek warme BLEVE spoorvervoer; Analyse maatregelen (Antea Group)

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft Antea Group opdracht gegeven om de relevantie van het scenario warme BLEVE te onderzoeken (29). Daarnaast is, op verzoek van het ministerie, gekeken naar aanvullende maatregelen die de kans op, en het effect van een warme BLEVE verder kunnen verlagen. Hieronder staan de conclusies uit dit onderzoek.

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. 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.

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) gereden wordt, 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 ongeval op het spoor. Het rapport van Antea stelt: "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." De voorwaarde daarbij is dat het ballastbed voldoende groot is, zodat de spoorketelwagen bij een ongeval op het ballastbed blijft.

Op basis van alle beschikbare informatie is de conclusie uit dit Antea-onderzoek dat alle momenteel genomen maatregelen op een emplacement ervoor zorgen dat een langdurige plasbrand met significante warmtestraling, en daarmee ook het dominoscenario warme BLEVE, een scenario is dat geen relevante bijdrage heeft aan het risico. Deze conclusie is van toepassing op alle rangeerhandelingen (inclusief overstand) en het passeren van het emplacement op lage snelheid binnen de buitenste sporen van een emplacement en ook voor activiteiten op de buitenste sporen van een emplacement die met lage snelheid (<40 km/hr) plaatsvinden.

Ook wordt gesteld dat er, op basis van dit onderzoek van Antea, buiten de momenteel al genomen maatregelen geen noodzaak is voor aanvullende preventieve maatregelen voor het scenario warme BLEVE.

7.2 Warme BLEVE op een ballastbed

De voorgaande paragraaf beschreef de onderzoeken die het ontstaan van een plasbrand (plasgrootte en vloeistofhoogte) op een ballastbed hebben onderzocht. De redenering achter deze onderzoeken is dat wanneer er geen (noemenswaardige) plasbrand ontstaat, er ook geen warme BLEVE kan ontstaan.

Deze paragraaf bespreekt de casuïstiek van een warme BLEVE op een spoorwegemplacement. Daarna wordt, aan de hand van de belangrijkste conclusies uit deze onderzoeken, een eindoordeel hierop gevormd. Als derde aandachtspunt wordt behandeld dat er tegenwoordig al verschillende maatregelen zijn genomen om warme BLEVE op een spoorwegemplacement te voorkomen.

7.2.1 Warme BLEVE en casuïstiek

In het rapport 'Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor' (5) is een analyse uitgevoerd naar grote ongevallen in de periode 1988–2016. In deze periode is in Europa (RID-landen) geen ongeval aangetroffen, waarbij een warme BLEVE van een gasketelwagen plaatsvond. Dit gold ook voor de daarbij verzamelde ongevallen op een spoorwegemplacement. Ook de huidige ongevalsanalyse in dit rapport bevat geen ongevallen met een warme BLEVE.

Over de afgelopen 30 jaar is er dus geen warme BLEVE op spoorwegemplacements geregistreerd in Europa. Ook op doorgaand spoor is in deze periode in Europa geen warme BLEVE van een gasketelwagen geregistreerd. Wel waren er enkele BLEVE-ongevallen met een brandbare vloeistofketelwagons op het doorgaand spoor.

7.2.2 *Onderzoeken ballastbed*

Al sinds 1989 verrichten diverse instanties onderzoek naar plasgrootte bij uitstroming op een ballastbed en de bergingscapaciteit van het ballastbed. Voor de conclusies per onderzoek verwijzen we naar paragraaf 7.1.

Op verzoek van het ministerie IenW heeft het RIVM een beoordelingsbrief (30) opgesteld over het rapport van TNO uit 2014. In de beoordelingsbrief wordt geconcludeerd:

- “De conclusie uit het TNO-rapport is een logische gevolgtrekking van de gebruikte methodiek en de (tussen)resultaten van hun laboratoriumproeven.... Er is nog een nadere uitwerking nodig van de voorwaarden waaronder de warme BLEVE als gevolg van een plasbrand kan worden beperkt, en wanneer aan deze voorwaarden wordt voldaan. Daarnaast zal ook moeten worden gezien of er naast de voorwaarden die TNO stelt mogelijk nog aanvullende voorwaarden nodig zijn. Wij geven in overweging dit met de betrokken partijen af te stemmen. De expertgroep Maatregelen kan hierbij een voortrekkersrol vervullen. Uiteindelijk zullen de gestelde voorwaarden ook in de lokale praktijk robuust moeten zijn geborgd”
- “De kans van optreden van een warme BLEVE zal significant afnemen als er geen plasbrand mogelijk is. Het scenario ‘warme BLEVE’ kan echter niet helemaal worden uitgesloten, ook als is voldaan aan de bovengenoemde voorwaarden. Om de afname van de kans van optreden van het modelscenario ‘warme BLEVE’ te kunnen kwantificeren, is er nader inzicht nodig in de ongevallen die gerepresenteerd worden door dit modelscenario.”

In dit onderzoek en het eerdere onderzoek ‘Rekenmethode risico’s doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor’ zijn geen ongevallen gevonden die door dit scenario gerepresenteerd worden. Ook is in de rekenmethode 2021 alleen een plasbrand als oorzaak van een warme BLEVE voorzien, en zijn mogelijk andere oorzaken als niet-relevant gezien. Hiermee is aan de tweede conclusie hierboven zo goed mogelijk tegemoet gekomen.

De eerste conclusie hierboven wordt verder uitgewerkt aan de hand van de voorwaarden die in het rapport van TNO (6) gesteld werden aan het ballastbed:

1. Grindlaag van het ballastbed is van voldoende omvang, zodanig dat in het vrije porievolume alle vrijgekomen vloeistof wordt opgenomen en daarbij het vloeistofniveau 1 (of meer) steendiktes onder het oppervlak van het ballastbed ligt.
2. Het ballastbed is vrij van vervuiling en barrières en grondwater vormt geen belemmering.

We kunnen ons hierbij afvragen wanneer het ballastbed van voldoende omvang is.

Uit het rapport van TNO valt te halen dat bij het vrijkomen van de totale inhoud van een spoorketelwagen (65 m^3) een ballastbed met een diepte van 32 cm en een porositeit van 23,5 procent (uitgerekend aan de hand van door TNO genomen monsters) het ballastbed een oppervlak moet hebben van 1024 m^2 om de vloeistof ten minste één laag stenen onder het oppervlak te houden. Hierbij is gerekend met stenen met een diameter van 5 cm. Voor de situatie waarbij de vrijgekomen vloeistof tot de bovenkant van het ballastbed staat, is een oppervlak van 864 m^2 nodig.

Bij deze berekening is echter geen rekening gehouden met het feit dat de vrijgekomen brandbare vloeistof ook doordringt in de onderliggende zandlaag. In 1989 zijn uitstroomprouven uitgevoerd op emplacement Kijfhoek. Hierbij bestond de ondergrond uit droog zand met spaarzame begroeiing en was deze niet bedekt met ballast (23). Na een 'instantane' uitstroming van $42,6 \text{ m}^3$ water in 60 seconden, bleek dat na 10 minuten de vloeistof voor 80 procent was opgenomen door het zandbed. Op basis van berekeningen achteraf, werd de hoeveelheid vloeistof die in de bodem was getrokken op het moment dat de plasomvang maximaal was geschat op 40 procent van het uitgestroomde volume. Indien rekening wordt gehouden met deze vloeistofopname van de ondergrond, dan hoeft het ballastbed maar 60 procent van de inhoud van de spoorketelwagen op te nemen, ofwel 40 m^3 . In dat geval is een ballastbed in de grootteorde van 600 m^2 voldoende om een plasbrand volledig te voorkomen. Opgemerkt moet worden dat bij deze berekening geen rekening is gehouden met eventueel bluswater.

In het in paragraaf 7.1.8 genoemde onderzoek van Antea Group uit 2023 (29) wordt gesteld dat het ballastbed voldoende bergend vermogen heeft om een langdurige intensieve plasbrand te voorkomen. De voorwaarde is daarbij dat het ballastbed voldoende groot is, zodat de spoorketelwagen bij een ongeval op het ballastbed blijft. In de praktijk kan het bij hevige regenval of strenge vorst mogelijk zijn dat door de weersomstandigheden, de afvoer van het ballastbed niet optimaal is. Hoewel hierbij de kans bestaat dat het ballastbed vol loopt met vloeistof, wordt de bijdrage hiervan aan de kans op grote incidenten klein geacht. ProRail stelt dat wanneer door extreme weersomstandigheden de afvoer van het ballastbed niet afdoende is, er geen rangeerhandelingen op het spoor plaatsvinden. En dat er daarmee ook geen ongevallen kunnen ontstaan die ervoor kunnen zorgen dat er een plasbrand ontstaat (Gesprek begeleidingsgroep RIVM, 5 juni 2023). Op basis van alle beschikbare informatie is de conclusie uit dit onderzoek dat alle momenteel genomen maatregelen op een emplacement ervoor zorgen dat een langdurige plasbrand met significante warmtestraling, en daarmee ook het dominoscenario warme BLEVE, een scenario is dat geen relevante bijdrage heeft aan het risico.

Deze conclusies zijn in lijn met de eerdere conclusie die TNO heeft getrokken.

7.2.3

Maatregelen waarmee een warme BLEVE wordt voorkomen en beperkt

Binnen het spoorstelsel zijn al vele maatregelen genomen en regels opgesteld die invloed hebben op de veiligheid op het spoor en de kans op ongevallen verlagen. Veel van deze maatregelen zijn niet expliciet genomen om een warme BLEVE te voorkomen, maar hebben daarop wel een kans- of effectverlagend gevolg. In het verleden zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd om de effectiviteit van deze maatregelen in kaart te brengen. Zie daarvoor bijvoorbeeld het *'Maatregelenonderzoek in het kader van het Rijksonderzoeksprogramma Robuustheid Basisnet Spoor'* (31). Enkele maatregelen die leiden tot een significante verlaging van kans of effect voor een warme BLEVE zijn:

- Maatregelen ter voorkoming van ongevallen/warme BLEVE:
 - Langzaam rijden⁷ (<40 km/uur op een spoorwegemplacement).
 - ATB-vv
 - ETCS/ERTMS
 - Hotboxdetectie/QuoVadis
 - Ontsporingdetectie op elke wagen.
- Maatregelen ter beperking van de gevolgen van een ongeval:
 - Langzaam rijden.
 - Opvang vloeistof in de infra (ballastbed) of naast de infra.
 - Aangepaste treinsamenstelling oftewel warme BLEVE vrij rijden.
 - Crashbuffers (verplicht sinds 2011).
 - Overbufferbeveiliging (verplicht sinds 2015).

Al deze maatregelen dragen bij aan een kleinere kans op een ongeval, een kleinere kans op uitstroming bij een ongeval of een kleinere kans op een domino-scenario zoals een warme BLEVE.

7.2.4

Conclusie warme BLEVE

In de voorgaande paragrafen hebben we beschreven dat:

- Uit de casuïstiek blijkt dat er de afgelopen 30 jaar geen warme BLEVE van een gasketelwagen is geregistreerd in Europa.
- Onder ballastbed wordt een ballastbed verstaan dat aangelegd en onderhouden is conform de Ontwerpvoorschriften ProRail OVS00056-7.1 (22). Een ballastbed zorgt onder normale omstandigheden voor voldoende berging en afvoer van vloeistoffen. Hierdoor zal een plasbrand met significante warmtestraling veel korter duren dan de tijd die nodig is om een volle ketelwagen met brandbare stof dusdanig op te warmen dat er een warme BLEVE ontstaat (geschat op ongeveer 20 minuten).
- Wanneer door extreme weersomstandigheden de afvoer van het ballastbed niet afdoende is, vinden er geen rangeerhandelingen op het spoorwegemplacement plaats.

⁷ 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 spoorwegemplacement geldt echter een maximum snelheid van 40 km/uur ten behoeve van het rangeerproces. In die zin heeft deze snelheidsbeperking wel een kans verlagend effect op de incidenten plasbrand en warme BLEVE.

- In het spoorstelsel voor zowel doorgaand vervoer als spoorwegemplacements zijn maatregelen genomen om de kans op of het effect van ongevallen te verlagen.

Alles in beschouwing genomen, is te stellen dat een langdurige, intensieve plasbrand op een spoorwegemplacement onwaarschijnlijk is als is voldaan aan de volgende voorwaarden:

1. Het spoorwegemplacement is voorzien van een ballastbed.
2. Het ballastbed is voldoende groot, zodanig dat de ketelwagen bij een ongeval op het ballastbed blijft.

Voor een ongeval op een spoorwegemplacement zal een mogelijke uitstroming van brandbare vloeistof plaatsvinden op het ballastbed. Door de aanwezigheid van een ballastbed is de kans 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 warme BLEVE. Het zijn juist alle preventieve maatregelen die al genomen zijn die ervoor zorgen dat het scenario niet meer significant bijdraagt aan het risico. Dat betekent dat het cruciaal is dat deze getroffen maatregelen worden geborgd om de kans op een warme BLEVE zo beperkt te houden.

7.3 Het scenario plasbrand op een ballastbed

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat, als er sprake is van de aanwezigheid van een voldoende groot ballastbed, een langdurige en intensieve plasbrand wordt voorkomen.

Een kortdurende plasbrand kan echter nog steeds ontstaan. Bij het scenario plasbrand is de warmtestraling van belang, waarbij de effectafstand wordt bepaald door een warmtestraling van 10 kW/m² bij een blootstellingsduur van 20 seconden (32).

In de eerder beschreven onderzoeken (zie paragraaf 7.1) is aangetoond dat de uitgestroomde vloeistof snel wordt opgenomen in het ballastbed. Dit betekent dat op een emplacement, waar een doorlopend ballastbed aanwezig is, een uitdijende vloeistofplas erg onwaarschijnlijk is en een plasbrand alleen kan ontstaan in het gebied dat direct wordt geraakt door de uitstromende vloeistof. Zodra de vloeistof is opgenomen in het ballastbed zal de plasbrand uitdoven. Dit heeft tot gevolg dat alleen een kortdurende plasbrand (uitstroomduur + enkele minuten) van beperkte omvang ontstaat. ProRail heeft aangegeven dat de minimale afstand van de buitenste sporen van een emplacement tot de terreingrens circa 10 meter bedraagt. Hieruit is de conclusie te trekken dat een kortdurende plasbrand van beperkte omvang geen relevante effecten heeft buiten de terreingrens en daarom geen relevante bijdrage heeft aan het externe veiligheidsrisico. Bij een risicoanalyse voor rangeerhandelingen hoeft een plasbrand, bij aanwezigheid van een ballastbed daarom niet meegenomen te worden in de risicoberekening.

7.4 Het ballastbed en giftige vloeistoffen

In de voorgaande paragraaf is afgeleid dat de vorming van een vloeistofplas waarbij een plasbrand kan ontstaan, beperkt wordt door de aanwezigheid van een ballastbed. Het ontstaan van een langdurige plasbrand wordt uitgesloten. Een kortdurende plasbrand kan nog wel ontstaan, maar is kleiner van omvang en minder intensief.

Voor een giftige vloeistof is echter de plasverdamping van belang. AKZO heeft in 2004 onderzoek gedaan naar de verdamping van brandbare vloeistoffen (pentaan en methanol) uit een ballastbed in de tunnels van de Betuweroute (33). Uit dit onderzoek volgt dat door de aanwezigheid van 55 cm ballastbed boven de vloeistof de plasverdamping met een factor 8–20 wordt verminderd, afhankelijk van de stromingsomstandigheden in de meetruimte. Het ballastbed heeft dus zeker een reducerend effect in de plasverdamping. Toch plaatsen we twee kanttekeningen bij deze conclusies:

1. De conclusie is geldig voor 55 cm ballast boven de vloeistof. Voor een emplacement is in eerdere onderzoeken aangenomen dat een ballastbed een dikte heeft van 35–50 cm. Het is niet ondenkbaar dat het vloeistofniveau tot 10 cm onder de bovenkant van het ballastbed staat (de grens voor een zogenaamde BBQ-brand ofwel kleine vlammetjes van maximaal enkele cm hoog), of zelfs incidenteel en kortstondig daarboven. Uit het onderzoek van AKZO is wel te halen dat bij het vergroten van de vloeistoflaagdikte van 5 cm naar 20 cm de verdampingssnelheid een factor 3 (voor pentaan) tot 4 (voor methanol) toeneemt. Er is echter geen inschatting te maken van de invloed van het ballastbed bij hogere vloeistofniveaus dan 20 cm.
2. De vloeistof wordt in de proefopstelling van onderuit in het ballast gepompt, waardoor de zich erboven bevindende ballast droog blijft. In werkelijkheid zal de vloeistof van boven door het ballast naar beneden zakken, waardoor de ballast nat wordt. Het totale vloeistofoppervlak neemt hierdoor toe, waardoor de verdampingssnelheid, zeker kort na het ongeval, mogelijk zelfs toeneemt ten opzichte van een zuivere plasverdamping.

De invloed van het ballastbed op de plasverdamping kan hierdoor onvoldoende worden vastgesteld op basis van de nu beschikbare informatie. Hiervoor is een uitgebreid onderzoek noodzakelijk. Voor giftige vloeistoffen wordt, bij gebrek aan voldoende informatie, daarom uitgegaan van de plasoppervlakken volgens de rekenmethode 2021, zijnde 300 m² voor continue uitstroming en 600 m² voor een instantane uitstroming. Dit is waarschijnlijk een conservatieve inschatting.

8 Resultaten en consequenties

Dit hoofdstuk vat de resultaten van dit onderzoek samen. Met de resultaten van dit onderzoek heeft Antea Group een consequentie-onderzoek uitgevoerd. De resultaten van dit consequentieonderzoek staan in paragraaf 8.2.

8.1 Resultaten van dit onderzoek

Uitgaande van de conclusie in hoofdstuk 6 is te stellen dat er geen redenen zijn om af te stappen van de huidige faalkansen voor spoorwegemplacements.

Daarom wordt voorgesteld om de kans op een groot ongeval op basis van de rekenmethode 2021 te blijven gebruiken, met dien verstande dat:

- Het scenario 'Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)' als onderdeel van het doorgaand vervoer gezien wordt en daarom hier niet wordt meegenomen. Het scenario 'Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel' wordt nog wel beschouwd.
- Het scenario 'locwisselen of kopmaken' onderdeel is van doorgaand vervoer. Ook dit scenario wordt niet meer beschouwd voor spoorwegemplacements.
- Op een type 2-emplacement vindt alleen kopmaken/locwissel plaats. Deze activiteit wordt beschouwd als onderdeel van het doorgaande vervoer en hierop is de rekenmethode voor doorgaand vervoer van toepassing. De rekenmethode rangeerhandelingen op een spoorwegemplacement is daarom niet van toepassing op type 2-emplacements.
- Vanwege het bergend vermogen van het ballastbed er alleen een kortdurende plasbrand van beperkte omvang zal ontstaan, die geen relevante bijdrage heeft aan het externe veiligheidsrisico. Een plasbrand hoeft daarom niet meegenomen te worden in de risicoberekening voor rangeerhandelingen.
- Het scenario 'eenzijdig ongeval' wordt, vanwege de sterkte van de spoorketelwagens, alleen relevant geacht voor de stofcategorie brandbare vloeistoffen en resulteert dan in een plasbrand. Aangezien een plasbrand met voldoende warmtestraling voor externe veiligheidseffecten door het bergend vermogen van het ballastbed wordt uitgesloten, vervalt ook het scenario 'eenzijdig ongeval' in de rekenmethode.
- Door het uitblijven van een langdurige intensieve plasbrand bij een voldoende groot ballastbed, wordt de kans op een warme BLEVE op een emplacement verwaarloosbaar geacht. Hierdoor leidt de warme BLEVE niet tot een relevante bijdrage aan het risico van het spoorwegemplacement. Ook dit scenario wordt dan voor spoorwegemplacements buiten beschouwing gelaten.
- De invloed van het ballastbed op de plasverdamping van giftige vloeistoffen kan onvoldoende worden vastgesteld op basis van de nu beschikbare informatie. Hiervoor is meer onderzoek noodzakelijk. Voor giftige vloeistoffen wordt, bij gebrek aan

voldoende informatie, daarom uitgegaan van de plasoppervlakken volgens de rekenmethode 2021, zijnde 300 m² voor continue uitstroming en 600 m² voor een instantane uitstroming. Dit is waarschijnlijk een conservatieve inschatting.

Rekening houdend met bovenstaande overwegingen leidt dit tot de volgende handelingen die relevant zijn voor risico's van rangeerhandelingen:

- Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR).
- Samenstellen van een trein door middel van samenstellen/splitsen en plaatsen.
- Omhalen
- Overstand

Vanwege het bergend vermogen van het ballastbed wordt een plasbrand van brandbare vloeistof niet-relevant geacht voor het externe veiligheidsrisico voor rangeerhandelingen. Dit betekent dat de kans op een groot ongeval voor brandbare vloeistoffen niet meer relevant is. Alleen voor de overige stofcategorieën is de kans op een groot ongeval dan nog van belang. Dit leidt tot de kansen op een groot ongeval per ketelwagen (GF, GT en LT) in *Tabel 8.1*.

Tabel 8.1 Voorstel kans op een groot ongeval per spoorketelwagen op een spoorwegemplacement voor stofcategorieën brandbaar gas, giftig gas en giftige vloeistof (GF, GT en LT).

Handeling	Type Emplacement	
	Type 1	Type 3
Interactie rangeerdeel zonder ATB-vv	$1,1 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-9}$
Interactie rangeerdeel met ATB-vv	$4,7 \times 10^{-10}$	$4,7 \times 10^{-10}$
Samenstellen, splitsen, plaatsen	$1,3 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-11}$
Omhalen	$1,1 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-9}$
Overstand/Intrinsiek falen	$2,3 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$

Toelichting: Deze kansen op een groot ongeval zijn de standaard faalkansen volgens de rekenmethode 2021 waarbij voor samenstellen/splitsen/plaatsen 5x voor type 1 en 2x voor type 3 is gehanteerd. Voor overstand is 4 uur voor type 1 en 2 uur voor type 3 aangehouden, overeenkomstig de huidige voorschriften (zie *Tabel 6.3*).

8.2 Consequentieonderzoek kans op een groot ongeval

Op basis van de resultaten van dit onderzoek heeft Antea Group een consequentieonderzoek uitgevoerd voor drie fictieve voorbeeldemplacementen (type 1 en 3), zie Bijlage 7. In deze paragraaf vatten we kort de conclusies van dit consequentieonderzoek samen. In dit consequentieonderzoek is een vergelijking uitgevoerd van de rekenmethode 2021 en de resultaten van dit onderzoek. Ook zijn er berekeningen gedaan in Safeti-NL 8.3 en 8.8 en voor bepaalde voorbeeldstoffen met oude en nieuwe probits. Het algemene beeld dat uit de berekeningen komt, is dat de contouren afnemen, hoewel het wel per emplacement kan verschillen. Dit heeft te maken met de

handelingen die er plaatsvinden, of de stoffen die er vervoerd worden.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Door het vervallen van de plasbrandscenario's en het domino-scenario warme BLEVE nemen de 10^{-5} en 10^{-6} per jaar contouren af.
- Het scenario interactie bij aankomst en vertrek valt nu onder doorgaand vervoer. Vanwege aanwezige veiligheden (ATB-vv en ERTMS) was dit scenario al niet-maatgevend in rekenmethode 2021. Het effect op uitkomsten van de risicoberekening is daarom beperkt.
- Locwissel en kopmaken valt nu onder doorgaand vervoer. Bij emplacementen waar dit veel gebeurt, heeft het effect. Dit komt terug in een afname van het risico, op de locatie waar locwissel en kopmaken plaatsvinden.
- De uitkomsten van berekeningen met verschillende versies van de rekensoftware (Safeti-NL versie 8.3 of versie 8.8) verschillen nauwelijks van elkaar.
- Er zijn nieuwe probitwaarden voor ammoniak, chloor en acrylonitril. Dit heeft invloed op de effect- en risicoafstanden. Voor ammoniak en acrylonitril is de nieuwe probitrelatie minder streng over de hele range van blootstellingsduur en concentratie. Hierdoor worden de effect- en risicoafstanden kleiner. Voor chloor is de nieuwe probitrelatie voor sommige combinaties van blootstellingsduur en concentratie minder streng, voor andere combinaties strenger. De effectafstanden worden hierdoor groter, voor de risicoafstanden is het beeld niet eenduidig.

In de rekenmethode 2021 is de voorbeeldstof voor D4 acroleïne, de voorbeeldstof voor LT3 is broom. Uit het consequentieonderzoek komt naar voren dat de effect- en risicoafstanden hierdoor kleiner worden.

9 Conclusies en aanbevelingen

De huidige rekenmethode uit 2021 is gebaseerd op informatie en inzichten uit de jaren negentig van de vorige eeuw (1). De Rekenmethodiek voor doorgaand vervoer is in 2019 geactualiseerd (5). In dit onderzoek is een actualisatie van de rekenmethode voor rangeerhandelingen op spoorwegemplacements uitgevoerd op een zodanige manier dat een integrale risicoafweging mogelijk wordt voor rangeeractiviteiten en doorgaand vervoer op emplacements.

Het RIVM heeft onderzocht of er nieuwe gegevens beschikbaar zijn om te komen tot een actualisatie van de rekenmethode voor spoorwegemplacements zonder heuvelproces. Er zijn in de geselecteerde periode anders dan bij heuvelen geen grote ongevallen gebeurd op deze spoorwegemplacements. Met een statistische analyse is een ondergrens en een bovengrens bepaald voor de kans op een groot ongeval. De ondergrens is 0, omdat er in de geselecteerde tijdsperiode geen relevante incidenten hebben plaatsgevonden. De bovengrens hangt af van het aantal ketelwagens dat een emplacement bezoekt en het gekozen betrouwbaarheidsinterval (95%). De faalkansen volgens de rekenmethode 2021 vallen binnen, of zijn vergelijkbaar met dit betrouwbaarheidsinterval. Dat betekent dat de faalkansen van rekenmethode 2021 niet aantoonbaar te hoog of te laag zijn. Met 0 ongevallen is ook geen preciezere waarde vast te stellen. Daarom wordt voorgesteld om de faalkansen rekenmethode 2021 te handhaven. Op basis van de casuïstiek schatten we de onzekerheid in de kans op een groot ongeval in op een factor 10.

Ten opzichte van de rekenmethode 2021 kunnen de activiteiten/scenario's 'Interactie tussen treinen tijdens aankomst of vertrek (A/V)' en 'locwisselen/kopmaken' buiten beschouwing worden gelaten, omdat deze al meegenomen worden in de risico's van doorgaand vervoer. Het scenario 'Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel' wordt nog wel beschouwd.

Uit onderzoek blijkt dat vanwege het bergend vermogen van het ballastbed op spoorwegemplacements, er onder normale omstandigheden alleen een kortdurende plasbrand van beperkte omvang zal ontstaan, die geen relevante bijdrage heeft aan het externe veiligheidsrisico. Ook het scenario 'warme BLEVE' kan bij aanwezigheid van een ballastbed op een emplacement buiten beschouwing worden gelaten, omdat een plasbrand onder deze omstandigheden onvoldoende warmte afgeeft.

Met deze onderzoeksresultaten is het Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid (34) gevalideerd met recentere representatieve gegevens en inzichten. Ook is de rekenmethode vereenvoudigd. Het RIVM beveelt aan om de risico's van rangeerhandelingen van gevaarlijke stoffen op spoorwegemplacements te berekenen volgens de nieuwe geactualiseerde rekenmethode, zoals beschreven in Bijlage 10.

Het onderzoek leidt ook tot een aantal aanbevelingen voor toekomstige stappen of onderzoek, namelijk:

- De casuïstiek en statistiek voor een heuvelemplacement is beschreven in Bijlage 9 van dit rapport. De casuïstiek geeft een (veel) hogere waarde voor de kans op een groot ongeval voor het heuvelproces dan de huidige rekenmethode. In Nederland vindt heuvelen alleen plaats op emplacement Kijfhoek. Daarom is in de algemene rekenmethode geen faalkans voor deze activiteit opgenomen. Bij actualisatie van de QRA voor Kijfhoek moet de kans op een incident tijdens het heuvelen opnieuw beschouwd worden, met inachtneming van de actuele inzichten.
- In dit rapport is een hoofdstuk besteed aan onderzoek naar de invloed van een ballastbed op het ontstaan van een plasbrand en daardoor een warme BLEVE. Alles in beschouwing genomen, is te stellen dat een langdurige, intensieve plasbrand op een spoorwegemplacement onwaarschijnlijk is als het spoorwegemplacement een ballastbed heeft volgens de in dit rapport gehanteerde definitie.
- Bij aanwezigheid van een ballastbed op een emplacement is een hevige, langdurende plasbrand onwaarschijnlijk. Het is echter onvoldoende bekend wat de invloed van het ballastbed is bij verdamping van een toxische vloeistof. Om dit in kaart te brengen, zou een apart onderzoek nodig zijn naar de invloed van een ballastbed op de verdamping van giftige vloeistoffen.
- Behalve de ketelwagens met standaard inhoud waarmee nu gerekend wordt, worden al ketelwagens toegepast met een grotere inhoud. Als grote ketelwagens op grote schaal worden toegepast, wordt aanbevolen de impact van grotere ketelwagens nader te onderzoeken.
- Uit de analyse blijkt dat één ongeval ten onrechte niet was meegenomen bij de afleiding van de kans op een groot ongeval en de gebeurtenissenboom voor doorgaand vervoer. Het meenemen van dit ongeval leidt tot een aanpassing van de faalfrequentie per spoortype, in de orde van 2 procent. Deze verandering is niet-significant. Aanbevolen wordt dit mee te nemen bij de eerstvolgende actualisatie van de rekenmethode voor doorgaand vervoer.
- Met deze actualisatie van de rekenmethode voor rangeerhandelingen en de eerder geactualiseerde rekenmethode voor doorgaand vervoer is nu het integrale risico van een emplacement te berekenen. Met het beschikbaar stellen van Safeti-NL versie 9.2 met ingang van 1 januari 2025 is het ook mogelijk om beide typen activiteiten met één rekenpakket uit te voeren. Hiermee worden de risico's van alle activiteiten op één locatie in beeld gebracht. Zie ook Bijlage 7 voor een door Antea Group uitgevoerd consequentieonderzoek om inzicht te geven in de gevolgen van het nieuwe rekenvoorschrift.

Dankbetuiging

Dit rapport is tot stand gekomen mede dankzij de inspanning van de volgende collega's bij RIVM: Bert Wolting, Eelke Kooi, Gerald Laheij en Mark van de Ven.

Ook was er een begeleidingscommissie betrokken, bestaande uit de volgende personen: Monique Berrevoets (Antea Group), Peter Robbe (ProRail), Wopke Botjes (ProRail), Sjoerd Post (DCMR), Henk Brill (Sabic), Arjen Schulenberg (AVIV) en Cees Smit (Arcadis).

Literatuur

1. RIVM. Rekenmethode voor rangeerhandelingen spoorwegemplacements. Als bedoeld in artikel 2.1 onder C van het Bevi. Versie 1.2 12 april 2021. 2021.
2. SAVE. Basisfaalfrequenties voor het transport van gevaarlijke stoffen per spoor (emplacements). 951599 – 775.; 1995.
3. RIVM. Rekenvoorschriften Omgevingsveiligheid. Module II - Aanvullende voorschriften voor milieubelastende activiteiten onderdeel A, B en E lid 2 t/m 13. 2020.
4. L. Gooijer, G.M.H. Laheij, Wolting AG. Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid RIVM Rapport 620550009/2012 DORA 11-04. RIVM; 2012.
5. RIVM. Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor. Een actualisatie op basis van grote ongevallen in Europa. RIVM-rapport 2019-0208. 2019.
6. Reinders JEA. Plasvorming door vloeistofuitstroming in een ballastbed. TNO 2014 R11934. 2014.
7. A.M.C. Boxman GS, P.A.M. Uijt de Haag, A.A.C. van Vliet. Advies aandachtsgebieden - Beschouwing van voorstel alternatieve benadering voor de berekening van aandachtsgebieden. 2022. Report No.: 2022-0012.
8. Antea Group. Emplacementsproject. Plaatsgebonden risicocontour emplacements Werkwijze modellering en uitwerking. 2019.
9. RIVM. Beoordeling emplacementberekeningen, brief aan IenW met kenmerk IENW/BSK-2019/35149. 2019.
10. RIVM. Handleiding Risicoanalyse Transport, versie 1.2 van 11 januari 2017.
11. SAVE. Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per Spoor . Ref.nr. 060333rev-Q53.; 2006.
12. 1.6.3.32 Convention concerning International Carriage by Rail (COTIF) Appendix C- Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID), (2023).
13. DNV. Étude de l'Accidentologie liée au Transport de Marchandises Dangereuses sur les Sites Européens de Triage de Wagons Compte-Rendu de Phase 2. 2014.
14. SAVE. Vragen met betrekking tot de bepaling van de ongevalkans op lekkage bij het transport van gevaarlijke stoffen per spoor. 2006.
15. Gaschen A. E-mail A. Gaschen aan RIVM, 29 oktober 2022. 2022.
16. ProRail. ProRail noemeronderzoek.xlsx e-mail P.J. Robbe aan RIVM, 4 oktober 2022 uit ProRail systeem Spoorkompas. 2022.
17. Ecorys. Evaluatie Basisnet eindrapport. 2023.
18. Eurostat. Eurostat Database goods transports by rail [cited 2022 27-9-2022]. Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ttr00006/default/table?lang=en>.
19. Raad van State. Uitspraken van de Afdeling bestuursrechtspraak van 28 januari 2004, nr. 200300939/1 2004 [Available from: <https://www.raadvanstate.nl/uitspraken/@15794/200300939-1/>].

20. Raad van State. Uitspraken van de Afdeling bestuursrechtspraak van 9 juni 2004, nr. 200401619/1 2004 [Available from: <https://www.raadvanstate.nl/uitspraken/@17033/200401619-1>].
21. SAVE. De kanscijfers voor het transport van gevaarlijke stoffen per spoor. 1993. Contract No.: OCLC-nummer: 1141033185.
22. ProRail. Ontwerpvoorschrift Baanlichaam en Geotechniek OVS00056-7.1.
23. SAVE. Plasgrootte bij uitstroming op spoorwegemplacements. 1989.
24. WL Delft Hydraulics. Vloeistofafvoer door ballastbed. 1998.
25. N. Rosmuller, Arentsen D. Praktijkproeven Betuweroute: Instantane uitstroming en koeling. 2005.
26. Arcadis. NSP Rotterdam Centraal - Scenario Plasbrand. 2009.
27. Meeussen VJA, de Feiter MP. Brandgedrag van vloeistoffen in een ballastbed. Effectis; 2012.
28. Cals J, Sloof R. Rapport uitstroemproeven tankcontainers. SAVE; 2013.
29. Antea Group. Onderzoek warme BLEVE spoorvervoer. Analyse maatregelen. . 2024.
30. RIVM. Beoordeling plasvorming door vloeistofuitstroming in een ballastbed op emplacementen. Kenmerk 20150157 VLH BW/mst X-10707. 2015.
31. SAVE. Maatregelenonderzoek in het kader van het Rijksonderzoeksprogramma Robuustheid Basisnet Spoor Projectnr. 248046 130465 - DK79. 2013.
32. PGS. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade: Aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Groene Boek). December 2003.
33. Faber J. Bijlage 7 Akzo rapport Proeven ter validatie verdampingsmodel BVL uit ballastbed. 2004.
34. RIVM. Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module II - vervoer van gevaarlijk stoffen. 2025.
35. Antea Group. Verbindende contouren Kijfhoek. projectnummer 0456649.100. 2021 20 januari 2021.

Verklarende woordenlijst en afkortingen

ATB	Automatische Trein Beïnvloeding.
ATB-vv	Automatische Trein Beïnvloeding – Verbeterde versie.
A/V	Aankomst/ Vertrek
Basisnet	Het Basisnet is een routenetwerk voor het transport van gevaarlijke stoffen over spoorwegen, vaarwegen en (rijks)wegen, waarin een duidelijke keuze tussen het spanningsveld van transport, economie en ruimtelijke ordening is aangebracht. Aan elke route/elk traject is daartoe een risicoplaafond voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico toegekend met het daarbij behorende vervoersplafond.
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.
Bloktrein	Trein met wagens met daarin uitsluitend stoffen uit één stofcategorie.
Bonte trein	Trein met wagens met daarin meerdere soorten/categorieën gevaarlijke stof.
EV-relevante uitstroming	Uitstromingen van gevaarlijke stoffen, die aantoonbaar levensbedreigend kunnen zijn.
Explosie	Plotseling vrijkomen van energie, waardoor een drukgolf wordt veroorzaakt.
Fakkel	Verbranding van materiaal dat met grote impuls uit een opening stroomt.
GEVI	Gevaarsidentificatienummer. Deze code staat op het oranje bord dat transporten van gevaarlijke stoffen verplicht zijn te voeren.
GF	(Zeer) brandbaar gas (<i>Gas Flammable</i>).
GT	Giftig gas (<i>Gas Toxic</i>).
LF	Brandbare of zeer brandbare vloeistof (<i>Liquid Flammable</i>).
LF1	Brandbare vloeistof (<i>Liquid Flammable</i>).
LF2	Zeer brandbare vloeistof (<i>Liquid Flammable</i>).
LT	Giftige vloeistof (<i>Liquid Toxic</i>).
Omgevingsveiligheid	Bij omgevingsveiligheid gaat het om de risico's van het gebruik, de productie, opslag en transport van gevaarlijke stoffen en de risico's van windturbines.
Plaatsgebonden risico	De kans dat gedurende een periode van een jaar een persoon dodelijk slachtoffer wordt van een ongeval met gevaarlijke stoffen.
QRA	Quantitative Risk Analysis
Rangeerhandeling	Het veranderen van de samenstelling van de goederentrein, ofwel overstand
RID	Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses. Overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over spoorwegen en is opgenomen

	in het COTIF als Bijlage C. De volgende landen zijn lid: Afghanistan, Albanië, Algerije, Armenië, Oostenrijk, Azerbeïdjan, België, Bosnië en Herzegovina, Bulgarije, Kroatië, Tsjechië, Denemarken, Estland, Finland, Frankrijk, Georgië, Duitsland, Griekenland, Hongarije, Iran, Ierland, Italië, Letland, Liechtenstein, Litouwen, Luxemburg, Monaco, Montenegro, Marokko, Nederland, Noord-Macedonië, Noorwegen, Polen, Portugal, Roemenië, Servië, Slowakije, Slovenië, Spanje, Zweden, Zwitserland, Tunesië, Turkije, Oekraïne, Verenigd Koninkrijk.
Scenario	(ook ongevalsscenario) een beschrijving van een mogelijke reeks gebeurtenissen of situaties
Spoorwegemplacement	Een spoorwegemplacement bestaat uit een aantal naast elkaar liggende sporen, dat door spoorwissels onderling verbonden is.
Stofcategorie (-indeling)/stofklassen	Specifieke indeling van stoffen in een beperkt aantal categorieën dat een voor de externe veiligheid vergelijkbaar risico opleveren en per stofcategorie met één voorbeeldstof gemodelleerd kunnen worden. Uitgangspunt voor deze indeling zijn de voor externe risico's relevante stoffeigenschappen, zoals vluchtigheid, brandbaarheid en toxiciteit.
Wolkbrand	Snelle verbranding van een brandbare gaswolk na vertraagde ontsteking, zonder drukopbouw.

Bijlage 1 Beoordeling van dit onderzoek

Het RIVM heeft criteria ontwikkeld voor het beoordelen van voorstellen voor aanpassing van de rekenmethoden (7) In dit hoofdstuk vergelijken we het onderzoek in dit rapport wat betreft de kans op een groot ongeval bij rangeerhandelingen gevaarlijke stoffen met deze criteria.

Beoordeling van de ontvankelijkheid

De beoordeling van de ontvankelijkheid richt zich op de vraag of een voorstel zodanig compleet is, dat het in behandeling kan worden genomen en inhoudelijk is te beoordelen. Een voorstel is ontvankelijk als het voldoet aan de volgende voorwaarden:

1. *Het is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen.*

Het RIVM heeft het voorstel voor aanpassing van de rekenmethode opgesteld op verzoek van het ministerie van IenW. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.

2. *De voorgestelde aanpassing is zodanig eenduidig en volledig beschreven dat deze toetsbaar is. Voor op de aanpassing van rekenwijzen gerichte voorstellen betekent dit dat het voorstel moet zijn vertaald naar een rekenalgoritme (formule) en dat duidelijk is welke data als input moeten worden gebruikt.*

Het RIVM heeft het voorstel beschreven in de vorm van scenario's met kansen op een groot ongeval en met (vervolg)kansen. Hiermee kan de rekenmethode opgenomen worden in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module II.

Beoordeling van de validiteit

De beoordeling van de validiteit richt zich op de vraag of het voorstel een inhoudelijke verbetering is van het instrumentarium. Een voorstel is valide als het voldoet aan de volgende voorwaarden:

1. *De onderbouwing van het voorstel sluit aan bij de actuele, representatieve, wetenschappelijke inzichten.*

Voor de onderbouwing van het voorstel is gebruikgemaakt van recente wetenschappelijke inzichten. Ook zijn er diverse ongevalsdatabases en experts geraadpleegd om een zo compleet mogelijke inventarisatie te maken van de ongevallen van rangeerhandelingen op spoorwegemplacements. Doordat er zo weinig EV-relevante ongevallen zijn, wordt er (met een aantal aanpassingen) teruggefallen op de huidige rekenmethode. Het RIVM heeft aangetoond dat de gebruikte ongevalskansen in de rekenmethode niet strijdig zijn met de beschikbare casuïstiek.

2. *Aanpassingen aan modellen mogen er niet toe leiden dat stellig wordt voorgesteld wat in werkelijkheid onzeker is. Er moet geen schijnnaauwkeurigheid geïntroduceerd worden.*

De rekenmethode is vereenvoudigd ten opzichte van de huidige rekenmethode en daarmee is geen schijnnaauwkeurigheid geïntroduceerd.

Beoordeling van de betrouwbaarheid

Voordat het RIVM een instrument in beheer kan nemen, moeten zowel de invoer als de resultaten herleidbaar, reproduceerbaar en conservatief zijn. Hiervoor moet het voorstel voldoen aan de volgende voorwaarden:

1. *Het voorstel moet voldoen aan de FAIR-principes. Dat betekent dat de gebruikte (onderzoeks-)data optimaal geschikt zijn voor hergebruik en 100 procent open access zijn.*
De gebruikte onderzoeksdata zijn als attachment bijgevoegd bij dit rapport en/of zijn vindbaar in openbare data. Daardoor voldoet het voorstel aan de FAIR-principes.
2. *De resultaten zijn reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters.*
De resultaten zijn niet gevoelig voor kleine veranderingen: er is aangesloten bij de huidige rekenmethode. De resultaten zijn reproduceerbaar.
3. *In geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak is gekozen voor een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd).*
De faalkansen volgens de huidige rekenmethode zijn vergeleken met de afgeleide kans op basis van casuïstiek. De faalkansen volgens de huidige rekenmethode liggen in de bandbreedte die is afgeleid met de casuïstiek. Er zijn daarom geen argumenten om de huidige rekenmethode aan te passen.
4. *Vergelijkbare situaties worden op een vergelijkbare wijze benaderd.*
De aanpak van de actualisatie sluit aan bij de gehanteerde aanpak en keuzes gemaakt in Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor (5).

Beoordeling van de toepasbaarheid

De beoordeling van de toepasbaarheid richt zich op de vraag of de toepassing van een voorstel tot verandering zodanig passend, relevant, toekomstbestendig, betaalbaar en uitlegbaar is, dat een door het RIVM in beheer genomen voorstel voor aanpassing kan worden geïmplementeerd als onderdeel van de meest actuele versie van het instrumentarium. Een voorstel is toepasbaar als het voldoet aan de volgende voorwaarden:

1. *Als het gaat om een in wet- en regelgeving voorgeschreven instrument is de voorgestelde aanpassing qua methode, bereik en resultaten passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het modelinstrumentarium.*
De rekenmethode komt overeen met de huidige rekenmethode voor emplacementen, maar is beter onderbouwd en geactualiseerd. Hiermee is de methode, bereik en resultaten passend bij de huidige rekenvoorschriften.
2. *De toepassing van het voorstel is wettelijk relevant als voldoende informatie beschikbaar komt voor het in de wetgeving beoogde bestuurlijk afwegingsproces, waarbij het voorstel geen beperkingen mag opleggen aan de informatie die beschikbaar komt voor de bestuurlijke besluitvorming.*
De rekenmethode komt overeen met de huidige rekenmethode voor emplacementen, maar is beter onderbouwd en geactualiseerd. Hiermee komt dezelfde informatie beschikbaar

voor de bestuurlijke besluitvorming: er worden geen beperkingen opgelegd aan de informatie die beschikbaar komt.

3. *De voorgestelde aanpassing is toekomstbestendig. Bij het beoordelen van de toekomstbestendigheid speelt een rol dat de toekomst nooit nauwkeurig is te voorspellen. Om de toekomstbestendigheid te beoordelen, wordt in beeld gebracht in hoeverre het voorstel tot verandering aansluit bij de nu voorziene inhoudelijke ontwikkelingen, maatschappelijke behoeften, bevoegdhedenverdelingen en aanpassingen in wet- en regelgeving.*

De rekenmethode komt overeen met de huidige rekenmethode voor emplacementen, maar is beter onderbouwd en geactualiseerd. De rekenmethode is even toekomstbestendig als de huidige rekenvoorschriften. De rekenmethode sluit aan bij de actualisatie voor doorgaand vervoer, waardoor het nu ook mogelijk is om de gezamenlijke risico's van doorgaand vervoer en rangeerhandelingen op een emplacement te bepalen.

4. *Het is helder welk tijdpad en budget benodigd is om het voorstel tot verandering te verwerken in het door het RIVM beheerde instrumentarium.*

Het voorstel wordt verwerkt in het rekenvoorschrift. Hiermee is het tijdpad en budget helder. Ook kan het meegenomen worden in de nieuwe software, omdat het uiteindelijk slechts kleine veranderingen behelst, zoals het weglaten van een aantal scenario's voor spoorwegemplacementen en het wijzigen van ongevalskansen.

5. *Het voorstel is uitvoerbaar en uitlegbaar door degenen die het moeten toepassen.*

Het voorstel is een vereenvoudiging van de huidige rekenmethode en sluit aan bij de actualisatie voor doorgaand vervoer.

Conclusie

De rekenmethode voldoet aan de criteria ontvankelijkheid, validiteit, betrouwbaarheid en toepasbaarheid.

Bijlage 2 Overzicht van typen spoorwegemplacements

Overzicht van type spoorwegemplacements. De placements onder type 2 met een * zijn meegenomen in de noemerdata van ProRail (16), maar vallen niet onder de spoorwegemplacements die vergunningplichtig zijn. Deze spoorwegemplacements tellen ook niet mee in het placementsproject, de Antea Group-rapportage van 2019 (8). De type 2-placements met * zijn niet vergunningplichtig.

Type 1: Bediening van verladers

- Amsterdam Aziëhaven
- Amsterdam Westhaven
- Axel aansluiting
- Botlek
- Delfzijl
- Europoort
- Hengelo
- Moerdijk
- Maasvlakte
- Pernis
- Sloe
- Waalhaven Zuid

Type 2: Kopmaken/locwisselen

- Acht*
- Almelo*
- Amsterdam Centraal*
- Apeldoorn*
- Arnhem Centraal*
- Arnhem Goederen*
- Blerick
- Boxtel*
- Breda*
- Den Bosch*
- Deventer Goederen
- Dordrecht
- Eindhoven*
- Emmen
- Gekkengraaf*
- Geldermalsen*
- Groningen*
- Maastricht*
- Nijmegen*
- Oldenzaal*
- Oss*
- Oud Zaltbommel*
- Roermond*
- Roosendaal
- Rotterdam Goederen*
- Rotterdam IJsselmonde*
- Tilburg*
- Tilburg Goederen*

- Tilburg Industrie (Loven)*
- Uitgeest*
- Weert*
- Zaltbommel*
- Zevenaar*
- Zutphen*
- Zwijndrecht*
- Zwolle*

Type 3: Rangeren langs de route

- Amersfoort Goederen
- CUP Valburg
- Onnen
- Sittard
- Sas van Gent
- Terneuzen Aansluiting
- Venlo
- Lage Zwaluwe
- Kijfhoek

Bijlage 3 Overzicht van de ongevallen

Tabel 1 de voor dit onderzoek geanalyseerde ongevallen zijn hier weergegeven.

Datum	Plaats-naam (land)	Oorzaak	Stof	Effect	Toelichting	Bron
8-1-1987	Karlsruhe (D)	Oorzaak onbekend, uitstroming uit één wagen met benzine.	Benzine	Geen	Uit nadere analyse blijkt dat er erg weinig informatie is. Ongeval valt buiten de inventarisatie periode.	AVIV
28-12-1989	Bréauté Beuzeville (F)	Trein ontspoord op station en twee ketelwagens met 50 ton ethanol vatten vlam.	Ethanol	Brand	Uit nadere analyse blijkt dat er erg weinig informatie is. Ongeval valt buiten de inventarisatie periode.	AVIV
20-3-1997	Almelo (NL)	Ontsporing	Vuile ballast	Geen	Geen gevaarlijke stof.	MISOS
15-9-2000	Arnhem (NL)	Niet-correct uitvoeren inspecties/controles, wissel defect, te hoge snelheid.	Grind	Geen	Geen gevaarlijke stof.	MISOS

Datum	Plaats-naam (land)	Oorzaak	Stof	Effect	Toelichting	Bron
2-1-2001	Sotteville (F)	Lek bij ventiel/ klep. Locatie: formation. Oorzaak: intrinsiek falen.	LPG	Geen	Klein lek, wagens worden nog verplaatst. Waarschijnlijk kapotte klep/lek bij pakking.	SNCF/ DNV
21-4-2001	Maasvlakte (NL)	Menselijk falen, lege wagons.	Onbekend	Geen	Geen gevaarlijke stof en geen uitstroming.	MISOS
15-5-2001	Kijfhoek (NL)	trein heeft wagens die boven C2 beladen zijn. Maatgeving wielflens onder norm.	Geen GS, Onbekend	Geen	Geen gevaarlijke stof.	MISOS
3-10-2001	Miramas (F)	Botsing van ammoniakwagen met platte wagen. Ammoniawagen heeft een gat van 50 mm. Locatie: entrée van de bundel (na de heuvel) Uit SAVE-notitie: Een wagen met ammoniak op de lijn Parijs-Lyon-Marseille botst op een wagen die ontspoord is tijdens het uitrangeren. De wagen met gevaarlijk gas ontspoord niet, maar door de schok scheurt een pijp en er ontsnapt product in vloeistoffase (bodemklep niet gesloten).	Ammoniak	Toxisch	Uitstroom en incident heuvelproces.	AVIV en SNCF/ DNV
20-10-2001	St. Pierre de Corps (F)	Lek in tankwagon, verder geen afmeting, Tijdens het heuvelen (voor het ontkoppelen) wordt	Argon	NR	Klein lek, lijkt op afblazen van de tankwagen.	SNCF/ DNV

Datum	Plaats-naam (land)	Oorzaak	Stof	Effect	Toelichting	Bron
		het lek geconstateerd en tijdelijk gedicht door de brandweer. Tijd: 10.30 uur constatering en tijdelijke dichting van het lek om 11.45 uur. Daarna kan het ontkoppelen weer doorgaan. Locatie: heuvel. Oorzaak: intrinsiek falen.			(veiligheidsmaatregel).	
16-2-2002	Osnabrück (D)	Aankomende trein ontspoord. Wagen met acrylnitril valt om. Een lege ongereinigde LPG-wagen vlam vat.	Acrylnitril	Brand	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein. Deze valt onder het doorgaand vervoer.	AVIV
16-2-2002	Osnabrück (D)	Aankomende trein ontspoord. Wagen met acrylnitril valt om. Een lege ongereinigde LPG-wagen vlam vat.	Propaan (onger.)	Brand	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein. Deze valt onder het doorgaand vervoer.	AVIV
19-4-2002	Botlek (NL)	Niet overzien van rijweg met als gevolg lichte lekkage ketelwagen (een pufje) en de D-lok lekte diesel (druppellekkage). Snelheid op moment van aanrijding 18 km/u.	Acrylnitril	Geen	Kleine uitstroming	MISOS
26-3-2003	Sibelin	Lek onder wagon, 170kg fluorwaterstofzuur lekt uit de wagon in een tijdspannen van	Fluorwaterstofzuur	Toxisch	Berekend op basis van tekst over incident is de	SNCF/ DNV

Datum	Plaats-naam (land)	Oorzaak	Stof	Effect	Toelichting	Bron
		5 uur. Oorzaak: intrinsiek falen.			gatgrootte ~2mm. Dus een klein lek.	
21-4-2004	Monceau-sur-Sambre (B)	Niet genoeg ruimte tussen stilstaande trein en aankomende trein. Aankomende trein uit Antwerpen botst op stilstaande trein met lege ketelwagens. Lekkage van ketelwagen met ethyleendichloride van trein uit Antwerpen.	Ethyleendic hloride	Geen	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein. Deze valt onder het doorgaand vervoer.	AVIV
17-9-2004	Kijfhoek (NL)	Falend heuvelsysteem, waardoor afloopje niet wordt afgeremd.	Vloeibare kalk	Geen	Geen gevaarlijke stof,	MISOS
23-3-2008	Mulhouse-Nord (F)	Lek in tankwagon, Gat dat lekt met 12 l/u. Locatie: formation Oorzaak: intrinsiek falen.	Zoutzuur	NR	Klein lek van 12 l/u,	SNCF/ DNV
19-02-2010	Kilpilahti (Fin)	Door een menselijke fout rijdt een goederentrein door het stootblok en vallen twee wagons. Geen uitstroom.	Industrial gasoline	Geen	Geen uitstroming	AVIV
14-1-2011	Kijfhoek (NL)	Storing in heuvelproces, te weinig remming, lekkage door overbuffering.	Ethanol	Brand	Ongeval door heuvelproces.	AVIV en PROMISE
6-3-2015	Tilburg (NL)	STS-passage reizigerstrein	Butadien	Geen	Hoort bij doorgaand vervoer.	PROMISE

Datum	Plaats-naam (land)	Oorzaak	Stof	Effect	Toelichting	Bron
13-3-2017	Solaize (F)	Ontsporing door dubbele breuk in het spoor ten tijde van het binnenrijden van de trein. Gat van 45 mm in wagen met bio-ethanol.	Bioethanol	Geen	Uit de nadere analyse blijkt het te gaan om een aankomende trein. Deze valt onder het doorgaand vervoer.	AVIV
18-6-2001	Mulhouse-Nord (F)	Lek in tank, scheur van 8cm, brandweerlieden dichten het lek tijdelijk. Locatie: hoofdspoor. Oorzaak: intrinsiek falen	Zoutzuur	NR	Dit is één van de incidenten waar een productiefout in de ketelwagens was rond die tijd waar de lasnaden niet goed waren. Met zoutzuur ontstond dan lekkage. Op basis van tekst verwacht je geen grote uitstroming, anders kan je het niet tijdelijk dichten.	SNCF/ DNV
3-10-2001	Miramas (F)	Botsing van ammoniakwagen met platte wagen. Ammoniawagen heeft een gat van 50 mm. Locatie: entrée van de bundel (na de heuvel).	Ammoniak	Toxisch	Uitstroom en incident heuvelproces.	AVIV en SNCF/ DNV
26-3-2003	Sibelin (F)	Lek onder wagon, 170kg fluorwaterstofzuur lekt uit de wagen in een tijdspannen van 5 uur. Oorzaak: intrinsiek falen.	Fluor-waterstof-zuur	Toxisch	Berekend op basis van tekst over incident is de gatgrootte ~2mm. Dus een klein lek.	SNCF/ DNV

Datum	Plaats-naam (land)	Oorzaak	Stof	Effect	Toelichting	Bron
5-8-2004	Sibelin (F)	Lek in wagon, scheur van 1 cm wordt afgesloten met een houten wig. Locatie: formation. Oorzaak: intrinsiek falen.	Zoutzuur	NR	Weinig uitstroming, klein gat (1cm) dat gedicht wordt met een houten wig.	SNCF/ DNV
25-5-2005	Sibelin (F)	Perforatie ter hoogte van de klep. Verder geen definitie van hoeveel er lekt. Locatie: formation. Oorzaak: intrinsiek falen.	Zoutzuur	NR	Lijkt een klein lek bij een klep, misschien weer een lasnaad, het is namelijk weer een wagen die zoutzuur vervoert.	SNCF/ DNV
31-7-2006	Miramas (F)	Lek in tankwagen, geen indicatie van grootte of hoeveelheid uitstroming. Medewerker ruikt gasgeur, lek wordt tijdelijk gedicht door brandweer. Locatie: formation. Oorzaak: intrinsiek falen.	LPG	Geen	Klein lek, niet goed aangedraaide flens? In ieder geval was er niet veel aan de hand, ze rijden daarna door met de wagen.	SNCF/ DNV
19-2-2010	Kilpilahti (Fin)	Door een menselijke fout rijdt een goederentrein door het stootblok en vallen twee wagens. Geen uitstroom.	Industrial gasoline	Geen	Geen uitstroming van gevaarlijke stoffen.	
7-8-2010	Sibelin (F)	Lek in tankwagon (20 l/u) aan de onderkant bij de afsluiting van de tank. Locatie: formation. Intrinsiek falen.	Aceton	Geen	Berekend op basis van tekst over incident is de gatgrootte ~1mm. Dus een klein lek.	SNCF/ DNV

Bijlage 4 Aanvullende ongevalsanalyse

Op de volgende pagina's wordt de aanvullende ongevalsanalyse weergegeven die is uitgevoerd met experts van ProRail. Eerst worden de analyses beschreven voor data uit het onderzoek voor doorgaand vervoer, vervolgens voor Franse data uit onderzoek DNV en SNCF. Ongevalsanalyse ongevallen door het heuvelproces worden aan het einde apart besproken.

Ongevalsanalyse Europese data uit onderzoek voor doorgaand vervoer

45 Monceau sur Sambre (B) 21-4-2004

- Analyse actualisatie doorgaand vervoer: Cempl
- Definitie wanneer doorgaand vervoer: "In de analyse van de ongevallen is onderscheid gemaakt tussen doorgaand vervoer (inclusief alle aankomende en vertrekkende treinen op een emplacement) en treinen of treindelen die emplacementshandelingen ondergaan."
- Uit het incidentrapport:
 - o "a train composed of 24 wagons, hauled by 2 locomotives, arrived on track 6 from Antwerp..."
 - o Speed of moving train: 20 – 25 km/h
- Cause of occurrence (if clearly known): operational cause (rail operation)
- Maar lage snelheid (20-25 km/h)
- Zichtbaarheid een aspect?
- Incident gebeurde om 3.45u
- Geen bijzonderheden aangegeven over het weer in het incidentrapport
- Volgens definitie zou dit incident doorgaand vervoer moeten zijn

Conclusie: niet meenemen dit is doorgaand vervoer.

39 Osnabruck 16-2-2002

- Analyse actualisatie doorgaand vervoer: Cempl
- Uit het incidentrapport, Duitse tekst:
 - "In der Nacht von Freitag auf Samstag kommt es gegen 1:20 Uhr bei der Einfahrt eines Zuges in dem Bahnhof..."
 - Aankomen/ vertrek? Of onderdeel rangeerhandeling op emplacement?
 - Snelheid: 40 km/h (uit nieuwsartikel 16-2-2002)
 - Uit incidentrapport
 - o Stof: acrylnitril
 - o Tijdstip: 1.30u
 - o Gatgrootte: 50x10cm
 - o Inhoud: 60.000l
 - o Oorzaak: shunting error
 - Duur uitstroom (berekend): ~5 min

Conclusie niet meenemen dit is aankomst/ vertrek

70 Solaize 13-3-2017

- Uit de Aria database (vertaald uit het Frans)
- Rond 04.00 uur ontspoorde op het rangeerstation een trein van 22 goederenwagens. Twee wagons met elk 60 ton bio-ethanol lagen op hun kant. Een derde raakt hen. Het blijft op zijn spoor, maar lekt door een gat van 45 mm.
- Rond 7.15 uur hebben ze het lek gedicht. De uitstroom wordt geschat op 30 ton bio-ethanol.
- Oorzaak: defect spoor
- Uit het incidentrapport: "De oorzaak van het ongeval was de dubbele breuk van een stuk rail onder de passage van de zware trein."
- Handeling ten tijde van het incident: 'Sommige treinen vallen echter niet onder deze sorteeroperaties: dit zijn zogenaamde "hele" treinen. De trein die op 13 maart 2017 verongelukte was er daar één van. Deze hele treinen stoppen over het algemeen op het emplacement om te wachten op een treinpad op hun route, of om van machinist of locomotief te wisselen...'
- Verklaring verkeersleider: "Trein nr. 489241 meldde zich om 03.53 uur door het automatische treinaankondigings-systeem op spoor 1 bis. De route wordt uitgezet voor ontvangst op spoor 101 volgens de theoretische spoorbezettingsgrafiek. De route is tot stand gebracht en er is geen sprake van verstoring. Om 03.55 uur passeerde de trein de wissels op het traject naar spoor 101. Om 04.05 uur meldde de treindienstleider mij dat de trein ontspoorde."

Conclusie: doorgaand vervoer, niet meenemen

3 Bréauté Beuzeville 28-12-1989

- Uit de Aria database (vertaald uit het Frans)
- Rond 18.00 uur ontspoorde op station BREAUITE een trein en vatten twee ketelwagens met 50 ton ethylalcohol vlam.
- Geen informatie over gatgroottes en uitstroomhoeveelheden

Conclusie: erg weinig informatie, lang geleden, niet meenemen

56 Kilpihlati Fin 19-2-2010

- Goederentrein door stootblok, 2 ketelwagens vallen naar beneden op gasleiding. Geen uitstroom van gevaarlijke stoffen uit ketelwagens of gasleiding
- Oorzaak: menselijke fout

Conclusie: niet meenemen

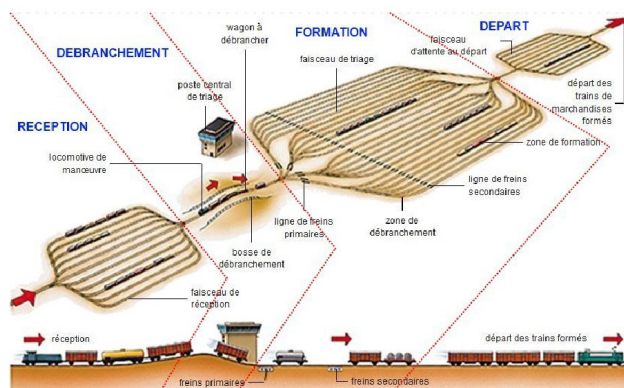
0 Karlsruhe 8-1-1987

- Vanuit geheime/vage UIC gegevens

Conclusie: erg weinig informatie, lang geleden, niet meenemen

Ongevalsanalyse Franse data uit onderzoek DNV en SNCF

Figuur 1 Schematische weergave van de indeling van een heuvelemplacement in Frankrijk. Met vier zones: aankomstsporen (reception), heuvel (debranchement), sporen waar treinen worden samengesteld (formation) en sporen waar treinen wachten op vertrek (depart).



2(271) Sotteville (F) 2-1-2001

- Een medewerker ontdekt een groot lek bij ventiel/ klep. De brandweerlieden verzochten de tussenkomst van de technici van Butagaz en plaatsten de wagen op het MD-spoor. Er wordt een veiligheidsperimeter ingesteld die de receptie en de hoofdlijnen in het binnenland neutraliseert van 15.30 uur tot 17.20 uur Couronne, In overleg met de Butagaz-veiligheidsdienst en de managers van Sotteville werd de wagen naar het depot op 03 vervoerd voor opslag.
- Stof: LPG
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: formation

Conclusie: klein lek, niet meenemen

- Klein lek, want verplaatsen van wagons met gevaarlijke stoffen ga je niet doen met een groot lek. Is er sprake van: kapotte klep? Lek bij de pakking?

3 (823) Sibelin (F) 26-3-2003

- Om 01.50 uur werd een groot lek ontdekt onder de wagen, bij een flensverbinding. De brandweer slaagde er rond 06.35 uur in om het lek tijdelijk te dichten. Verlies van 170 kg zuur. De werkzaamheden op het emplacement worden om 06.50 uur hervat. Om 10.55 uur gaat het weer lekken. De sorteeractiviteit wordt opnieuw onderbroken. De brandweer heeft het lek rond 13.30 uur gedicht. De werkzaamheden op het emplacement worden om 15.40 uur hervat.
- Stof: fluorwaterstofzuur
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: formation
- Berekend op basis van tekst hierboven (170kg in 5u): $30 \text{ kg/u} = 30 \text{ l/u}$; gatgrootte $\sim 2 \text{ mm}$

Conclusie: niet meenemen, klein lek

4 (2427) Sibelin (F) 7-8-2010

- Een SNCF-agent constateerde een groot lek (geschat op ongeveer 20 l/u) ter hoogte van de afdichting van de tankbodemplak van de wagen geladen met Aceton (33-1090). De ongevalprocedure wordt toegepast. De activiteiten op emplacement werden opgeschort. De brandweerlieden installeerden een retentietank en vroegen PRF om contact op te nemen met de vervoerder voor interventie. Om 19.00 uur werd perimeter ingesteld inclusief de heuvel, de Noord- en Zuid-relais en hoofdsporen A en B. Om 20.04 uur werd de veiligheidsperimeter uiteindelijk teruggebracht tot sporen 39 t/m 41 en het verkeer op de hoofdsporen zijn hersteld. De brandweer probeerde tevergeefs het lek te dichten. De brandweerlieden vertrokken nadat ze de vuller hadden gevraagd het product over te brengen. Op 08/08 stelde de firma NOVAPEX lege wagen ter beschikking aan het station van Salaise om naar Sibelin te worden vervoerd. De klant vraagt de hulp van specifiek materieel aan de brandweer om de productoverdracht uit te voeren. De brandweer is om 10.30 uur ter plaatse. Het lossen begint om 12.15 uur en eindigt om 15.00 uur. De perimeter wordt opgeheven om 15.30 uur (eind van de gebeurtenis).
- Stof: Aceton
- Locatie op emplacement: formation
- Afgeleid op basis van uitstroom 20l/u: ~1mm gat

Conclusie: niet meenemen, klein lek

5(369) Mulhouse Nord 18-6-2001

- Om 07:00 merkte een agent een lek op. Brandweerlieden, een interventieteam van de afzender en technici van de ontvanger zijn aanwezig. Op de tank wordt een scheur van 8 cm ontdekt. Dichten het lek tijdelijk en overslag naar andere tankcontainers voltooid. Einde interventie om 17.55 uur Verkeershervatting om 17.55 uur
- Stof: zoutzuur
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie: hoofdspoor (faisceau principal)
- waar is dit op het emplacement? Midden van een spoorbundel?

Conclusie: kleine lekkage, niet meenemen

- dit is één van de incidenten waar een productiefout in de ketelwagens was rond die tijd waar de lasnaden niet goed waren. Met zoutzuur ontstond dan lekkage. Op basis van tekst verwacht je geen grote uitstroming, anders kan je het niet tijdelijk dichten.

6(1163) Sibelin 5-8-2004

- Om 14.00 uur constateerde een medewerker een lek onder de wagen. Ze ontdekken een scheur in een lasnaad en dichten deze tijdelijk af met een houten wig.
- Bij omschrijving van het lek staat: gat van 1 cm
- Stof: zoutzuur
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: formation

Conclusie: niet meenemen

- klein gat (1cm) dat gedicht wordt met een houten wig

7(1371) Sibelin 25-5-2005

- Om 14.50 uur meldde een medewerker een lek bij een klep. Om 15.30 uur constateerden de brandweerlieden een perforatie ter hoogte van de klep, die ze dichtten. Na overleg werd besloten het product over te laden in tankwagens. Het overladen begint om 21.00 uur en eindigt om 2.45 uur op 26/05. Het incident eindigt om 02:45 uur.
- Stof: zoutzuur
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: formation

Conclusie: niet meenemen

- klein lek bij een klep, misschien weer lasnaad?

8(1654) Miramas 31-7-2006

- Om 12.20 uur constateerde een medewerker een lek en een gasgeur bij de ketelwagen. Er werd onmiddellijk een veiligheidsperimeter ingesteld die de sporen 1 en 2 omvatte, evenals het volledige rangeerterrein. De brandweerlieden voeren de eerste maatregelen uit en vragen om versterking van het VIRT-voertuig. Om 14.10 uur wordt het verkeer op de sporen 1 en 2 teruggebracht en hervat het emplacement zijn activiteiten. De wagen wordt op het MD-spoor geplaatst. Tijdelijke dichting wordt uitgevoerd door de brandweerlieden in afwachting van de tussenkomst van technici die om 15.00 uur ter plaatse arriveerden. Ze gaan verder met het dichten van de flens. Einde van de interventie om 15.45 uur. De wagen kan zijn reis voortzetten.
- Stof: LPG
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: formation

Conclusie: niet meenemen

- klein lek, niet goed aangedraaide flens? In ieder geval was er niet veel aan de hand, ze rijden daarna door met de wagen

9(2014) Mulhouse Nord 23-3-2008

- Om 05.05 uur merkte een medewerker op het rangeerterrein damp op uit de ketelwagen. De brandweerlieden lokaliseerden een lek onder de wagen in het midden van de tank tussen de tank en de leiding ter hoogte van een afvoerbuis. Ze kunnen het lek niet dichten (12l/uur). Brandweer vraagt een overlading aan. De transfer begint om 15.30 uur en eindigt om 19.10 uur.
- Stof: zoutzuur
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: formation

Conclusie: niet meenemen

- klein lek (12 l/u)

10(461) St Pierre de Corps 20-10-2001

- Op zaterdag 20 oktober 2001 constateerde een medewerker op het emplacement om 10.32 uur een lek op een wagen geladen met sterk gekoeld argon. gemeld om 10:40 uur en ze arriveren ter plaatse om 10:50 uur. Het heuvelproces wordt gestopt op het emplacement. De civiele bescherming wordt verwittigd om 11:15 uur, deze arriveert ter plaatse om 11:32 uur. De

brandweerlieden dichten het lek tijdelijk om 11u45; het afkoppelen van de wagons kan hervat worden.

- Stof: argon (RID klasse 2)
- Faaloorzaak: intrinsiek falen
- Locatie op emplacement: de heuvel (debranchement)

Conclusie: niet meenemen

- Klein lek
- lijkt op afblazen van de tank (veiligheidsmaatregel), temperatuur in Frankrijk in de ochtend was rond de 15°C

Ongevalsanalyse ongevallen als gevolg van het heuvelproces

269076/ 61 Kijfhoek 14-1-2011

- In AVIV-analyse en Misos/Promise
- Botsing door fout in heuvelproces, wagen met ethanol scheurt, lekt en brandt. Start incident ~21.30u
 - o "Op zaterdagochtend 15-01-2011, omstreeks 10:00 uur is de ketelwagen met Ethanol leeg gebrand en dooft het vuur."
 - o Gatgrootte is onbekend
- Uit contact experts ProRail:
 - o Verouderde wagen, deze zijn uitgefaseerd.
 - o Tegenwoordig crashbuffers en/of opklimbeveiliging verplicht.
 - o Gevolg van bedienfout, die nu niet meer kan voorkomen

Conclusie: meenemen

38/446 Miramas (F) 3-10-2001

- In rapport DNV en AVIV analyse
- Locatie: entrée au faisceau principal/ aankomst op het hoofdspoor
- AVIV (uit ARIA database)
 - o Tijdens het rangeren rond 03.40 uur botste een wagen met 48 ton ammoniak (7 bar) tegen de buffer van een platte wagen, die net na een wissel geparkeerd stond. Er ontstond een scheur bij de leiding/tankverbinding en lekkage.
 - o De giftige wolk strekte zich uit (8 tot 10 m/s) tot 700 m van de wagen. De volgende ochtend stopt het lek vanzelf. 48 ton product kwam vrij.
- DNV rapport
 - o Om 05.30 uur, toen de trein werd losgekoppeld, geladen met ammoniak raakte een lege platte wagen die aan de kop van het zijspoor stopte. Door de schok ontspoorde de platte wagen waardoor een leiding van de ammoniakwagen (die op de rails bleef staan) beschadigd raakte. Hierdoor lekte het product onder de wagen door een gat van circa 50 mm. De brandweer is om 05.45 uur ter plaatse.
 - o De daadwerkelijke overdracht begint om 18.37 uur en eindigt om 04.45 uur. Om 04.50 uur wordt baan 2 weer vrijgegeven, maar baan 1 blijft verboden vanwege de aanwezigheid van slangen van de brandweer. De ketelwagen had nog een restlek en de spray werd gehandhaafd tijdens de werkzaamheden om de aan de ammoniakwagens gekoppelde wagens te bevrijden en tijdens het hijsen van de ontspoorde platte wagen. Spoor 1 wordt uiteindelijk om 13.00 uur teruggegeven en om 15.00 uur wordt het rangeren hervat.

- Gatgrootte (uit DNV rapport): 50mm
- Stof: ammoniak
- Locatie op het emplacement: Heuvel/ net na de heuvel

Conclusie: meenemen, groot lek

Bijlage 5 Analyse ongevallen buiten selectieperiode uit notitie SAVE

Tabel 2 Beschrijving ongevallen uit SAVE-notitie (14)

Nr.	Datum, plaatsnaam (land) Oorzaak	Stof en stofcat.	Effect	Analyse	Toelichting
S1	26-5-1991, Kinkempois (B) Menselijke handelingsfout	Acrylnitril LF2/LT1	Geen		Uitstroming, maar valt buiten periode selectie ongevallen
S2	26-3-1993, Aulnoye (F) Twee wagens komen met elkaar in botsing bij de uitgang van het rangeerterrein.	Methyl- chloride GF2	Geen	Wagens botsen bij de uitgang van het rangeerterrein, dit ongeval valt dus onder doorgaand vervoer.	Betreft een trein die valt onder doorgaand vervoer.
S3	5-2-1997, Guéret (F) Op een baanvak naar een industriegebied (raccordement) ontsporen 11 wagens door het inzakken van de ballast. Twee ketelwagens met elk 70.000 liter brandstof kantelen en komen terecht in de tuin van een appartementen- gebouw.	Brandstof GF3	Geen	Geen uitstroming van gevaarlijke stoffen.	Geen uitstroming
S4	25-1-1995, Gent (B) Technisch mankement Een spoorstaafbreuk laat 10 ketelwagens met ammoniak ontsporen. 90 ton ammoniak ladingsverlies uit 5 wagens. 0 doden, 0 gewonden. Ontsporing terwijl de trein een zijspoor oprijdt om uit de weg te gaan voor een passagierstrein.	Ammonia k GT3	giftig	Het incident gebeurt met de trein, terwijl deze een zijspoor oprijdt. In dat geval valt het onder doorgaand vervoer.	Betreft een trein die valt onder doorgaand vervoer.
S5	19-6-1995, Merelbeke (B) Slechte 'stouwing' van containers. In 3 containers lekken 17	2,4- dichloro- phenoxya cetic en 68%	Geen		Uitstroming, maar valt buiten periode selectie ongevallen.

Nr.	Datum, plaatsnaam (land)	Stof en stofcat.	Effect	Analyse	Toelichting
	Oorzaak vaten à 258,5 kg met 2,4-dichloro-phenoxyacetic gezouten met 68% dimethylamine. Er worden geen gevolgen gemeld.	dimethylamine			
S6	10-7-1997, Vaires-sur-Marne (F) Ontsporing van de twee laatste wagens van een trein met vloeibare ammoniak. De een na laatste wagen blijft overeind, de achterste wagen kantelt. De brandweer constateert lichte lekkage en stelt een ruime veiligheidszone in. Het lek wordt snel gedicht en het baan wordt in de daaropvolgende uren geruimd.	Ammoniak GT3	Giftig	Uitstroming, maar is geen spoorwegemplacement (bron DNV- rapport).	Is geen spoorwegemplacement.
S7	31-12-1999, St. Pierre-des-Corps (F). Bij het aandoen van een depot wordt een treinstel van 11 wagens waarvan 7 wagens met koolwaterstof werden gelost in beweging gezet, in plaats van het treinstel van 11 lege wagens die op het naburige spoor geparkeerd stond. Het losrukken van de slangen heeft tot gevolg dat er stookolie wegvloeit tot aan het eerste deel van de ITE.	Koolwaterstof LF1	Geen	Geen rangeerhandeling, zou hebben plaats-gevonden op een inrichting.	Is geen spoorwegemplacement.

Bijlage 6 Berekening totale faalkans per spoorketelwagen per type spoorwegemplacement voor de situatie met ATB-vv volgens de rekenmethode 2021

In de tabellen 3, 4 en 5 hieronder staan de berekeningen voor de faalkans per ketelwagen voor de situatie met ATB-vv en vervolgens uitgesplitst per type emplacement. Met C3 wordt bedoeld de voor Spoor gebruikte stofcategorie C3: zeer brandbare vloeistoffen.

Tabel 3 Basisfaalkans

handeling	instantaan	3 inch	totaal
Interactie rangeerdeel geen ATB-vv			
• C3	4,20E-09	6,40E-09	1,06E-08
• overig	4,20E-10	6,40E-10	1,06E-09
Interactie rangeerdeel ATB-vv			
• C3	1,90E-09	2,80E-09	4,70E-09
• overig	1,90E-10	2,80E-10	4,70E-10
Eenzijdig ongeval			
• C3	5,50E-09	8,30E-09	1,38E-08
• overig			0,00E+00
Samenstellen, splitsen			
• C3	1,00E-10	1,50E-10	2,50E-10
• overig	1,00E-11	1,50E-11	2,50E-11
Omhalen			
• C3	4,24E-09	6,36E-09	1,06E-08
• overig	4,24E-10	6,36E-10	1,06E-09
Overstand (1 uur)			
• C3	5,71E-11		5,71E-11
• overig	5,71E-11		5,71E-11

Tabel 4 Type-1 emplacement met ATB-vv

handeling	# handelingen	instantaan	3 inch	totaal
Interactie rangeerdeel geen ATB-vv	0			
• C3		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
• overig		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Interactie rangeerdeel ATB-vv	1			
• C3		1,90E-09	2,80E-09	4,70E-09
• overig		1,90E-10	2,80E-10	4,70E-10
Eenzijdig ongeval	1			
• C3		5,50E-09	8,30E-09	1,38E-08
• overig		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Samenstellen, splitsen	5			
• C3		5,00E-10	7,50E-10	1,25E-09
• overig		5,00E-11	7,50E-11	1,25E-10
Omhalen	1			
• C3		4,24E-09	6,36E-09	1,06E-08
• overig		4,24E-10	6,36E-10	1,06E-09
Overstand (1 uur)	4			
• C3		2,28E-10	0,00E+00	2,28E-10
• overig		2,28E-10	0,00E+00	2,28E-10
Totaal C3		1,24E-08	1,82E-08	3,06E-08
Totaal overig		8,92E-10	9,91E-10	1,88E-09

Tabel 5 Type-3 emplacement met ATB-vv

handeling	# handelingen	instantaan	3 inch	totaal
Interactie rangeerdeel geen ATB-vv	0			
• C3		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
• overig		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Interactie rangeerdeel ATB-vv	1			
• C3		1,90E-09	2,80E-09	4,70E-09
• overig		1,90E-10	2,80E-10	4,70E-10
Eenzijdig ongeval	1			
• C3		5,50E-09	8,30E-09	1,38E-08
• overig		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Samenstellen, splitsen	2			
• C3		2,00E-10	3,00E-10	5,00E-10
• overig		2,00E-11	3,00E-11	5,00E-11
Omhalen	1			
• C3		4,24E-09	6,36E-09	1,06E-08
• overig		4,24E-10	6,36E-10	1,06E-09
Overstand (1 uur)	2			
• C3		1,14E-10	0,00E+00	1,14E-10
• overig		1,14E-10	0,00E+00	1,14E-10
Totaal C3		1,20E-08	1,78E-08	2,97E-08
Totaal overig		7,48E-10	9,46E-10	1,69E-09

Bijlage 7 Consequentieonderzoek

Antea Group (20 januari 2025) Consequentieonderzoek emplacementen.
Projectnummer 0495352.100.

Antea Group heeft een consequentieonderzoek uitgevoerd. Dit consequentieonderzoek geeft inzicht in de berekende omgevingsveiligheidsrisico's van rangeerhandelingen op emplacementen volgens de in dit rapport actuele rekenmethode (zie Bijlage 10). Ook zijn berekeningen uitgevoerd met twee verschillende versies van Safeti-NL (versie 8.3 en versie 8.8).

Het rapport is te vinden via:

<https://www.rivm.nl/documenten/consequentieonderzoek-emplacementen-anteagroup>

Bijlage 8 Correctie rekenmethode doorgaand vervoer

Inleiding

Het Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid module III geeft de effecten en kansen voor het berekenen van de risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor. Deze zijn afgeleid in RIVM rapport 2019-0208 (5).

Bij het onderzoek naar de ongevallen op emplacementen bleek dat drie ongevallen bij nadere analyse bij doorgaand vervoer behoren, namelijk:

- Nummer 70. Datum 13-3-2017. Locatie: Solaize (F)
- Nummer 45. Datum 21-4-2004. Locatie: Monceau-sur-Sambre (B)
- Nummer 39a/b. Datum 16-2-2002. Locatie: Osnabrück (D)

Deze ongevallen vallen buiten de geselecteerde periode (2005 – 2016) die gebruikt is in de Rekenmethode risico's doorgaand vervoer gevaarlijke stoffen over spoor voor het bepalen van de faalkans. Op twee punten hebben deze drie ongevallen mogelijk wel invloed:

1. De verdeling van de kans op een groot ongeval in RID-Europa over de spoortypen A,B en C wordt bepaald aan de hand van casuïstiek in de periode 1988 t/m 2016 en de vervoersprestatie Europa.
2. De gebeurtenissenboom met vervolgekansen voor doorgaand vervoer is bepaald aan de hand van casuïstiek in de periode 1988 t/m 2016.

In deze bijlage wordt afgeleid wat de consequenties zijn wanneer deze ongevallen worden ingedeeld bij doorgaand vervoer. In de volgende paragraaf zijn de ongevallen nader bekeken. Vervolgens wordt de correctie op respectievelijk de foutenboom en de verdeling over spoortypen beschreven.

Ongevallen

De drie ongevallen betreffen vier wagens. In Tabel 6 is aangegeven of het ongeval relevant is voor de afleiding van de gebeurtenissenbomen en verdeling over de spoortypen van doorgaand vervoer.

Tabel 6 relevante ongevallen voor doorgaand vervoer.

39 a	16-2-2002 Osnabrück (D) Falen van een wissel. Aankomende trein ontspoord. Wagen met acrylnitril valt om. Een lege ongereinigde LPG wagen vat vlam.	Acrylnitril LF2	brand	Dit ongeval is relevant en moet worden meegenomen
39 b	16-2-2002 Osnabrück (D) Falen van een wissel. Aankomende trein ontspoord. Wagen met acrylnitril valt om. Een	propaan GF3 Leeg, ongereinigd	brand	In de analyse van doorgaand vervoer zijn alleen grote ongevallen met ontstoken brandbare stoffen geselecteerd. Dit

	lege ongereinigde LPG wagen vat vlam.			betekent dat bijvoorbeeld uitstroming van giftige stoffen, kleine uitstromingen en uitstromingen van brandbare stoffen zonder ontsteking niet zijn meegenomen. Het ongeval 39b betreft een lege, ongereinigde wagen en valt daarmee niet in de categorie grote ongevallen.
45	<i>21-4-2004, Monceau-sur-Sambre (B)</i> Niet genoeg ruimte tussen stilstaande trein en aankomende trein. Aankomende trein uit Antwerpen botst op stilstaande trein met lege ketelwagens. Lekkage van ketelwagen met ethyleendichloride van trein uit Antwerpen	Ethyleen dichloride LF2	geen	In de analyse van doorgaand vervoer zijn alleen grote ongevallen met ontstoken brandbare stoffen geselecteerd. Dit ongeval heeft geen brand tot gevolg en valt daarmee niet in de categorie grote ongevallen.
70	<i>13-3-2017, Solaize (F)</i> Ontsporing door dubbele breuk in het spoor ten tijde van het binnenrijden van de trein. Gat van 45 mm in wagen met bio- ethanol.	Bio- ethanol LF1/ LF2	geen	In de analyse van doorgaand vervoer zijn alleen grote ongevallen met ontstoken brandbare stoffen geselecteerd. Dit ongeval heeft geen brand tot gevolg en valt daarmee niet in de categorie grote ongevallen. Daarnaast valt dit ongeval buiten de onderzoeksperiode 1988 t/m 2016.

Samenvattend: er is één extra ongeval dat meegenomen moet worden in de correctie voor LF2. Dit betreft de brand van een ketelwagen met acrylnitril. Omdat het eerder is toegekend aan een emplacement (spoortype C, klasse C3), is de toekenning nu aan spoortype C, klasse C2 en betreft het een aankomende trein. Hiermee valt de schade wagen onder doorgaand vervoer.

Gebeurtenissenboom LF2

De gebeurtenissenboom van LF2 is afgeleid in een aantal stappen. In de volgende paragraaf is de afleiding in RIVM-rapport 2019-0208, zonder

het ongeval in Osnabrück, beschreven, daarna de afleiding met het ongeval in Osnabrück.

Afleiding zonder Osnabrück

Er zijn in de periode 1988 t/m 2016 95 wagens met uitstroming geweest. Op basis van de ongevalsbeschrijvingen zijn de gebeurtenissen plasbrand en BLEVE gedefinieerd, zie Tabel 7.

Tabel 7 Gebeurtenissen brandbare vloeistof (LF2).

Gebeurtenis	#wagens
plasbrand	89,1
BLEVE	5,9

De vervolgkans op een BLEVE is 5,9/95, de kans op een plasbrand 89,1/95. Vervolgens is de plasbrand verdeeld over 300 m² (vervolgkans 0,6) en 600 m² (vervolgkans 0,4). Het resultaat is gegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Gebeurtenissenboom voor LF2.

Gebeurtenis	Vervolgkans
Warme BLEVE	0,06
Plasbrand 600 m ²	0,38
Plasbrand 300 m ²	0,56

Afleiding met Osnabrück

Er zijn in de periode 1988 t/m 2016 96 wagens met uitstroming geweest. Osnabrück is toegekend als plasbrand, zie Tabel 9.

Tabel 9 Gebeurtenissen brandbare vloeistof (LF2).

Gebeurtenis	#wagens
plasbrand	90,1
BLEVE	5,9

De vervolgkans op een BLEVE is 5,9/96, de kans op een plasbrand 90,1/96. Vervolgens is de plasbrand verdeeld over 300 m² (vervolgkans 0,6) en 600 m² (vervolgkans 0,4). Het resultaat is gegeven in Tabel 10.

Tabel 10 Gebeurtenissenboom voor LF2.

Gebeurtenis	Vervolgkans
Warme BLEVE	0,06
Plasbrand 600 m ²	0,38
Plasbrand 300 m ²	0,56

De verdeling van effecten blijft dus ongewijzigd.

Afleiding verdeling typen spoor

De verdeling van de ongevallen over de typen spoor is gedaan in een aantal stappen. In de volgende paragraaf is de afleiding in RIVM-rapport 2019-0208, zonder het ongeval in Osnabrück beschreven, daarna de afleiding met het ongeval in Osnabrück.

Afleiding zonder Osnabrück

Er zijn in de periode 1988 t/m 2016 145 wagens met uitstroming geweest. Deze zijn toegekend aan spoortypes zie Tabel 11.

Tabel 11 Verdeling van de wagens per spoortype (GF+LF2+LF1).

	#wagens
Spoortype A	22
Spoortype B	79
Spoortype C	42
Onbekend	2
totaal	145

De verdeling van de ongevallen en het vervoer is gegeven in Tabel 12.

Tabel 12 Verdeling ongevallen en vervoer per spoortype in RID-Europa

	Type A	Type B	Type C	Totaal
#wagens ongevallen	22	79	42	143
Fractie ongevallen	0,15	0,55	0,29	1
Fractie vervoer	0,64	0,30	0,06	1

De faalfrequenties zijn hiervoor gecorrigeerd in Tabel 13.

Tabel 13 De kans op een groot ongeval per spoortype in RID-Europa (per wagen.km).

	Gemiddeld	Type A	Type B	Type C
Brandbaar gas (GF)	$1,29 \times 10^{-9}$	$3,09 \times 10^{-10}$	$2,37 \times 10^{-9}$	$6,31 \times 10^{-9}$
Brandbare vloeistof (LF2, LF1)	$2,82 \times 10^{-9}$	$6,77 \times 10^{-10}$	$5,19 \times 10^{-9}$	$1,38 \times 10^{-8}$

Tenslotte is de faalfrequentie gecorrigeerd voor Nederland met een factor 5 lagere kans op een groot ongeval voor spoortype A, en voor spoortypen B en C met een factor 8,6 lagere kans. Het resultaat is gegeven in Tabel 14.

Tabel 14 De kans op een groot ongeval per spoortype in Nederland (per wagen.km).

	Type A	Type B	Type C
Brandbaar gas (GF)	$6,18 \times 10^{-11}$	$2,76 \times 10^{-10}$	$7,36 \times 10^{-10}$
Brandbare vloeistof (LF2, LF1)	$1,35 \times 10^{-10}$	$6,05 \times 10^{-10}$	$1,61 \times 10^{-9}$

Afleiding met Osnabrück

Het toevoegen van het ongeval in Osnabrück geeft één extra ongeval in spoortype C (zie Tabel 15).

Tabel 15 Verdeling van de wagens per spoortype (GF+LF2+LF1).

	#wagens
Spoortype A	22
Spoortype B	79
Spoortype C	43
Onbekend	2
totaal	146

De verdeling van de ongevallen en het vervoer is gegeven in Tabel 16.

Tabel 16 Verdeling ongevallen en vervoer per spoortype in RID-Europa.

	Type A	Type B	Type C	Totaal
#wagens ongevallen	22	79	43	144
Fractie ongevallen	0,15	0,55	0,30	1
Fractie vervoer	0,64	0,30	0,06	1

De faalfrequenties zijn hiervoor gecorrigeerd in Tabel 17.

Tabel 17 De kans op een groot ongeval per spoortype in RID-Europa (per wagen.km).

	Gemiddeld	Type A	Type B	Type C
Brandbaar gas (GF)	$1,29 \times 10^{-9}$	$3,08 \times 10^{-10}$	$2,36 \times 10^{-9}$	$6,43 \times 10^{-9}$
Brandbare vloeistof (LF2, LF1)	$2,82 \times 10^{-9}$	$6,73 \times 10^{-10}$	$5,16 \times 10^{-9}$	$1,41 \times 10^{-8}$

Tenslotte is de faalfrequentie gecorrigeerd voor Nederland met een factor 5 lagere kans op een groot ongeval voor spoortype A, en voor spoortypen B en C met een factor 8,6 lagere kans. Het resultaat is gegeven in Tabel 18.

Tabel 18 De kans op een groot ongeval per spoortype in Nederland (per wagen.km).

	Type A	Type B	Type C
Brandbaar gas (GF)	$6,16 \times 10^{-11}$	$2,74 \times 10^{-10}$	$7,47 \times 10^{-10}$
Brandbare vloeistof (LF2, LF1)	$1,35 \times 10^{-10}$	$6,00 \times 10^{-10}$	$1,63 \times 10^{-9}$

Conclusie

Het ongeval in Osnabrück is in RIVM rapport 2019-0208 ten onrechte niet meegenomen bij de afleiding van de kans op een groot ongeval en de gebeurtenissenboom. Wanneer we dit ongeval wel meenemen, dan blijkt dat de gebeurtenissenboom niet verandert. Wel wijzigt de faalfrequentie per spoortype. Deze wijziging varieert van 0,7 procent lager (type A en B) tot 1,7 procent hoger (type C), zie Tabel 11 en Tabel 15.

Bijlage 9 Beschouwing faalkansen emplacementen met heuvel

Aantal ketelwagens

Voor Kijfhoek heeft ProRail data aangeleverd voor het gemiddelde aantal ketelwagens dat per jaar op spoorwegemplacement Kijfhoek wordt geheuveld voor de periode 2019-2021. Dit betreft 20.148 wagens (16). Kijfhoek is het enige spoorwegemplacement in Nederland met een heuvel.

Het percentage ketelwagens dat in Frankrijk wordt geheuveld is 93 procent van het totaal aantal ketelwagens op spoorwegemplacementen (paragraaf 4.1.2 van (13)). Uitgaande van 8,1 miljoen ketelwagens met RID-klasse 2, 3, 6 en 8 dat een rangeerhandeling onderging, werden dan 7,5 miljoen ketelwagens geheuveld (580.000 per jaar).

Vertaling casuïstiek naar het Nederlandse spoorstelsel

Uit de verzamelde casuïstiek volgt dat er, in de geselecteerde periode, slechts twee ongevallen overblijven die relevant zijn (zie Tabel 19). Deze ongevallen vonden allebei plaats tijdens het heuvelproces. Voor het ongeval in Kijfhoek geldt dat er inmiddels maatregelen zijn genomen, waardoor een dergelijk ongeval op die manier niet meer kan voorkomen. De volgende veiligheidsmaatregelen zijn hier genomen:

- Het ongeval op Kijfhoek kwam door een bedienfout. Oorzaak van de bedienfout was onvoldoende opleiding. Dit is inmiddels aangepakt.
- De wagen met ethanol die gescheurd was, betrof een verouderde ketelwagen en was niet voorzien van crashbuffers of opklimbeveiliging. Tegenwoordig zijn crashbuffers en/of opklimbeveiliging verplicht.
- Overbruggen van de beveiliging is niet meer mogelijk. Dit ligt vast in de software.

Deze punten dragen bij aan het voorkomen van een dergelijk ongeval. Bedienfouten en verouderde ketelwagens kunnen echter nog steeds voorkomen. Daarom wordt het ongeval in Kijfhoek wel meegenomen in de berekening van de ongevalskans voor het heuvelproces.

Het ongeval in Miramas is besproken met experts van ProRail (Gesprek ProRail-RIVM, 15 mei 2023). Er is maar weinig informatie over het ongeval beschikbaar. Het ongeval lijkt te gaan om een inhaling in het heuvelgebied tussen de hoofdrems en de groepsrem met een botsing als gevolg. Het ongeval lijkt plaats te hebben gevonden op een plek waar Nederland op de heuvel een veiligheidssysteem (MSR32) heeft, wat er voor zorgt dat de ketelwagen maximaal wordt afgeremd als deze naar beneden gaat en is in Nederland (Kijfhoek) dus minder waarschijnlijk. Het kan echter wel voorkomen.

Tabel 19 relevante ongevallen voor emplacementen met een heuvel.

7	14-11-2011, Kijfhoek Storing in heuvelproces, te weinig remming, lekkage door overbuffering.	Ethanol	LF1/ LF2	Brand	Ja, ongeval is wel specifiek voor het heuvelproces.
38	3-10-2001, Miramas (F) Botsing van ammoniakwagen met platte wagen. Ammoniakwagen heeft een gat van 50mm. Ongeval door heuvelproces. Locatie: entrée van de bundel (na de heuvel).	Ammoniak GT3	Giftig	Uit nadere analyse blijkt het een groot lek te zijn.	Ja, ongeval door heuvelproces.

Voor de activiteit heuvelen is een kans afgeleid op basis van de casuïstiek. Deze is vergeleken met de faalkans volgens de rekenmethode 2021.

Kans op een groot ongeval bij het heuvelen met de rekenmethode 2021

Heuvelen vindt alleen plaats op het spoorwegemplacement Kijfhoek en staat niet in de lijst met mogelijke scenario's in het rekenvoorschrift. Wel wordt er verwezen naar de QRA Kijfhoek (35). In de QRA is te vinden dat op Kijfhoek alleen de volgende activiteiten plaatsvinden:

- Aankomst en vertrek (alle ketelwagens).
- Heuvelen (50% van alle ketelwagens).
- Kopmaken (50% van alle ketelwagens).

De activiteiten omhalen, samenstellen/splitsen en eenzijdig ongeval komen dus niet voor.

Het gehele proces heuvelen/ herheuvelen culmineert in één faalkans 'rollen door rood' op drie gebundelde locaties. De kans hiervan bedraagt $1,94 \times 10^{-8}$ per ketelwagen, zie Tabel 20. De gemiddelde overstandtijd voor een te heuvelen ketelwagen is ongeveer 8 uur en kopmaken wordt beschouwd bij doorgaand vervoer.

Tabel 20 Faalkans per ketelwagen bij heuvelen

Handeling	faalkans /wagen
Heuvelen	$1,94 \times 10^{-8}$

Kans op een groot ongeval bij het heuvelen op basis van casuïstiek
Er zijn in de geselecteerde periode twee grote ongevallen gebeurd op de spoorwegemplacementen bij het heuvelen, één in Nederland en één in

Frankrijk. De kans op een groot ongeval per ketelwagen is in Tabel 21 gegeven voor drie verschillende bronnen, namelijk:

- Nederland: het aantal ketelwagens in het heuvelproces in Nederland (20.148 ketelwagens per jaar) gedurende een periode van 21 jaar (paragraaf 4.2.1, ongevalscastruistiek uit de periode 1996–2016).
- Frankrijk: het aantal ketelwagens in het heuvelproces in Frankrijk (580.000 ketelwagens per jaar) gedurende een periode van 13 jaar (paragraaf 4.2.2.1, ongevalscastruistiek uit de periode 2000–2012).
- Nederland en Frankrijk gecombineerd.

Tabel 21 Kans op een groot ongeval door heuvelen op basis van aantal grote ongevallen en het aantal ketelwagens in de geselecteerde periode.

Bron	Wagens	ongevallen	Gemiddelde /wagen	50-percentiel /wagen	95- percentiel /wagen
Nederland	423.108	1	$2,4 \times 10^{-6}$	$4,0 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$
Frankrijk	7.540.000	1	$1,3 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-7}$	$6,3 \times 10^{-7}$
NL + F	7.963.108	2	$2,5 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-7}$	$7,9 \times 10^{-7}$

Conclusie

De casuistiek geeft een veel hogere waarde voor de kans op een groot ongeval voor het heuvelproces. Op grond van deze analyse kunnen er geen faalfrequenties afgeleid worden. Voor een actualisatie van de faalkans voor het heuvelproces is een aanvullende studie nodig.

Bijlage 10 Actuele rekenmethode

Typen spoorwegemplacements en het ballastbed

Spoorwegemplacements kunnen op basis van de bedrijfsactiviteiten onderverdeeld worden in drie typen (8, 9). Het rekenvoorschrift is van toepassing op de volgende typen spoorwegemplacements.

Type 1 - Bediening van verladers

Type 1-emplacements zijn spoorwegemplacements die in de directe nabijheid van de verladers liggen. Het rangeerproces op deze locaties is nauw verweven met het transport van rangeerdelen (één of meerdere ketelwagens met of zonder loc) van en naar de locatie van deze verlader. De procesvoering op deze locaties kenmerkt zich door relatief lange overstandtijden (gemiddeld vier uur) en relatief veel rangeerhandelingen per trein.

Type 3 - Rangeren langs de route

Type 3-emplacements zijn spoorwegemplacements waar de procesvoering identiek is aan type 1. Er is echter geen directe verbinding met nabijgelegen bedrijven. Treinen uit verschillende richtingen komen aan op deze locatie en worden bijvoorbeeld gecombineerd of gewijzigd van samenstelling op basis van de bestemming van de trein of treindelen. Omdat het niet gaat om bedienen van verladers maar rangeren langs de route, is de overstandtijd korter (gemiddeld twee uur) en het aantal rangeerhandelingen per trein beduidend lager dan bij de type 1-emplacements.

Op type 2-emplacements vindt alleen kopmaken/locwissel plaats. Dit is juridisch opgenomen onder doorgaand vervoer. Deze rekenmethode is daarom niet van toepassing op type 2-emplacements.

Ook is dit rekenvoorschrift niet van toepassing op het heuvelproces bij emplacements waar geheuveld wordt. Voor het heuvelproces moeten de scenario's en faalkansen in betreffende QRA's specifiek onderbouwd worden.

Een spoorwegemplacement is voorzien van een ballastbed. Onder ballastbed wordt een ballastbed verstaan dat aangelegd en onderhouden is conform de Ontwerpvoorschriften ProRail OVS00056-7.1 (22). Als het ballastbed afwijkt van de hier gehanteerde definitie, dan dient de opsteller van de QRA hierover in overleg te gaan met het bevoegd gezag. Een ballastbed zorgt voor voldoende berging en afvoer van vloeistoffen (regenwater, ongeval met uitstroom gevaarlijke vloeistoffen). Hierdoor kan alleen een kortdurende plasbrand van beperkte omvang ontstaan. Deze plasbrand is niet in staat om een volle ketelwagen met brandbare stof dusdanig op te warmen dat er een warme BLEVE ontstaat (tijdsduur geschat op ongeveer twintig minuten). Het scenario warme BLEVE wordt daarom niet relevant geacht als het ballastbed voldoende groot is, zodanig dat redelijkerwijs kan worden aangenomen dat de ketelwagen bij een ongeval op het ballastbed blijft.

Stofcategorieën en voorbeeldstoffen

De stofcategorieën en voorbeeldstoffen staan in Tabel 22. Hiermee is aangesloten bij de rekenmethode voor doorgaand vervoer.

Tabel 22 Stofcategorieën en voorbeeldstoffen

Stofcategorie	Voorbeeldstof	CAS-nummer voorbeeldstof
GF0	Doorrekenen als specifieke stof	
GF1	Ethyleenoxide	75-21-8
GF2	n-Butaan	106-97-8
GF3	Propaan	74-98-6
GT0	Doorrekenen als specifieke stof	
GT3	Ammoniak	7664-41-7
GT4/GT5	Zwavel dioxide	7446-09-5
LF1	Heptaan (diesel)	142-82-5
LF2	Pentaaan (benzine)	109-66-0
LT1	Acrylonitril	107-13-1
LT2	Fosfortrichloride	7719-12-2
LT3	Broom	7726-95-6
LT4	Methylisocyanaat	624-83-9

Scenario's en kans op een groot ongeval

Zoals in hoofdstuk 8 is behandeld, zijn alleen de volgende handelingen relevant voor risico's van rangeerhandelingen op spoorwegemplacements:

- Interactie tussen een aankomende of vertrekkende trein en een rangeerdeel (ITR).
- Samenstellen van een trein door middel van samenstellen/splitsen en plaatsen.
- Omhalen
- Overstand

Vanwege het bergend vermogen van het ballastbed wordt een plasbrand van brandbare vloeistof niet-relevant geacht voor het externe veiligheidsrisico voor rangeerhandelingen. Dit betekent dat de kans op een groot ongeval voor brandbare vloeistoffen niet meer relevant is. Alleen de kans op een groot ongeval voor de overige stofcategorieën is dan van belang. Dit leidt tot de kansen op een groot ongeval per ketelwagen (GF, GT en LT), zie Tabel 23.

Tabel 23 Voorstel kans op een groot ongeval per spoorketelwagen op een spoorwegemplacement voor stofcategorieën brandbaar gas, giftig gas en giftige vloeistof (GF, GT en LT).

Handeling	Type Emplacement	
	Type 1	Type 3
Interactie rangeerdeel zonder ATB-vv	$1,1 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-9}$
Interactie rangeerdeel met ATB-vv	$4,7 \times 10^{-10}$	$4,7 \times 10^{-10}$
Samenstellen, splitsen, plaatsen	$1,3 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-11}$
Omhalen	$1,1 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-9}$
Overstand/Intrinsiek falen	$2,3 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$

Uitstromingen

De relevante uitstromingen die kunnen plaatsvinden door een ongeval bij spoorwegemplacements worden gemodelleerd met de volgende standaardscenario's:

1. Instantaan (in één keer) vrijkomen van de gehele inhoud.
2. Vrijkomen van de gehele inhoud uit een 3 inch (76,2 mm) aansluiting (continue uitstroming).

Hierbij geldt dat het scenario instantaan falen een vervolgkans van 0,4 heeft, het scenario continue uitstroming een vervolgkans 0,6 met uitzondering van het falen door overstand: hiervoor is de vervolgkans 1 op het scenario instantaan falen. Overige parameters zijn beschreven in Tabel 24.

Tabel 24 Parameters voor de modellering van het scenario

Scenario	Stof-categorie	Modelparameters
Algemeen	GF, GT	Tankinhoud 50 ton
	Chloor	Tankinhoud 55 ton
1. Instantaan	LF	Niet relevant met ballastbed.
	LT	Plasoppervlakte 600 m ²
2. Continu	LF	Niet relevant met ballastbed.
	LT	Plasoppervlakte 300 m ²

Ontstekingskansen

Naast de kans op instantane en continue uitstroming is voor brandbare gassen ook de ontstekingskans van belang. In Tabel 25 staat wat de directe ontstekingskansen zijn van een brandbaar gas voor een continue en instantane uitstroming.

Tabel 25 Ontstekingskansen van brandbaar gas

Stofcategorie	Scenario	Directe ontstekingskans
GF	1. Instantaan	0,8
	2. Continu	0,5

Verdeling scenario's over ongevalslocaties

De vastgestelde ongevalscenario's moeten gekoppeld worden aan de plaats of plaatsen op het spoorwegemplacement, waar ze kunnen optreden. Deze ongevalslocaties zijn afhankelijk van de lay-out van het spoorwegemplacement en het gebruik ervan. Het is lastig om voor de keuze van de ongevalslocatie een precieze instructie te geven. Vaak zal de uitvoerder van de QRA, in overleg met bijvoorbeeld de exploitant, samen met andere betrokkenen de locaties moeten vaststellen. Het is van belang om de keuze van de ongevalslocaties in de rapportage van de berekening toe te lichten. Als uitgangspunt gelden de algemene aanwijzingen voor de ongevalslocaties zoals opgenomen in Tabel 26.

Tabel 26 Algemene aanwijzingen ongevalslocaties

Scenario	Locatie
1. Interactie met rangeerdelen tijdens aankomst/vertrek	Is afhankelijk van het rangeerproces op het spoorwegemplacement tijdens aankomst/vertrek. Mogelijke interactiepunten liggen tussen de sporen voor het doorgaand vervoer en het aankomst- en vertrekspoor. Hiervoor moet gekeken worden naar de bewegingen van rangeerdelen over het spoorwegemplacement tijdens aankomst/vertrek van treinen en naar de locatie van de wissels waarover de bewegingen van treinen/rangeerdelen kunnen plaatsvinden. Hier geldt dat, indien sprake is van meerdere wissels in elkaars nabijheid, deze in de modellering gebundeld kunnen worden tot één ongevalspunt.
2. Samenstellen/splitsen en plaatsen	Lijnbron in het midden van de spoorbundel. Als er sprake is van meerdere spoorbundels, modelleer dan een aparte lijnbron per spoorbundel. Hierbij wordt de faalfrequentie gelijkmatig verdeeld over de spoorbundels, tenzij de specifieke bedrijfssituatie aanleiding geeft tot een andere verdeling.
3. Omhalen	Ter hoogte van de wissellocaties.
4. Overstand/Intrinsiek falen	Lijnbron in het midden van de spoorbundel waar de ketelwagens staan opgesteld.

De tabel geeft de algemene aanwijzingen voor de verdeling. De scenario's vinden echter over het algemeen plaats ter hoogte van de wissellocaties, die vaak verspreid over het spoorwegemplacement liggen. Het voldoet voor de meeste spoorwegemplacements dan ook om de cumulatieve faalfrequentie voor deze vier scenario's te verdelen over een lijnbron in het midden van de spoorbundel⁸. Als er sprake is van meerdere spoorbundels, modelleer dan een aparte lijnbron per spoorbundel. Hierbij wordt de faalfrequentie gelijkmatig verdeeld over de spoorbundels. Het kan, met name voor de scenario's 'interactie met rangeerdelen tijdens aankomst en vertrek' en 'overstand/intrinsiek falen', nodig zijn om deze te plaatsen op de locaties waar deze handelingen ook daadwerkelijk plaatsvinden. Voorbeelden zijn te vinden in de factsheets uit de rapportage van het emplacementenproject door Antea Group (8).

Indien er afwijkende of meer specifieke ongevalslocaties worden toegepast in de berekening, dan moet dat ook aantoonbaar geborgd zijn.

⁸ Met spoorbundel wordt bedoeld een bundel van meerdere naast elkaar gelegen sporen opgesloten tussen twee wissellocaties.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

mei 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag