



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

**Faalcijfers en faalmechanismen
vervoer gevaarlijke stoffen per spoor**
*Fase 1 - tussenrapportage actualisatie
faalfrequenties*

RIVM rapport 601038001/2011
A.G. Wolting



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

Faalcijfers en faalmechanismen vervoer gevaarlijke stoffen per spoor

Fase 1 - tussenrapportage actualisatie faalfrequenties

RIVM Rapport 601038001/2011

Colofon

© RIVM 2011

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'.

A.G. Wolting, RIVM

Contact:

Bert Wolting, bert.wolting@rivm.nl

Yvo Kok-Palma, yvo.kok@rivm.nl

Centrum Externe Veiligheid

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu in het kader van project E/601038: Externe Veiligheid DGMo.

Rapport in het kort

Faalcijfers en faalmechanismen voor vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor

De faalcijfers voor het vervoer van gevaarlijke stoffen via het spoor worden mogelijk te laag ingeschat. De onzekerheid hierover is echter nog groot. Een goede en nauwkeuriger beoordeling van de faalcijfers is mogelijk als de resultaten van het vervolgonderzoek, fase 2, bekend zijn. Over de omvang van de risico's, met name de vervolgekansen bij het vrijkomen van stoffen bij een incident, bestaat nog onzekerheid.

De kans op ongevallen is het grootst bij emplacementen. Uitgaande van een voorlopige schattingsmethode zou de ontstekingskans van brandbare vloeistoffen bij ongevallen op het spoor hoger zijn dan nu aangehouden. In de huidige rekenmethode wordt nog geen rekening gehouden met het ontstaan van vuurballen uit ketelwagens met brandbare vloeistoffen bij brand na een ongeval. Onderzocht moet worden of en, zo ja, hoe dit falen in de rekenmethodiek kan worden ingepast.

Dit zijn de conclusies uit de eerste fase van een onderzoek dat het RIVM in opdracht van het voormalige ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft verricht. De tweede fase van het onderzoek zal erop zijn gericht de onzekerheden te beperken om de uiteindelijke faalcijfers, respectievelijk de risico's, beter te kunnen beoordelen.

Voor het voorliggend onderzoek is met een aantal veldpartijen informatie verzameld over ongevallen tijdens het doorgaand transport met goederentreinen in Nederland tussen 1996 en 2005. Van de 42 ongevallen vonden er 26 plaats op stationslocaties en 16 op de vrije baan. Hier waren geen ongevallen bij waarbij gevaarlijke vloeistoffen of gassen ontsnapten. Om de kans op dergelijke ongevallen te bepalen is gebruikgemaakt van ongevalrapportages uit andere Europese landen. Hierbij is ook de kans op brand en een vuurbal onderzocht. Op basis van nog beperkte gegevens, met name uit het buitenland, lijkt het dat de faalcijfers hoger kunnen zijn dan waar nu van uitgegaan wordt.

De onzekerheden in de faalfrequenties kunnen worden verkleind door gegevens uit meer ongevalrapportages toe te voegen aan de statistiek en de mogelijke ongevallen gedetailleerder te analyseren. Ook zal een aantal maatregelen nader worden geëvalueerd. Eén daarvan is een verbeterde versie van het ATB-systeem, dat treinen automatisch voor een rood sein laat stoppen. Een andere is het 'warme BLEVE-vrije rijden' waarbij wagens met een brandbare vloeistof niet aan een gasketelwagen mogen worden gekoppeld.

Trefwoorden:
spoorvervoer, gevaarlijke stoffen, risicoanalyse

Abstract

Failure frequencies and failure mechanisms for the transport of dangerous goods by rail

The failure frequencies of transporting hazardous materials by rail may be greater than estimated. However, much uncertainty is associated with these frequency estimates. A more sound and precise assessment will be possible when the results of the follow-up study, phase 2, are available. The magnitude of the risks – in particular the probability that materials will be released following an accident – remains uncertain. The probability of accidents is greatest at or close to stations. Based on a preliminary estimation method, the ignition probability for flammable liquids released as the result of a rail accident is significantly higher than that currently adhered to. Also not taken into account is the formation of fireballs from flammable liquid in fires in tank wagons following an accident. Further study is needed to assess whether, and if so how, these scenarios should be included in the calculation methodology. These are the conclusions drawn by the RIVM based on the results of the first phase of a study carried out by order of the former Ministry of Transport and Water Management. The aim of the second phase of the study will also be to reduce the uncertainties to better assess the final frequencies, respectively the risk.

For the study, a number of parties collected information on accidents involving the transport of freight trains in the Netherlands between 1996 and 2005. Data on 42 accidents were assessed, of which 26 took place at or close to a station, with the remaining 16 occurring at other points along the rail network. None of these accidents involved the escape of dangerous liquids or gases. Accident data from other European countries were therefore used to assess the probability of such accidents, as well as to investigate the probability of fire outbreak and a fireball. Based on the still limited amount of data available, including data from abroad, it would appear that the failure frequencies may be greater than those currently adhered to.

The uncertainties in the risk estimate can be reduced by adding more of the data contained in accident reports to the accident statistics database and by more detailed analyses of accidents. A number of safety measures will also be evaluated in more detail. These include an improved version of the ATP system, which automatically stops trains failing to brake for a red signal, and 'hot BLEVE-free transport', in which railcars with a flammable liquid are not directly attached to a gas wagon.

Keywords:

rail transport, dangerous goods, risk analysis

Voorwoord

De auteur bedankt alle personen die een bijdrage aan de totstandkoming van deze tussenrapportage hebben geleverd. Tijdens deze fase van het project was er een werkgroep en begeleidingscommissie die gegevens en informatie hebben aangeleverd en waarmee discussies zijn gevoerd. De werkgroep bestond uit Wopke Botjes (ProRail), Peer van Gemert (Railion/DB Schenker), Ronald Corporaal (IVW) en Anita van Blanken (DHV). De begeleidingscommissie bestond uit Gert Hoftijzer (SAVE), Gerard Tiemessen (AVIV), Tineke Wiersma (RWS/DI), Henk Bril (SABIC) en Cees Smit (Arcadis).

Vanwege het belang van het onderzoek heeft het RIVM een externe review laten uitvoeren. De reviewers waren Menso Molag (lector risicobeheersing TNO), Jan Heitink (senior risicoanalist AVIV) en Pieter van Gelder (universitair hoofddocent TU Delft). In deze rapportage is voor zover mogelijk rekening gehouden met opmerkingen en aanbevelingen van hiervoor genoemde personen. Het eindrapport 'Faalcijfers Spoor' zal opmerkingen en aanbevelingen waar mogelijk verder verwerken. Hiervoor verwijzen we naar het eindrapport 'Faalcijfers Spoor' dat voorzien is voor 2012.

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—11

2 Werkwijze—13

3 Analyse ongevalgegevens en verkeersprestatie—15

3.1 Nationale ongevalinformatie—15

3.2 Europese ongevalinformatie—17

3.3 Nationale verkeersprestatie—17

3.4 Europese verkeersprestatie—18

4 Afleiding basisfaalfrequenties—19

4.1 Uitgangspunten—19

4.2 Formules basisfaalfrequenties—19

4.3 Overwegtoeslag—23

4.4 Wisseltoeslag—23

5 Afleiding vervolgekansen—25

5.1 Inleiding—25

5.2 Europese statistiek—26

5.3 Vergelijk landenanalyse—28

5.4 Snelheidscorrectie van vervolgekansen—29

5.5 Eerste schatting faalfrequenties—30

6 Waardering maatregelen—31

6.1 Algemeen—31

6.2 Waardering 'veiligheidssysteem ATBvv'—31

6.2.1 Inleiding—31

6.2.2 Achtergrond—31

6.2.3 Aanpak—33

6.2.4 Toelichting Correctie voor het ATBvv-systeem—33

6.2.5 Toelichting risicoscore—34

6.3 Waardering 'warme-BLEVE-vrij rijden'—35

6.3.1 Achtergrond—35

6.3.2 Beoordeling—36

6.3.3 Ontwikkelingen ten aanzien van het niet 'warme-BLEVE-vrije' deel—36

6.4 Waardering 'verwijderen overbodige wissels'—36

7 Nadere invulling rekenmethodiek—37

7.1 Ontstekingskans brandbare vloeistoffen—37

7.2 Vuurbal brandbare vloeistoffen—38

7.3 Welke gevaarlijke stoffen mee in een QRA?—38

7.4 Intrinsiek falen van vloeistofwagens—39

8 Conclusies, Discussie en Aanbevelingen—41

Bijlage 1 Definities en Afkortingen—43

Bijlage 2 Toelichting spoortermen en gehanteerde indeling—45

Bijlage 3	Goederentreinen per baanvak op jaarbasis—55
Bijlage 4	Relevante emplacementen—57
Bijlage 5	Verkeersprestatie Nederland—61
Bijlage 6	Afleiding basisfaalfrequenties—63
Bijlage 7	Indicatieve vergelijking faalfrequenties spoor—65
Bijlage 8	BLEVE brandbare vloeistoffen—67
Referenties	—73

Samenvatting

Het vervoer van gevaarlijke stoffen (vloeistof of gas) over het spoor brengt risico's voor de omgeving met zich mee. Voor het berekenen van deze risico's is er een rekenmethodiek [1] die zowel het doorgaande vervoer over de vrije baan en emplacementen als locaties met rangeerhandelingen omvat. Die methodiek maakt gebruik van faalfrequenties die afgeleid zijn van spoorongevallen in Nederland voor 1992. Deze frequenties zijn mogelijk onvoldoende representatief voor het huidige spoorvervoer vanwege bijvoorbeeld technische ontwikkelingen en getroffen veiligheidsmaatregelen. Bovendien is het beeld dat ongevallen zijn geconcentreerd op plaatsen met veel kruisende treinbewegingen en rangeerbewegingen. Dit zijn de zogenaamde emplacementen of stationslocaties. Om die reden heeft het voormalige ministerie van Verkeer en Waterstaat DGMO, nu onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, aan het RIVM verzocht deze faalfrequenties te actualiseren. Parallel hieraan wordt de effectiviteit van risicoreducerende maatregelen onderzocht. Fase 1 van het onderzoek omvat het doorgaande vervoer en is uitgevoerd in de periode medio 2008 tot begin 2009. De volgende, afrondende fase van het onderzoek is in 2011 gestart en zal naast een verdere uitwerking van de actualisatie van de faalfrequenties voor het doorgaande vervoer ook die van de rangeerhandelingen beschouwen. Ook worden maatregelen verder onderzocht en wordt getracht onzekerheden in kaart te brengen en te verkleinen.

Voor het onderzoek is informatie verzameld over ongevallen van goederentreinen (met en zonder gevaarlijke stoffen) uit zowel Nederland als Europa. Deze informatie is geanalyseerd op een groot aantal aspecten. Om na te gaan of ongevallen geconcentreerd plaatsvinden op de vrije baan zijn van de ruim 300 emplacementen in Nederland de 'relevante emplacementen' bepaald. Als bepalend voor het wel/niet relevant zijn is de aanwezigheid van minimaal zes wissels en een minimum van 2500 passerende goederentreinen per jaar beschouwd. De rest van de emplacementen met doorgaand vervoer is beschouwd als 'vrije baan'. Het aantal ongevallen op de 81 relevante emplacementen en de vrije baan is bepaald door analyse van de botsingen en ontsporingen van goederentreinen in Nederland in de periode 1996 tot en met 2005. De botsings- en ontsporingsfrequentie van een goederentrein zijn vervolgens afgeleid door het aantal ongevallen te delen door het aantal afgelegde wagenkilometers over de periode. Overige bepalende factoren, zoals het aantal wissels op een 'relevant emplacement', zijn waar mogelijk meegenomen.

De Nederlandse statistiek bevat geen ongevallen met uitstroming. De kans op daadwerkelijke uitstroming van een gevaarlijke stof is daarom geschat aan de hand van Europese statistiek. Hierbij is ook gekeken naar de kans op brand en een vuurbal. Tot slot is de effectiviteit van maatregelen onderzocht door de erover verzamelde informatie te beoordelen.

Dit onderzoek – fase 1 – toont aan dat de kans op een ongeval en de vervolgekans op het vrijkomen van gevaarlijke stoffen bij het vervoer per spoor mogelijk groter is dan volgens het nu geldende protocol wordt aangenomen. Over de omvang van de risico's bestaat echter geen zekerheid. Het vervolgonderzoek – fase 2, dat nu loopt en in 2012 afgerond is – is nodig om beter inzicht te geven in de vraag of de in fase 1 gevonden indicaties van deze faalkansen juist zijn en hoe deze dan moeten worden gewaardeerd.

De kans op ongevallen is het grootst bij emplacementen. Uitgaande van een voorlopige schattingsmethode is de ontstekingskans van brandbare vloeistoffen bij ongevallen op het spoor hoger dan nu aangehouden. Voor alle ongevallen met brandbare vloeistoffen is hiervoor het totale aantal brandende wagens gedeeld door het totale aantal lekke wagens. Ook volgt uit de Europese statistiek dat wagens met brandbare vloeistof in een brand explosief kunnen falen. Vergelijkbaar met een 'warme BLEVE' van gasketelwagens verbrandt hierbij een deel van de inhoud als een vuurbal. Dit scenario is niet in de huidige methodiek verwerkt. Nader onderzoek naar de kans op en de straal en straling van dit vuurbalscenario is nodig om de relevantie ervan voor externe veiligheid te kunnen beoordelen. Tot slot is volgens een voorlopige schattingsmethode de kans op uitstroming uit wagens die tot vloeistof verdicht gas vervoeren hoger dan de huidige waarde. Die schatting is omgeven met grote onzekerheden doordat:

- de analyses van schade aan wagens conservatieve definities hanteren;
- de ongevallen met uitstroming in aantal beperkt zijn;
- de informatie over de ongevallen beperkt is en soms onduidelijk of tegenstrijdig;
- gegevens over het aantal afgelegde wagenkilometers ontbraken;
- de snelheidsafhankelijkheid van de kans nader moet worden onderzocht.

Om te beoordelen of deze schattingen een juist beeld geven is meer informatie nodig uit meer ongevalrapportages en gedetailleerdere analyse van de ongevallen.

Een indicatieve vergelijking van de afgeleide faalfrequenties met de huidige faalfrequenties is opgenomen in Bijlage 7. Deze toont dat op emplacementen de kans op uitstroming van gevaarlijke stoffen hoger kan zijn. Van de onderzochte maatregelen is de belangrijkste waarvoor een waardering kon worden afgeleid het zogenaamde ATBvv-systeem. Dit systeem reduceert de botsingsfrequentie op emplacementen.

1 Inleiding

Het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor brengt risico's voor de omgeving met zich mee. Voor het berekenen van deze risico's is er een rekenmethodiek [1] die zowel het doorgaande vervoer (= vrije baan) als locaties met rangeerhandelingen omvat. Die methodiek maakt gebruik van faalfrequenties die afgeleid zijn van spoorongevallen in Nederland van voor 1992. Deze frequenties zijn mogelijk onvoldoende representatief voor het huidige spoorvervoer vanwege technische ontwikkelingen en getroffen veiligheidsmaatregelen. Anderzijds is het beeld dat ongevallen, en dus de risico's, zijn geconcentreerd op plaatsen met veel kruisende treinbewegingen en rangeerbewegingen. Dit zijn de zogenaamde emplacementen of stationslocaties.

De opdracht van het voormalige ministerie van Verkeer en Waterstaat aan het RIVM was daarom deze faalfrequenties te actualiseren [2]. Parallel hieraan dient de effectiviteit van risicoreducerende maatregelen te worden onderzocht. Aan het onderzoek is vanaf de start (medio 2008) bijgedragen door diverse partijen¹ uit het werkveld waarmee ook afstemming plaatsvindt.

Om de faalfrequenties te actualiseren is recente Nederlandse statistiek geanalyseerd. Daarnaast is ook Europese ongevalinformatie verzameld en geanalyseerd om de kans op daadwerkelijke uitstroming van een gevaarlijke stof te schatten. Het project heeft zich niet gericht op de kans op een ongeval van een trein in tunnels en overkappingen.

In bijlage 1 zijn de belangrijkste definities en afkortingen opgenomen. Het rapport verwijst op diverse plaatsen naar achtergrondinformatie en gegevensverzamelingen. Op verzoek is deze informatie, voor zover niet vertrouwelijk, bij het RIVM in te zien.

¹ Partijen die een bijdrage leverden waren IVW, ProRail, Railion, DHV en AVIV. De begeleidingscommissie bestond uit AVIV, SAVE, RWS/DI en Sabc.

2 Werkwijze

Voor een korte beschrijving van het spoorstelsel en de voor dit onderzoek gehanteerde indeling in spoorsegmenten wordt verwezen naar Bijlage 2. Dit rapport behandelt voor het doorgaande vervoer de segmenten vrije baan en emplacement. De afleiding van de nieuwe faalcijfers hiervoor is als volgt opgebouwd:

I

Allereerst is een analyse van ongevalgegevens en informatie over de verkeersprestatie uitgevoerd. Hierbij is ook gekeken naar het aantal wagens van de trein dat bij een ongeval beschadigd raakt. Voor een trein met gevaarlijke stof kan dit leiden tot uitstroming van de inhoud (gas of vloeistof). Gebleken is dat de definitie van 'beschadigde wagen' varieert afhankelijk van situatie en het doel van het onderzoek. In dit rapport is conservatief als definitie gehanteerd: wagens met schade zijn alle wagens die door het incident (ontsporing, botsing, overbuffering) op enigerlei wijze beschadigd kunnen zijn. De nationale ongevallen omvatten alle wagens, dus ook wagens met zand, kalk en kolen. Voor de Europese ongevallen betreft het ketelwagens met gevaarlijke stof die, volgens de beschikbare ongevalinformatie, beschadigd kunnen zijn.

II

Vervolgens worden de formules voor de basisfaalfrequenties afgeleid. Hierbij wordt een frequentie voor botsen en ontsporen onderscheiden. Tevens wordt voor specifieke spoor situaties (bijvoorbeeld wissels, overwegen) bekeken of een toeslag op de faalfrequentie nodig is en hoe hoog die moet zijn.

III

Als volgende stap worden in hoofdstuk 5 de vervolgmogelijkheden, de kans op een relevant lek gegeven een schade bepaald. Hiervoor is de fractie van beschadigde wagens met een relevante lekkage afgeleid (zie Figuur 2).

IV

Tot slot is in hoofdstuk 6 de waardering van mogelijke maatregelen onderzocht.

3 Analyse ongevalgegevens en verkeersprestatie

3.1 Nationale ongevalinformatie

In Nederland worden alle gemelde ongevallen op en rond het spoor opgenomen in een ongevallenbestand (MISOS). De Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW) beheert dit bestand. Voor het onderzoek heeft IVW relevante ongevallen uit het bestand geselecteerd met het criterium 'alle botsingen en ontsporingen met goederentreinen en rangeerdelen in de periode 1996 tot en met 2005'.² Dit leverde een totaal van 172 ongevallen op die volgens IVW representatief zijn voor de segmenten vrije baan en emplacement. Hieronder staan voor deze segmenten de belangrijkste resultaten:

Vrije baan

Een totaal van zestien ongevallen waarvan bij dertien de baanvaksnelheid > 40 km/uur was. De treinsnelheid van één van de betrokken treinen was in tien gevallen > 40 km/uur. Opsplitsen naar type ongeval geeft:

- drie botsingen. Snelheid van beide treinen meestal > 40 km/uur (1x 0/90 km/uur, 1x 40/60 km/uur, 1x 45/50 km/uur);
- één overig (beschouwd als botsing);
- twee aanrijdingen op een overweg met ontsporing;
- tien ontsporingen waarvan:
 - treinsnelheid: vier gevallen \leq 40 km/uur, drie gevallen > 40 en \leq 80 km/uur, drie gevallen > 80 km/uur;
 - voor het aspect 'berijden wissel'³: één keer wissel in afbuigende stand, één keer rechte stand, zes keer niet van toepassing en twee keer onbekend.

Emplacementen

Dit betreft de 'relevante emplacementen' waarvan Bijlage 2 beschrijft hoe deze zijn geselecteerd uit het totaal van circa 300 emplacementen. Bijlage 3 bevat een overzicht van de 81 'relevante emplacementen'. De overige emplacementen worden beschouwd als 'vrije baan'.

Totaal waren er 26 ongevallen waarvan bij vier de baanvaksnelheid > 40 km/uur was. Opsplitsen naar type ongeval geeft:

- zeven botsingen (botsing gevolgd door ontsporing is als botsing beschouwd) met als oorzaak passage van een STS (stop tonend sein); Snelheid van beide treinen steeds < 40 km/uur;
- negentien ontsporingen waarvan:
 - treinsnelheid: achttien gevallen \leq 40 km/uur (in vier gevallen onbekend maar baanvaksnelheid < 40 km/uur), één geval > 40 km/uur (treinsnelheid 70 km/uur op baanvak 60);
 - voor het aspect 'berijden wissel': dertien keer wissel in afbuigende stand, vier keer niet van toepassing en twee onbekend.

Tabel 1 vat per segment het aantal ongevallen samen.

² Voor deze periode is gekozen omdat de ongevalinformatie hiervan grotendeels digitaal beschikbaar was.

³ Een wissel in afbuigende stand (=krom) is beschouwd als oorzaak van een ontsporing.

Tabel 1 Aantal ongevallen per segment opgesplitst naar baanvak- en treinsnelheid

Spoorsegment	Baanvaksnelheid		Type ongeval	Treinsnelheid	
	≤ 40 km/uur	> 40 km/uur		≤ 40 km/uur	> 40 km/uur
Vrije baan	3	13	botsing + overig	1	3
			ontsporing	4	6
			aanrijding	1	1
Emplacement	22	4	botsing	7	0
			ontsporing	18	1
Totaal	25	17		31	11

Het per ongeval beschadigde aantal wagens (ontspoord/gebotst) is opgenomen in Figuur 1.

lokatie	ongevalnr	Karakteristiek incident	#wagens beschadigd
emplacement	1	botsen gevolgd door ontsporing	1
	2	botsen gevolgd door ontsporing	5
	3	botsen frontaal	0
	4	botsen frontaal	2
	5	botsen frontaal	0
	6	ontsporing	1
	25	ontsporing	1
	42	ontsporing	2
	43	ontsporing	2
	60	ontsporing	1
	73	ontsporing	1
	78	ontsporing	1
	121	ontsporing	1
	126	botsen flank tegengestelde rijrichting	1
	131	ontsporing	3
	143	ontsporing	1
	145	ontsporing	3
	146	ontsporing	5
	149	ontsporing	10
	154	ontsporing	4
156	ontsporing	2	
157	ontsporing	2	
164	ontsporing	1	
169	ontsporing	3	
170	ontsporing	3	
171	botsen gevolgd door ontsporing	2	
vrije baan	125	ontsporing	3
	139	aanrijding overweg met ontsporen	1
	141	ontsporing	10
	142	ontsporing	1
	144	aanrijding overweg met ontsporen	1
	147	ontsporing	2
	150	ontsporing	2
	151	overig	0
	155	ontsporing	1
	158	ontsporing	18
	159	ontsporing	1
	162	botsen gevolgd door ontsporing	0
	163	botsen frontaal	1
	165	botsen flank meerichting	3
	167	ontsporing	2
	168	ontsporing	1

Figuur 1 Aantal beschadigde wagens per ongeval opgesplitst naar segment

Voor een emplacement is het gemiddelde aantal beschadigde wagens per ontsporing 2,47 (47/19) en voor een botsing 1,57 (11/7). Voor de vrije baan is het gemiddelde aantal beschadigde wagens per ontsporing 3,9 (39/10) en voor een botsing 1,0 (4/4).

3.2 Europese ongevalinformatie

De Nederlandse statistiek bevat geen ongevallen met uitstroming. De kans op een uitstroming is daarom geschat aan de hand van statistiek uit diverse landen in Europa. Het betreft landen die vallen onder het RID (Reglement betreffende het internationale spoorwegvervoer van gevaarlijke goederen). Hiervoor is gebruik gemaakt van diverse ongevalbestanden. Het resultaat van deze analyse wordt verder behandeld in hoofdstuk 5 (vervolgkansen).

3.3 Nationale verkeersprestatie

Voor betrouwbare gegevens over de zogenaamde verkeersprestatie is nodig dat deze wordt gemeten. Deze metingen vinden pas plaats vanaf 2001. Voor het onderzoek had ProRail alleen informatie beschikbaar over de periode 2001 –

2007. In deze periode was de verkeersprestatie in Nederland gemiddeld $1,13 * 10^7$ goederentreinkilometers per jaar⁴ (zie Bijlage 5).

3.4 Europese verkeersprestatie

Europese instanties als ERA en Eurostat verzamelen en publiceren informatie over de spoorverkeerprestaties van de individuele Europese landen. Deze informatie was helaas niet bruikbaar voor dit onderzoek, omdat verschillende termen en eenheden zijn gebruikt en specifieke informatie over het vervoer van gevaarlijke stoffen per land niet beschikbaar bleek.

⁴ Vergelijken van de gegevens met die in IVW STS rapport 2006 (Tabel 33) laat verschillen tot 25% zien. Desgevraagd gaf ProRail aan hiervoor geen verklaring te hebben, maar de laatste gegevens als meest betrouwbaar te beschouwen.

4 Afleiding basisfaalfrequenties

4.1 Uitgangspunten

Uitgangspunten voor de afleiding van de basisfaalfrequenties⁵ zijn:

- De faalfrequentie van een goederentrein met gevaarlijke stoffen is vergelijkbaar met die van een 'willekeurige' goederentrein. Onderbouwing hiervan is dat bepalende factoren als rails, machinist en locomotief vergelijkbaar zijn.
- Er wordt een faalfrequentie voor botsen- en ontsporen onderscheiden.
- De vrijebaanongevallen zijn evenredig verdeeld over de gehele lengte van de vrijebaanlengte en dus hun faalfrequentie voor botsen en ontsporen.
- De emplacementongevallen zijn evenredig verdeeld over het gehele emplacementoppervlak waarbij voor elk emplacement de frequentie voor:
 - ontsporen afhankelijk is van het aantal wissels (paragraaf 3.1);
 - botsen afhankelijk is van het aantal wissels en de risicoscore (paragraaf 6.2.5).⁶
- Er bestaan diverse typen wissels die treinen op verschillende wijzen kunnen berijden. Omdat betrouwbare informatie hierover ontbreekt, is aangenomen dat alle typen wissels gelijkwaardig zijn en even vaak worden bereden.
- De faalfrequenties zijn nog niet afhankelijk gemaakt van de baanvaksnelheids categorie (< of > 40 km/uur). Hiervoor is nader onderzoek nodig.

4.2 Formules basisfaalfrequenties

Algemeen

Uit de ongevalinformatie in paragraaf 3.1 volgt dat faalfrequenties voor botsen en ontsporen en toeslagen voor overwegen nodig zijn voor 'relevante' emplacementen en vrije baan inclusief overige emplacementen. De formules die toegepast worden voor de afleiding van de faalfrequenties worden hieronder toegelicht en zijn uitgewerkt in Bijlage 6.

Het totale aantal goederentreinkilometers per jaar over de vrije baan en emplacementen is bekend ($1,13 \times 10^7$; Bijlage 5). Hieruit is het totale aantal wagenkilometers per jaar van goederentreinen af te leiden, door dit aantal te vermenigvuldigen met de standaardwaarde van twintig wagens per goederentrein⁷. Tevens is het aantal wagenkilometers per jaar voor goederentreinen over emplacementen bekend ($4,84 \times 10^7$; Bijlage 4). Het aantal wagenkilometers voor goederentreinen over de vrije baan per jaar is dan als volgt te berekenen:

$$N_{\text{wagenkm GT vb}} = N_{\text{totaal wagenkm GT}} - N_{\text{wagenkm GT empl}}$$

⁵ Dit rapport hanteert de binnen de spoorwereld gangbare term 'basisfaalfrequentie'. Strikt beschouwd wordt voor zowel botsing als ontsporing een wagenschadefrequentie afgeleid, omdat het gemiddelde 'aantal wagens met schade' per ongeval is verwerkt.

⁶ Wissels zijn ontmoetingspunten voor 'kruisend' en 'invoegend' verkeer in vele varianten en daarom vinden botsingen daar meestal plaats.

⁷ Voor het aantal wagens per goederentrein wordt een standaardwaarde van 20 gehanteerd. ProRail heeft voor het onderzoek informatie aangeleverd die deze waarde voor doorgaand transport onderbouwt.

$N_{\text{wagenkm GT vb}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over de vrije baan per jaar
$N_{\text{wagenkm GT empl}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over emplacementen per jaar
$N_{\text{totaal wagenkm GT}}$	totale aantal wagenkilometers van goederentreinen over de vrije baan en emplacementen per jaar

Vrije baan

Botsing

De faalfrequentie voor botsen voor de vrije baan is bepaald door het gemiddelde aantal botsingen te delen door het aantal wagenkilometers voor goederentreinen per jaar. Deze waarde moet nog vermenigvuldigd worden met het gemiddelde aantal beschadigde wagens per botsing op de vrije baan.

$$F_{\text{botsing vb}} = \frac{\bar{N}_{\text{botsing vb}}}{N_{\text{wagenkm GT vb}}} \times \bar{N}_{\text{schade bots vb}}$$

$$\bar{N}_{\text{botsing vb}} = \frac{N_{\text{totaal botsing vb}}}{N_{\text{totaal jaren}}}$$

$F_{\text{botsing vb}}$	faalfrequentie voor botsen voor de vrije baan (per wagenkm/jaar)
$\bar{N}_{\text{botsing vb}}$	gemiddeld aantal botsingen voor de vrije baan per jaar
$N_{\text{wagenkm GT vb}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen voor de vrije baan per jaar
$\bar{N}_{\text{schade bots vb}}$	gemiddeld aantal beschadigde wagens per botsing op de vrije baan
$N_{\text{totaal botsing vb}}$	totale aantal botsingen voor de vrije baan per statistiekperiode
$N_{\text{totaal jaren}}$	totale aantal jaren voor de statistiekperiode

Ontsporing

De faalfrequentie voor ontsporen voor de vrije baan is bepaald door het gemiddelde aantal ontsporingen te delen door het aantal wagenkilometers voor goederentreinen per jaar. Deze waarde moet nog vermenigvuldigd worden met het gemiddelde aantal beschadigde wagens per ontsporing op de vrije baan.

$$F_{\text{ontsporing vb}} = \frac{\bar{N}_{\text{ontsporing vb}}}{N_{\text{wagenkm GT vb}}} \times \bar{N}_{\text{schade ontsp vb}}$$

$$\bar{N}_{\text{ontsporing vb}} = \frac{N_{\text{totaal ontsporing vb}}}{N_{\text{totaal jaren}}}$$

$F_{\text{ontsporing vb}}$	faalfrequentie voor ontsporen voor de vrije baan (per wagenkm/jaar)
$\bar{N}_{\text{ontsporing vb}}$	gemiddeld aantal ontsporingen op de vrije baan per jaar
$N_{\text{wagenkm GT vb}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen voor de vrije baan per jaar

$\bar{N}_{\text{schade ontsp vb}}$	gemiddeld aantal beschadigde wagens per ontspring op de vrije baan
$N_{\text{totaal ontspring vb}}$	totale aantal ontspringen op de vrije baan per statistiekperiode
$N_{\text{totaal jaren}}$	totale aantal jaren voor de statistiekperiode

Emplacement

Botsing

De faalfrequentie voor botsen is een waarde die apart afgeleid moet worden voor ieder relevant emplacement en is afhankelijk van het aantal wissels en de risicoscore van het emplacement. Hiervoor wordt de gemiddelde botsingsfrequentie voor ieder relevant emplacement gecorrigeerd voor het aantal wissels en de risicoscore volgens:

$$F_{\text{botsing empl specifiek}} = F_{\text{botsing empl}} \times \frac{N_{\text{wissel empl specifiek}}}{\bar{N}_{\text{wissel empl}}} \times \frac{N_{\text{risicoscore empl specifiek}}}{\bar{N}_{\text{risicoscore empl}}}$$

$$F_{\text{botsing empl}} = \frac{\bar{N}_{\text{botsing empl}}}{N_{\text{wagenkm GT empl}}} \times \bar{N}_{\text{schade bots empl}}$$

$$\bar{N}_{\text{botsing empl}} = \frac{N_{\text{totaal botsing empl}}}{N_{\text{totaal jaren}}}$$

$$\bar{N}_{\text{wissel empl}} = \frac{N_{\text{totaal wissel empl}}}{N_{\text{totaal empl}}}$$

$F_{\text{botsing empl specifiek}}$	emplacementspecifieke faalfrequentie voor botsen (per wagenkm/jaar)
$N_{\text{wissel empl specifiek}}$	aantal wissels op het emplacement (emplacementspecifieke waarde)
$\bar{N}_{\text{wissel empl}}$	gemiddeld aantal wissels per emplacement
$N_{\text{risicoscore empl specifiek}}$	risicoscore van alle seinen voor een wissel voor het emplacement (emplacementspecifieke waarde)
$\bar{N}_{\text{risicoscore empl}}$	gemiddelde risicoscore van alle seinen voor een wissel voor alle emplacementen
$F_{\text{botsing empl}}$	faalfrequentie voor botsen voor een gemiddeld emplacement (per wagenkm/jaar)
$\bar{N}_{\text{schade bots empl}}$	gemiddeld aantal beschadigde wagens per botsing op emplacementen
$\bar{N}_{\text{botsing empl}}$	gemiddeld aantal botsingen op emplacementen per jaar
$N_{\text{totaal jaren}}$	totale aantal jaren voor de statistiekperiode
$N_{\text{totaal botsing empl}}$	totale aantal botsingen op emplacementen per statistiekperiode
$N_{\text{wagenkm GT empl}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over emplacementen per jaar
$N_{\text{totaal wissel empl}}$	totale aantal wissels op alle emplacementen
$N_{\text{totaal empl}}$	totale aantal emplacementen

Opmerking

Een alternatieve aanpak is uitgaan van de voorkeursroutes waarlangs treinen kunnen of mogen rijden. Hiervoor is per emplacement informatie nodig over ondermeer het aantal bereden wissels, aantal seinen, verdeling verkeer en procesafspraken (hoe wordt gegarandeerd dat de voorkeursroute gehandhaafd blijft?). Voordeel hiervan kan zijn dat het beter mogelijk wordt maatregelen te verdisconteren. Een uitgewerkt voorstel van deze aanpak en of de risicowinst te kwantificeren is en onder welke randvoorwaarden is nog niet beschikbaar.

Ontsporing

Ook de faalfrequentie voor ontsporen moet apart afgeleid worden voor ieder relevant emplacement. Ze is afhankelijk van het aantal wissels op het emplacement, omdat de ontsporingen op wissels in een afbuigende stand zijn toegekend aan een wissel³. Voor ieder emplacement is het aantal wissels vermeld in Bijlage 4. Dit heeft geleid tot de volgende formule:

$$F_{\text{ontsporing emp specifiek}} = \frac{\left(\bar{N}_{\text{ontsporing wissel empl}} \times \frac{N_{\text{wissel empl specifiek}}}{\bar{N}_{\text{wissel empl}}} \right) + \bar{N}_{\text{ontsporing rest empl}}}{N_{\text{wagenkm GT empl}}} \times \bar{N}_{\text{schade ontspl empl}}$$

$$\bar{N}_{\text{ontsporing wissel empl}} = \frac{N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing wissel empl}}}{N_{\text{totaal}}_{\text{jaren}}}$$

$$\bar{N}_{\text{ontsporing rest empl}} = \frac{N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing rest empl}}}{N_{\text{totaal}}_{\text{jaren}}}$$

$$N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing rest empl}} = N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing empl}} - N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing wissel empl}}$$

$$\bar{N}_{\text{wissel empl}} = \frac{N_{\text{totaal}}_{\text{wissel empl}}}{N_{\text{totaal}}_{\text{empl}}}$$

$F_{\text{ontsporing empl specifiek}}$	emplacementspecifieke faalfrequentie voor ontsporen (per wagenkm/jaar)
$\bar{N}_{\text{schade ontspl empl}}$	gemiddeld aantal beschadigde wagens per ontsporing op emplacementen
$\bar{N}_{\text{ontsporing wissel empl}}$	gemiddeld aantal ontsporingen op wissels van emplacementen per jaar
$\bar{N}_{\text{ontsporing rest empl}}$	gemiddeld aantal overige ontsporingen op emplacementen per jaar
$N_{\text{totaal}}_{\text{jaren}}$	totale aantal jaren voor de statistiekperiode
$N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing empl}}$	totale aantal ontsporingen op emplacementen per statistiekperiode
$N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing wissel empl}}$	totale aantal ontsporingen op wissels op emplacementen per statistiekperiode
$N_{\text{totaal}}_{\text{ontsporing rest empl}}$	totale aantal overige ontsporingen op emplacementen per statistiekperiode
$\bar{N}_{\text{wissel empl}}$	gemiddeld aantal wissels per emplacement

$N_{\text{totaal wissel empl}}$	totale aantal wissels op alle emplacementen
$N_{\text{totaal empl}}$	totale aantal emplacementen
$N_{\text{wissel empl specifiek}}$	aantal wissels op een emplacement (emplacementsspecifieke waarde)
$N_{\text{wagenkm GT empl}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen voor emplacementen per jaar

4.3 Overwegtoeslag

De afleiding van de overwegtoeslag uit de twee aanrijdingen op een overweg (paragraaf 3.1) is vermeld in onderstaande Tabel 2.

Tabel 2 Afleiding van de overwegtoeslag

Aantal ontsporingen GT (MISOS)	2
Goederentreinkilometers	1,13E+08
Ongevallen/treinkilometer	1,77E-08
Gemiddelde aantal wagens	20
Ongevallen/wagenkilometer	8,85E-10
Wagens ontspoord (MISOS)	2
Wagen per ongeval	1
Ontspoorde wagens/wagenkilometer	8,85E-10
Overwegen per kilometer	1,05
Ongeval/wagen op overweg	9,29E-10

De hoogte van de overwegtoeslag ($9,29E-10$ per wagenkilometer per overweg) is beperkt vergeleken met de overige frequenties (Bijlage 7). Voorgesteld wordt om in een QRA (Kwantitatieve Risico Analyse) de toeslag mee te nemen bij het overschrijden van de drempelwaarde van 10% van de totale frequentie op die locatie. Voor het verbeteren van de beveiliging van overwegen (maatregel I16 in Figuur 7) kon geen factor worden vastgesteld.

4.4 Wisseltoeslag

Voor de vrije baan kon er van de tien ontsporingen slechts één worden toegekend aan het aspect 'berijden wissel in afbuigende stand'³. Verder is de correlatie van het risico van een ongeval met de aanwezigheid van wissel(s) veel minder sterk dan bij een overweg. De oorzaak van ontsporingen ligt namelijk vaak niet bij wissels, maar ze kunnen er wel manifest worden. Voor de vrije baan is daarom het huidige beeld dat een wisseltoeslag niet terecht is. Voor emplacementen is het aantal wissels verwerkt in de basisfaalfrequenties.

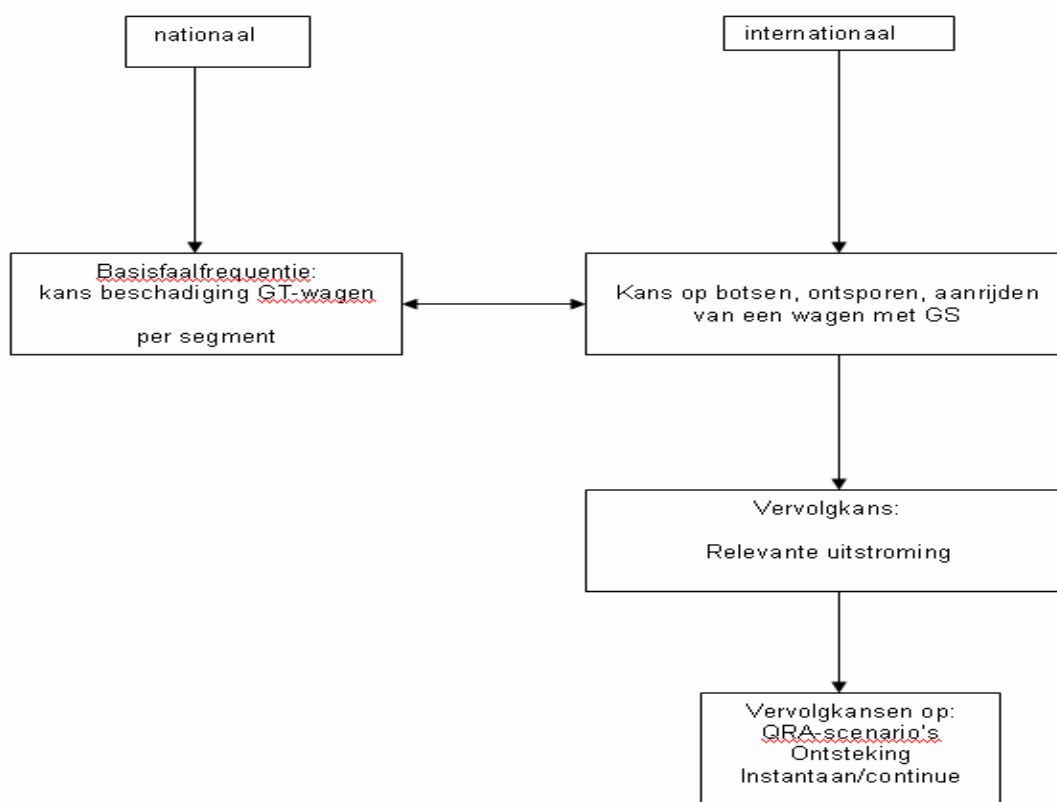
5 Afleiding vervolgcansen

5.1 Inleiding

De vervolgcans is de kans op een relevant lek (uitstroming) gegeven een schade. Afhankelijk van de beschikbare informatie kunnen de vervolgcansen worden opgesplitst naar:

- type spoorsegment;
- type ongeval: botsing, ontsporing of aanrijding op overweg;
- type ketelwagen: dun of dik;
- baanvaksnelheid: \leq of $>$ 40 km/uur.

Voor elke opsplitsing wordt deze conditionele kans in principe afgeleid uit het 'aantal wagens met een relevante lekkage gedeeld door het aantal beschadigde wagens'. De meest volledige afleiding van vervolgcansen is een analyse van spoorongevallen die gemeld dienen te worden conform de zogenaamde RID-1.8.5-formulieren. Deze informatie bleek echter niet beschikbaar en analyse hiervan zou binnen het bestek van dit project niet haalbaar zijn. Omdat in Nederland geen ongevallen met uitstroming hebben plaatsgevonden, is voor de inschatting van de vervolgcans gebruikt gemaakt van de veel grotere Europese statistiek (paragraaf 3.2). De koppeling van de Europese ongevallen van wagens met gevaarlijke stoffen met die van de Nederlandse ongevallen met goederenwagens vindt plaats op het niveau van beschadigde wagens. Voor het afleiden van vervolgcansen is de redenering schematisch als volgt:



Figuur 2 Overzicht analyse

Voor de risicoanalyse is van belang om in te schatten of de waargenomen uitstroomhoeveelheid overeenkomt met wat gehanteerd wordt in de QRA. Daarbij is ook de verdeling naar uitstromingstype (instantaan of continu) van belang.⁸ Voor de uitstroomhoeveelheid is als criterium voor brandbare vloeistoffen gekozen voor een uitstroming van minimaal circa 3 m³ (een plas van 300 m² met laagdikte 1 cm). Voor toxische vloeistoffen is vanwege grotere effecten een lagere grens (0,5 m³) aangehouden.

5.2 Europese statistiek

Van de circa 150 Europese ongevallen vertoont een deel uitstroomhoeveelheden die overeenkomen met de uitstroomscenario's in de QRA. Voor de segmenten vrije baan, emplacement en raccordement⁹ zijn dit de ongevallen in Figuur 3. Deze ongevallen zijn onderverdeeld (segment, type ongeval, toestand, treinsnelheid) en per ongeval is de bijbehorende de sommatie van het aantal wagens lek en aantal wagens beschadigd weergegeven.

Uit de beschikbare ongevalinformatie bleek het aantal en type van de beschadigde en lekke wagens vaak niet eenduidig af te leiden. Dit gold ook voor aspecten als treinsnelheid en uitstroomhoeveelheid. De ongevalinformatie is namelijk vaak onduidelijk of onvolledig en de diverse bronnen spreken elkaar vaak tegen. Voor die ongevallen is een zo goed mogelijke conservatieve schatting gemaakt. Een nadere analyse van de ongevalinformatie zal bijdragen aan een betere onderbouwing van de rekenmethodiek.

⁸ Analyse van de beschikbare informatie gaf aan dat de verdeling (instantaan 0,4 : continu 0,6) gelijk blijft.

⁹ Het raccordementongeval wordt meegenomen vanwege vergelijkbare spoor situatie en om de verzameling zo volledig mogelijk te maken.

WM-locatie	Karakteristiek incident	Toestand	Stof	Uitstroomhoeveelheid (kg)	Treinsnelheid (km/hr)	Ongevalnr.	Land	# wagens lek	# wagens schade
?	Ontsporen	Vloeistof	Diesel	30000	?	146	F	2	2
			Heizöl	35 m ³	?	118	D	1	1
Emplacement zonder rangersen	?	Vloeistof	Benzine	?	?	141	D	18	18
			Methanol	15000	?	144	F	1	1
	Botsen, flank	Vloeistof	Isopropanol	24500	?	116	D	1	5
	Botsen, onbekend	Vloeistof	Benzine	150000	?	124	D	3	11
			Heizöl	10000?	?	119	D	1	2
	Ontsporen	Tot vloeistof verdicht gas	Dimethylamine	?	?	34	F	2	2
			n-Butaan	Bijna alles	84	112	D	1	4
			Vinylchloride	280000	?	115	D	5	11
		Vloeistof	Benzine	317000	70	13	CH	9	11
				255 m ³	?	4	CH	3	8
				Zeer groot	?	12	F	4	7
			Benzine/heating oil	720000	90	28	D	14	15
			Crude oil	350000	?	140	FIN	8	8
			Epichloorhydrine	37,5 m ³	?	69	D	1	1
			Ethylalcohol	Bijna alles	?	127	F	2	4
Heizöl	16200 liter	?	117	D	1	2			
MEK	?	?	34	F					
Raccordement	Botsen achterop	Vloeistof	Benzine	50000	?	121	D	1	1
Vrije baan	Aanrijding	Vloeistof	Benzine	26000	?	148	F	1	1
	Botsen frontaal	Vloeistof	Benzine	290000	?	123	D	4	4
	Botsen gevolgd door ontsporen	Vloeistof	Benzine	> 45000	?	29	D	2	3
			Gas oil	58000	?	125	F	1	1
	Botsen, flank	Vloeistof	Benzine	50 m ³	?	120	D	3	4
	Botsen, onbekend	Vloeistof	Heating oil/diesel	343 m ³	?	37	D	3	3
	Ontsporen	Tot vloeistof verdicht gas	n-Butaan	Bijna alles	?	126	F	1	1
			Vloeistof	Ammonitrat	60 ton	?	128	F	2
		Benzine		30000	?	149	D	1	1
				? (niet alles)	?	90	B	1	4
				150-300 m ³	73	6	F	9	12
		Alles		?	139	S	3	7	
Diesel		?	?	139	S				
Isopropylbenzeen	Zeer groot	70	66	D	3	5			
Methanol	30000	?	1	NL	2	2			
Nitric acid	?	98	63	F	3	6			
Zoutzuur	Alles?	?	91	D	2	2			
Totaal								119	172

Figuur 3 Per segment de ongevallen met relevante uitstroomhoeveelheden onderverdeeld naar type ongeval, toestand, stof, uitstroomhoeveelheid (in kg tenzij anders vermeld), treinsnelheid en de bijbehorende vervolgcans

Het aantal ongevallen met uitstroming en de informatie erover is beperkt. Voor het afleiden van zo betrouwbaar mogelijke vervolgcansen is groeperen van de ongevallen noodzakelijk. Voor de segmenten onbekend (=?), vrije baan, emplacement en raccordement en opgesplitst naar type ketelwagen (dun of dik, Bijlage 2) en treinsnelheid ≤ 40 of > 40 km/uur (inclusief onbekend)¹⁰ leidt dit tot:

¹⁰ Een aanname hierbij is dat, net als voor Nederland, voor de vrijebaanongevallen de baanvaknelheid veelal > 40 km/uur zal zijn. Voor emplacementen is conservatief geschat dat baanvaknelheid > 40 km/uur zal zijn.

Tabel 3 Vervolgkans voor vrije baan/emplacement/raccordement (wagens lek/wagens schade)

Type ongeval	Type ketelwagen	Treinsnelheid	
		≤ 40 km/uur	> 40 km/uur
botsing	dun	?	0,72 (= 39/54)
	dik	?	?
ontsporing	dun	?	0,71 (= 71/100)
	dik	?	0,50 (= 9/18)

Opmerking

Een ? geeft aan dat afleiden van een vervolgkans niet mogelijk is, omdat de statistiek geen ongevallen met uitstroming bevat. Gevolg hiervan is dat voor 'dikke wagens' nu alleen ongevallen met ontsporing bij > 40 km/uur bekend zijn. Voor botsing van 'dikke wagens' is daarom het advies de vervolgkans van ontsporing te hanteren.

5.3 Vergelijk landenanalyse

In de verzamelde Europese statistiek zijn de kleinere ongevallen (botsingen, ontsporingen) met geen of weinig uitstroming van gevaarlijke stoffen ondervertegenwoordigd. Door de vervolgkansen uitsluitend te baseren op de min of meer volledig verzamelde 'grotere' ongevallen worden de vervolgkansen overschat. Geschat moet dus worden hoe representatief deze analyse is. Daarvoor is gebruik gemaakt van de vrij uitgebreide verzamelingen van ongevalbeschrijvingen met gevaarlijke stoffen die voor Duitsland, Frankrijk en Finland beschikbaar zijn. Dit zijn respectievelijk de database GUNDI, de database ARIA en de onderzoeksrapporten van de 'Accident Investigation Board Finland'.

- GUNDI bevat voor Duitsland in de periode 1992-2006 in totaal 161 ongevallen met spoorketelwagens en (spoor)tankcontainers waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken.
- ARIA bevat voor Frankrijk voor de periode 1989 t/m 2008 in totaal 596 'spoorongevallen' met gevaarlijke stoffen.
- De periode 1996-2008 omvat voor Finland 24 onderzoeken.

Deze bestanden zijn op vergelijkbare wijze als de Europese ongevallen geanalyseerd [3].

In Figuur 4 staan voor deze drie landen:

- de aantallen beschadigde en lekke vloeistof- en gaswagens en de daaruit afgeleide vervolgkansen volgens de ongevallen in de Europese statistiek (Figuur 3);
- de aantallen beschadigde en lekke vloeistof- en gaswagens en de daaruit afgeleide vervolgkansen uit de specifieke landanalyse.

De verhouding van beide vervolgkansen (uit landenanalyse/uit EC-analyse) geeft de correctiefactor voor 'overschatting' waarmee de vervolgkansen uit Tabel 3 worden gecorrigeerd.

Analyse	Gas		Vloeistof	
	beschadigd	lek	beschadigd	lek
EC-analyse				
Frankrijk	3	3	32	23
Duitsland	15	6	78	59
Finland	0	0	8	8
<i>totaal</i>	<i>18</i>	<i>9</i>	<i>118</i>	<i>90</i>
Vervolgkans	(9/18)	0,50	(90/118)	0,76
Landenanalyse				
Frankrijk	45	3	87	29
Duitsland	11	5	63	30
Finland	3	0	27	12
<i>totaal</i>	<i>59</i>	<i>8</i>	<i>177</i>	<i>71</i>
Vervolgkans	(8/59)	0,14	(71/177)	0,40
Correctiefactor	(0,14/0,50)	0,27	(0,40/0,76)	0,53

Figuur 4 Afleiding correctiefactor voor 'overschatting' van de vervolgkansen

5.4 Snelheidscorrectie van vervolgkansen

De ongevalinformatie in Figuur 3 geeft aan dat geen ongeval met een relevante uitstroming en treinsnelheid < 40 km/uur bekend is. Om een eerste inschatting te maken van de vervolgkansen bij snelheid < 40 km/uur is daarom aangesloten bij het protocol spoor [1]. Die schrijft voor een baanvaknelheid < 40 km/uur, op basis van kinetische energie, een reductie met factor 7 voor vloeistof (dun) en 3,5 voor gas (dik) voor. Figuur 5 bevat de vervolgkansen na correctie voor overschatting en snelheid.

Segment	type ongeval	type ketelwagen	≤ 40 km/uur	> 40 km/uur
vrije baan/emplacement/raccordement	botsing	dun	0,05	0,38
		dik	0,04	0,14
	ontsporing	dun	0,05	0,37
		dik	0,04	0,14

Figuur 5 Vervolgkansen na correctie voor overschatting en baanvaknelheid

Opmerkingen

1. Voorbeeld voor een dunne ketelwagen bij > 40 km/uur: $0,38 = 0,72$
2. (Tabel 4) * 0,53 (Figuur 4). Voor < 40 km/uur: $0,05 = 0,38/7$.
3. Voor een 'overwegtoeslag' (=aanrijding) moet de vervolgkans voor een botsing gehanteerd worden.
4. De huidige rekenmethodiek [1] hanteert voor wagens met D3 of D4, ten opzichte van vloeistofwagens, een reductiefactor 10. Voor de vervolgkansen in Figuur 5 zou dit betekenen dat D3- en D4-wagens sterker zijn dan dikke wagens. Het RIVM-advies is daarom om voor D3- en D4-wagens de vervolgkansen van dikke wagens te hanteren.
5. De in een QRA te hanteren snelheids categorie wordt bepaald door de hoogst toegestane baanvaknelheid voor het door te rekenen traject [1]. Deze informatie is voor:
 - de vrijbaantrajecten opgenomen in de jaarlijkse Netverklaring [4];
 - een emplacement per spoor vermeld in de zogenaamde OBE/BVS-tekeningen. Uitgangspunt is rekenen met een baanvaknelheid > 40 km/uur tenzij op alle sporen op het emplacement de baanvaknelheid < 40 km/uur is.¹¹

¹¹ ProRail kan per sein/spoor informatie leveren over de toegestane baanvaknelheid.

6. De maatregelen 'extra crashbuffers' (T27) en 'overbufferbeveiliging' (T28) uit paragraaf 6.1 kunnen de vervolgcansen reduceren. Kwantificering hiervan is echter nog niet mogelijk, omdat een overzicht ontbreekt van bij welk deel van de ongevallen dit het geval is.

Ter controle van bovengenoemde factoren voor de snelheidscorrectie van vervolgcansen is een eerste schatting gedaan van de beschikbare informatie (paragraaf 5.3) over de rangeerongevallen in Duitsland en Frankrijk. Hierbij is aangenomen dat deze ongevallen hebben plaatsgevonden bij lage treinsnelheid (< 40 km/uur). Figuur 6 bevat de aantallen beschadigde en lekke vloeistof- en gaswagens en de daaruit afgeleide vervolgcansen volgend uit de analyse.

Check factoren snelheidscorrectie				
Landenanalyse (Rangeerongevallen)	gas schade	gas lek	vloeistof schade	vloeistof lek
Frankrijk botsen	10	1	10	1
Duitsland botsen	0	0	10	3
totaal botsen	10	1	20	4
Frankrijk ontsporen	19	0	34	0
Duitsland ontsporen	6	0	19	0
totaal ontsporen	25	0	53	0
totaal	35	1	73	4
Segment	type ongeval	type ketelwagen	≤ 40 km/uur	
rangeerstation	botsing	dun	0,20	
		dik	0,10	
	ontsporing	dun	0,00	
		dik	0,00	
	botsing+ontsporing	dun	0,05	
		dik	0,03	

Figuur 6 Controle van factoren voor de snelheidscorrectie van vervolgcansen

Voorbeeld voor een dunne ketelwagen bij < 40 km/uur: $4/73 = 0,05$.

Figuur 6 geeft aan dat het aantal ontspoorde wagens dat hierbij beschadigd raakt circa drie keer zo groot is als het aantal gebotste wagens, maar dat daarbij geen uitstroming optrad. De voor botsing + ontsporing afgeleide vervolgcansen zijn te beschouwen als een redelijke onderbouwing van de factoren voor de snelheidscorrectie.

5.5 Eerste schatting faalfrequenties

De in een QRA te hanteren faalfrequentie wordt als volgt berekend:

(faalfrequentie voor botsen × vervolgcans) + (faalfrequentie voor ontsporen × vervolgcans)

Een eerste schatting van de resulterende faalfrequenties is opgenomen in Bijlage 7. De berekening is opgesplitst voor dunne en dikke ketelwagens en geldt voor een baanvaknsnelheid > 40 km/uur. Tevens is een vergelijking van de geschatte met de huidige faalfrequenties opgenomen in Bijlage 7. Hieruit volgt dat vooral de risico's veroorzaakt door dikke ketelwagens fors hoger kunnen zijn. Dit effect geldt vooral voor emplacementen.

6 Waardering maatregelen

6.1 Algemeen

Binnen het spoorvervoer wordt al geruime tijd gewerkt aan continue verbetering van de veiligheid. Een overzicht van de hiervoor beschikbare maatregelen is opgesteld door de werkgroep 'basisnet spoor' [5]. In dit project is, conform ons voorstel¹², het effect van relatief eenvoudig te kwantificeren maatregelen onderzocht. Dit zijn de maatregelen die door de werkgroep 'basisnet spoor' zijn gecodeerd met 0 en 1. In Figuur 7 is per maatregel met codering 0 en 1 een categorie vermeld. Het betreft een van de volgende categorieën:

- Waardering is nader uitgewerkt in dit rapport ('zie rapport').
 - De beschikbare statistiek biedt onvoldoende onderbouwing ('onvoldoende casuïstiek').
 - Er is te weinig informatie over de maatregel beschikbaar ('te weinig info').
- Deze waarderingen vervangen de in het huidige protocol [1] genoemde waarderingen van veiligheidsmaatregelen.

De waardering van ETCS (I10) kon vanwege tijdgebrek niet in dit deel van het project worden behandeld. Hieronder wordt de waardering van een aantal maatregelen nader toegelicht.

6.2 Waardering 'veiligheidssysteem ATBvv'

6.2.1 Inleiding

Voor een algemene uitleg van de opbouw van spoorbeveiliging en specifiek treinbeveiligingssystemen (bijvoorbeeld ATB-EG, ATB-NG en ERTMS/ETCS) wordt verwezen naar andere rapporten, bijvoorbeeld 'RvTV studie stoptonende seinen' [6]. In de huidige rekenmethodiek is een eventuele risicoreductie van deze systemen nog maar gedeeltelijk verwerkt. ATBvv is een deelsysteem en is recent geïnstalleerd als toevoeging aan deze veiligheidssystemen. De statistiek geeft daarom geen aanknopingspunt voor de waardering van ATBvv. Het onderstaande beschrijft een alternatieve aanpak.

6.2.2 Achtergrond

De veiligheidsrisico's van het treinverkeer worden voor een deel veroorzaakt door het 'door rood sein rijden' (= STS-passage) van treinen. Vanwege de toename van het jaarlijkse aantal STS-passages [7] heeft de spoorbranche (ProRail, NS Reizigers & Railion) in 2004 een stuurgroep en een werkgroep 'STS reductie' ingesteld. Voor dat project zijn als landelijke doelstellingen voor alle treinverkeer (reizigers- en goederentreinen) geformuleerd: 50% reductie in aantal en 75% reductie in risico [7], beide te bereiken in 2009 en gemeten ten opzichte van het referentiejaar 2003. Om de doelstellingen te bereiken zijn maatregelen voorgesteld als invoering van het treinbeveiligingssysteem ATBvv, verhoging van de bewustwording van machinisten, verbeteren van de zichtbaarheid van seinen en blokkering van ongewenste rijwegen.

¹² Brief van 31 juli 2008 met kenmerk 231/08 RIVM Wol/kvm-1581 van dhr. C.M. v. Luijk aan dhr. de Haan Min. V&W.

	Maatregel	Codering	Opmerkingen	Invoeringstermijn	Lokaal of generiek	Rekenkundig effect	Categorie
	<i>Logistieke en verkeersmaatregelen</i>						
L1	Langzaam rijden (< 40 km/uur)	0		NU	Lokaal	GROOT	zie rapport
L2	Groene golf	1	Bestaat uit een mix van maatregelen.	KT	Lokaal	MIDDEL	onvoldoende casuïstiek
L3	BLEVE-vrij rijden (aangepaste treinsamenstelling/bloktrein)	0	Dat wil zeggen het scheiden van brandbare gassen en zeer brandbare vloeistoffen	gefaseerd	Generiek	GROOT op GR	zie rapport
L4	Vermijden roestrijden met gs	2		NU	Generiek	KLEIN	n.v.t.
L5	Instellen rijwegen met minder interactiepunten	1	In principe mee te rekenen, kwantificering mogelijk mits rijweg dwang. Proces afspraak nog te maken.	KT	Lokaal	MIDDEL	zie rapport
L6	Scheiden van verkeersprocessen (voorkomen kruisende rijwegen)	1		KT	Lokaal	GROOT	onvoldoende casuïstiek
L7	Verdeling verkeer over de dag (inc. Nachtrijden)	0	Mits geluidscapaciteit aanwezig.	KT	Generiek / Lokaal	GR WEL	te weinig info
L8	Meld en Volgsysteem (tracking & tracing)	2	Effectreducerend, maar kwalitatief effect	JAREN	Generiek	KLEIN	n.v.t.
	<i>Infrastructurele maatregelen</i>						
I9	ETCS	1		JAREN	Generiek	GROOT	zie rapport
I10	ATBw	1		KT	Generiek	GROOT	zie rapport
I11	Verwijderen wissels	1	Heeft zelfde effect als maatregel L5	KT	Lokaal	GROOT	zie rapport
I12	Minder interactiepunten doorgaand goederenverkeer	1	Heeft zelfde effect als maatregel L5	JAREN	Lokaal	GROOT	zie rapport
I13	Ontsporinggeleiding	2		KT	Lokaal	KLEIN	n.v.t.
I14	Videoschouw	2		KT	Generiek	?	n.v.t.
I15a	Hotboxdetectie	2	Geen werkend systeem en nog geen kwantificering	KT	Generiek	?	n.v.t.
I15b	Gotcha Quo Vadis	1	Signaleert de rondheid van een wiel. In combinatie met V24 voorkomt het een Hotbox. Nog geen kwantificering	KT	Generiek	Middel	onvoldoende casuïstiek
I16	Verwijderen en verbeteren beveiliging overwegen	0		NU	Lokaal	KLEIN	zie rapport
I17	Opvang vloeistof, in de infra	1		NU	Lokaal	GROOT	onvoldoende casuïstiek
I18	Wissel met beweegbaar puntstuk	2	Hiermee wordt in principe doorgaand spoor gecreëerd	KT	Lokaal	KLEIN	n.v.t.
I19	Beveiliging werkzaamheden	2		KT	Lokaal	KLEIN	n.v.t.
I20	Controleren directe omgeving spoorbaan	2		KT	Lokaal	KLEIN	n.v.t.
I21	Controleren omgeving op objecten/ activit. die infra/treinen kunnen schaden	2		KT	Lokaal	KLEIN	n.v.t.
	<i>Overdrachtsmaatregelen</i>						
O18	Aanpassen infra, bv in tunnel/overkapping	2	NB: er bestaat geen geaccordeerde risicomethodiek tunnels.	JAREN	Lokaal	GROOT	n.v.t.
O19	Schemen langs infra	VP GR	is vergelijkbaar met B40	JAREN	Lokaal	KLEIN	n.v.t.
O20	Opvang vloeistof langs de infra	1		NU	Lokaal	GROOT	onvoldoende casuïstiek
	<i>Maatregelen bij verladere/ vervoerders</i>						
V23	Vaker inspectieonderhoud dan RID	2		KT	Generiek	KLEIN	n.v.t.
V24	Monitoring en melding onregelmatigheden in de keten	2	Deze maatregel zal op termijn een reductie van de basisfaalkansen opleveren,	JAREN	Generiek	MIDDEL	n.v.t.
V25	Meer opleiding personeel in hele keten	2	Zie opmerking bij V24	JAREN	Generiek	KLEIN	n.v.t.
	<i>Technische maatregelen aan materieel</i>						
T26	Hittewerende bekleding ketelwagons	1	Internationale toepassing noodzakelijk (Zie ook N31)	JAREN	Generiek	GROOT	te weinig info
T27	Extra crashbuffers (in RID verplicht voor GT per 2011)	1	Internationale toepassing noodzakelijk	JAREN	Generiek	MIDDEL	onvoldoende casuïstiek
T28	Overbufferbeveiliging (in RID verplicht voor GT per 2015)	1	Internationale toepassing noodzakelijk	JAREN	Generiek	MIDDEL	onvoldoende casuïstiek
T29	Ontsporingdetectie op de wagon	2	Internationale toepassing noodzakelijk	JAREN	Generiek	KLEIN	n.v.t.
T30	Remluchtcontrolesysteem	2		JAREN	Generiek	KLEIN	n.v.t.
T31	Dikwandige Ketels	1		JAREN	Generiek	MIDDEL	te weinig info

Figuur 7 Overzicht van beschikbare maatregelen met voor de maatregelen met codering 0 en 1 de categorie-indeling¹³

¹³ VP GR= verantwoordingsplicht GR, KT = op korte termijn (binnen een jaar) toepasbaar

Voor het spoortransport van gevaarlijke stoffen geldt ook het risico van STS-passage (zie paragraaf 3.1) en dan vooral op de relevante emplacementen. Invoering van het systeem ATBvv kan de kans op een STS-passage reduceren en daarmee de frequentie en dus de risico's.

6.2.3 Aanpak

Voor de waardering is aansluiting gezocht bij de wijze waarop de faalfrequentie voor botsen per emplacement (paragraaf 4.2) wordt bepaald. Die houdt immers rekening met de risicoscore van alle seinen voor een wissel op het emplacement. De voor de risicoscore gebruikte methodiek (zie paragraaf 6.2.5) selecteert de meest risicovolle seinen en deze zijn voorzien van ATBvv. De afname van de risicoscore door het aanbrengen van ATBvv is daarom gekozen als maat voor de reductie van de botsingsfrequentie per emplacement. In formule uitgewerkt:

Correctiefactor op de faalfrequentie voor botsen = 1 - ATBvv-reductiefactor

waarbij:

$$\begin{aligned} \text{ATBvv reductie factor} &= 1 - \frac{\text{score na ATBvv}}{\text{score voor ATBvv}} \\ &= 1 - \frac{(0,1 \times \text{score alle ATBvv seinen}) + (\text{score rest seinen})}{\text{score alle seinen}} \end{aligned}$$

waarin:

0,1	correctie voor het ATBvv-systeem (zie 6.2.4).
score rest seinen	score (voor 2007) van alle ATBvv-seinen voor een wissel op het emplacement
score alle seinen	score (voor 2007) van overige seinen voor een wissel op het emplacement
	score (voor 2007) alle seinen voor een wissel op het emplacement

Het betreft steeds alleen de seinen die voor een wissel staan. De risicoscore van elk sein op een emplacement is vermeld in de spreadsheet 'Ranking alle seinen'¹⁴.

6.2.4 Toelichting Correctie voor het ATBvv-systeem

Inschatten van een correctie op de effectiviteit van ATBvv is nodig omdat het systeem ontwikkeld is voor het gehele treinverkeer en de praktijkervaring ermee beperkt is. Hiertoe heeft ProRail informatie aangeleverd over de theoretische werking van en de praktijkervaring met het systeem.

- a) De theoretische werking van het ATBvv-systeem.
Het aangeleverde rapport [8] beschrijft ATBvv als een systeem dat kort omschreven bestaat uit bakens in de rijbaan die een noodremming kunnen inzetten als de treinmachinist niet of te laat reageert. ATBvv is bedoeld als toegevoegde functionaliteit op het huidige ATB EG-systeem, zoals dat in Nederland op het hoofdspoorwegnet wordt toegepast. ATBvv

¹⁴ ProRail, Tot 12-11-'08 bijgewerkte seinenlijst met hierin de toepassing van de IVW-selectiemethodiek 'risico van seinen [10]'.
[10]

heeft een remcurvebewaking in plaats van een plafondsnelheidsbewaking, zoals ATB EG. ATBvv functioneert bij snelheden onder de 40 km/uur en heeft tot doel om te voorkomen dat treinen een stoptonend sein onbedoeld passeren. Daartoe wordt in het spoor voor het sein een drietal bakens gemonteerd op circa 120, 30 en 3 meter afstand van het sein.

Bestudering van het rapport wijst op de volgende beperkingen van het systeem:

- De remcurve wordt gebaseerd op de maximale remvertraging die 99% van het betreffende materieeltype kan realiseren. Goederentreinen kunnen door hun grotere gewicht een langere remweg hebben, maar onze aanname is dat de beperking op de effectiviteit van het ATBvv-systeem gering is.
- Als een sein geen informatie geeft en de beveiliging het rode seinbeeld niet aanstuurt, ziet ATBvv dit niet als een STS.
- De machinist kan het systeem overbruggen, bij bijvoorbeeld een storing. Hiervoor is, volgens ProRail, wel een opdracht van de treindienstleider nodig.
- Het moet zowel op het baanvak als op alle treinen die op het baanvak kunnen komen, worden aangebracht.
- Het is niet 'fail safe', omdat het geen dubbele deelsystemen of voedingen heeft .

De invloed van de afzonderlijke beperkingen is lastig te kwantificeren. De gezamenlijke reductie op de effectiviteit van het ATBvv-systeem wordt geschat op 0,1 (=10%).

- b) De praktijkervaring met het ATBvv-systeem.
 ATBvv is sinds begin 2009 actief. Uit de ontwikkeling en invoering van ATBvv heeft ProRail wel een uitgebreid traject van 'safety cases' beschikbaar. Hiervan is geen samenvattend rapport opgesteld. Wel is een rapport met een integraal overzicht van de 'safety cases' aangeleverd [9]. Daarnaast analyseert ProRail storingen die vanuit de praktijk van het treinverkeer worden gerapporteerd over het ATBvv-systeem. Na bestudering van het rapport [9] beschouwt het RIVM dit punt als afgehandeld. Advies is wel om de effectiviteit van ATBvv te monitoren.

6.2.5 Toelichting risicoscore

Om budgettaire redenen zijn van de landelijk circa 6000 seinen die zich op stationsemlacements bevinden er circa 1150 voorzien van ATBvv. Om de eerder genoemde landelijke 'STS reductie'-doelstellingen te halen is een selectiemethodiek ontwikkeld waarmee alle relevante seinen zijn beoordeeld [10]. Kort omschreven is de methodiek gebaseerd op drie aspecten met in totaal zeven factoren:

- 1) beoordeling van de kans op het bereiken van het interactiepunt (ATB-type en plaatselijke snelheid op andere spoor, aantal treinen per uur op het drukste uur, seinplaatsing, aantal seinen naast elkaar);
 - 2) beoordeling van het gevolg (afstand van sein tot interactiepunt, aard van interactiepunt);
 - 3) beoordeling van de context (aantal keer dat sein onterecht gepasseerd is).
- Met deze methodiek zijn in 2007 de circa 1050 seinen met de hoogste risicoscore geselecteerd om te worden voorzien van ATBvv. Na het op

hoofdlijnen bestuderen van de selectiemethodiek merkt het RIVM ten aanzien van de geschiktheid en de wijze van toepassen ervan voor het transport van gevaarlijke stoffen op:

- De methodiek gaat uit van de hoofdrijwegen waarop de ‘normale’ verkeersafhandeling plaatsvindt. De methodiek beschouwt geen wijzigingen in rijwegen. Voorbeelden van wijzigingen zijn:
 - Drukke en vertraging van treinen leiden ertoe dat de trein over het emplacement moet rijden over sporen waar geen of minder seinen van ATBvv zijn voorzien. Door ProRail is geschat dat bij circa 20% van alle treinritten er een rijweg wijzigt. De invloed hiervan is lastig in te schatten.
 - In de toekomst zullen wijzigingen in de dienstregeling voor goederentreinen leiden tot andere rijwegen. De invloed van deze wijzigingen zijn lastig in te schatten.
- De maximale waarde van elk van de zeven selectiefactoren is begrensd (= 30) waardoor van elk sein een relatieve score ontstaat.
- De methodiek besteedt geen specifieke aandacht aan het vervoer van gevaarlijke stoffen. Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen in Zuid-Nederland is wel een extra selectie gemaakt en zijn voor de ‘toeleidende rijwegen’ 94 seinen extra geselecteerd.
- De factor ‘intensiteit rangeeractiviteiten’ was geen relevant geachte factor, in tegenstelling tot de ‘complexe situaties’ [11].
- Kruisend treinverkeer is geen factor in de methodiek.

6.3 Waardering ‘warme-BLEVE-vrij rijden’

6.3.1 Achtergrond

Bij treinen die zijn samengesteld uit ketelwagens met brandbaar gas en brandbare vloeistof kan bij een ongeval het scenario ‘warme BLEVE’ (BLEVE= Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) optreden. In een QRA wordt de risicobijdrage van dit scenario nu op theoretische wijze afgeleid [1]. Het scenario draagt fors bij aan de berekende risico’s. In opdracht van het ministerie van V&W is daarom een haalbaarheidstudie ‘warme-BLEVE-vrij rijden’ [12] uitgevoerd. Deze studie verstaat onder ‘warme-BLEVE-vrij rijden’: het samenstellen van treinen op een zodanige manier dat wordt voorkomen dat ketelwagens met brandbare vloeistoffen en ketelwagens met tot vloeistof verdichte brandbare gassen direct achter elkaar in één en dezelfde trein worden vervoerd. Om het ‘warme-BLEVE-vrij rijden’ te realiseren word een tweeledige aanpak voorgesteld:

- scheiden van ketelwagens met brandbare vloeistoffen en ketelwagens met tot vloeistof verdichte brandbare gassen door schutwagens;
- zorgen dat tot vloeistof verdichte brandbare gassen en brandbare vloeistoffen niet in dezelfde trein worden vervoerd.

Om bovenvermelde aanpak te realiseren doet het rapport drie aanbevelingen:

1. Vrijwaar het vervoer op de Betuweroute en de Havenspoorlijn van de eis van warme-BLEVE-vrij rijden op voorwaarde van rerouting van deze treinen weg van andere routes.
2. Realiseer op korte termijn warme-BLEVE-vrij belading op containerterminals door afspraken te maken met de Nederlandse terminaloperators.
3. Realiseer de optie van warme-BLEVE-vrij samenstellen van treinen op Kijfhoek zonder een tweede heuvelproces.

6.3.2 *Beoordeling*

Het conceptrapport vat de huidige situatie rondom het 'warme-BLEVE-vrij rijden' voldoende samen. Aanbeveling 1 is een beleidsmatige keuze waarover RIVM geen oordeel kan uitspreken. De aanbevelingen 2 en 3 acht RIVM zeer zinvol en kunnen een forse risicoreductie geven. In het rapport zijn ze echter nog onvoldoende concreet uitgewerkt om nu een reductiefactor te kunnen bepalen. Voor beide aanbevelingen is een goede beschrijving nodig wanneer en op welke wijze de maatregel wordt ingevoerd. Voor een definitieve beoordeling dient een helder plan, inclusief het eventuele gebruik van schutwagens, te worden aangeleverd.

6.3.3 *Ontwikkelingen ten aanzien van het niet 'warme-BLEVE-vrije' deel*

Voor de risicobijdrage van het scenario 'warme BLEVE' is ook van belang of 'de wijze waarop tot op heden in de QRA is gerekend' overeenkomt met 'daadwerkelijke wijze van het samenstellen van treinen in de praktijk'. Een deel van de treinen, bijvoorbeeld deels het vervoer uit het buitenland, wordt immers niet 'warme-BLEVE-vrij' samengesteld. Voor die treinen zijn de huidige rekenregels gebaseerd op conservatieve aannames. Voorbeeld van zo'n aanname betreft het 'random verdelen' van de wagens bij het samenstellen van treinen. Begin 2007 heeft het RIVM daarom mede het initiatief genomen om na te gaan of informatie over de daadwerkelijke treinsamenstelling beschikbaar kon komen. Dat bleek destijds niet mogelijk. Wel spelen op dit terrein de volgende ontwikkelingen:

- De genoemde haalbaarheidstudie [12] bevestigt opnieuw de voornoemde onzekerheid van 'er is geen praktisch bruikbaar inzicht in de daadwerkelijke samenstelling van treinen'. De auteurs zijn daarom, in opdracht van het ministerie van V&W, nagegaan of op basis van de zogenaamde 'wagenlijsten' bruikbare informatie over de daadwerkelijke samenstelling van treinen beschikbaar kan komen. Daarmee kunnen nieuwe rekenregels worden opgesteld.
- De in dit project 'actualisatie faalcijfers spoor' verzamelde Nederlandse en Europese statistiek en informatie biedt nieuwe inzichten ten aanzien van de kans op het scenario 'warme BLEVE'.

De resultaten van beide ontwikkelingen waren nog niet beschikbaar en zijn daarom niet meegenomen in onze beoordeling. In fase twee van het project 'actualisatie faalcijfers spoor' worden ze nader onderzocht.

6.4 **Waardering 'verwijderen overbodige wissels'**

Het verwijderen van wissels op een emplacement kan de botsings- en ontsporingsfrequentie reduceren. Deze frequenties zijn namelijk afhankelijk van het aantal wissels (zie paragraaf 4.2). Het huidige aantal wissels is voor elk emplacement weergegeven in Bijlage 4. Voordat een lagere frequentie wordt toegepast, adviseren wij:

- de invloed van de te verwijderen wissels op de veiligheid van de lokale treinprocessen in een studie te onderbouwen;
- de spoorbeheerder, ProRail, schriftelijk te laten vastleggen waar welke wissels worden verwijderd.

7 Nadere invulling rekenmethodiek

In het huidige protocol 'spoor' is een aantal QRA-aspecten niet of onvoldoende beschreven. Tevens heeft dit project ook nieuwe informatie over een aantal QRA-aspecten opgeleverd. Hieronder worden enkele aspecten beschreven en aangegeven hoe ermee om te gaan.

7.1 Ontstekingskans brandbare vloeistoffen

Uit de ongevallen met relevante uitstroming in Tabel 4 is de ontstekingskans geschat. Het betreft ongevallen met brandbare vloeistoffen (C3) die nu deel uitmaken van de rekenmethodiek, ongevallen van S3b-categorie [13]. Figuur 8 bevat voor elk ongeval het aantal wagens lek, aantal wagens brand en het aantal wagens met een vuurbal (zie paragraaf 7.2) afgeleid uit de ongevalinformatie.

WM-locatie	Stof	Uitstroomhoeveelheid (kg)	Ongevalnr.	Ontsteking	# wagens lek	# wagens brand	# wagens vuurbal
Emplacement zonder rangeren	Benzine	317000	13	gaswolkexplosie	9	3	
		?	141	nee			
				plasbrand			
				vloeistof BLEVE	18	3	
		150000	124	plasbrand	3	3	
		255 m ³	4	plasbrand	3	3	
		Zeer groot	12	plasbrand, gaswolkexplosie, vloeistof BLEVE	4	3	1
	Benzine/heating oil	720000	28	gaswolkexplosie, vloeistof BLEVE	14	13	2
	Ethylalcohol	Bijna alles	127	plasbrand	2	2	
	Isopropanol	24500	116	nee	1	0	
MEK	?	34	plasbrand		2		
Methanol	15000	144	nee	1	0		
Raccordement	Benzine	50000	121	nee	1	0	
Vrije baan	Benzine	26000	148	nee	1	0	
		30000	149	nee	1	0	
		?	90	nee	1	0	
		> 45000	29	plasbrand	2	2	
		150-300 m ³	6	gaswolkexplosie	9	9	
		290000	123	plasbrand	4	4	
		50 m ³	120	plasbrand			
			vloeistof BLEVE	3	3	1	
	Alles	139	plasbrand, vloeistof BLEVE	3	2	2	
Methanol	30000	1	plasbrand	2	2		
Totaal					82	54	6

Figuur 8 Ontstekingskans brandbare vloeistoffen

De ontstekingskans, bepaald door het aantal wagens brand/aantal wagens lek, is 0,66 (=54/82). Deze bepaling is conservatief, omdat niet de kans per ongeval is beschouwd, maar de kans voor het totaal van de ongevallen met C3-stoffen.

7.2 Vuurbal brandbare vloeistoffen

Bij een significant deel van de spoorongevallen met brandbare vloeistoffen is sprake van explosief falen veroorzaakt door brand. Vergelijkbaar met een 'warme BLEVE' van gasketelwagens verbrandt hierbij een deel van de inhoud als een vuurbal. Dit leidt tot een extra risico bovenop dat van een plasbrand. Bijlage 8 bevat een beschrijving en een conceptvoorstel voor het opnemen van dit scenario in RBM II. Nader onderzoek is nodig naar de kans op dit scenario en de straal en straling ervan.

7.3 Welke gevaarlijke stoffen mee in een QRA?

Sinds een aantal jaren is er regelmatig discussie over welke gevaarlijke stoffen mee (moeten) worden genomen in een QRA voor spoortransport. Centraal in die discussie staat of de risico's niet worden onderschat en hoe de meegenomen stoffen zich verhouden tot QRA's voor andere onderwerpen. Helderheid en eenduidigheid over welke stoffen in QRA's voor spoortransport meegenomen dienen te worden is wenselijk, omdat:

- vanuit het oogpunt van modelbeheer de aanpak zo goed mogelijk moet kunnen worden vergeleken met QRA's voor andere onderwerpen (inrichtingen, wegtransport enzovoorts);
- uitgangspunt van de werkgroep is om risico's zo goed mogelijk in te schatten en de Europese ongevalsanalyse aangeeft dat er relevante ongevallen zijn gebeurd met stoffen die nu niet worden meegenomen.

Welke stoffen nu worden meegenomen is voor het eerst in 1995 vastgelegd (VROM [14]) door aanwijzing van een aantal zogenaamde GEVI-nummers. In Tabel 4 zijn de GEVI-nummers voor deze stoffen, relevant voor externe veiligheid, weergegeven.

Tabel 4 Stofcategorieën en GEVI-nummers waarop de vervoersprognose is gebaseerd

Risicocategorie	GEVI-nummer	Voorbeeldstof(fen)
A Brandbare gassen	23, 263, 239	Propaan
B2 Giftige gassen	26, 265, 268 (excl. chloor)	Ammoniak
B3 Zeer giftig gas-chloor	268 (alleen chloor UN 1017)	Chloor
C3 Zeer brandbare vloeistoffen	33, 336 (excl. acrylnitril), 338, 339, X323, X333, X338	Hexaan
D3 Acrylnitril	336 (alleen acrylnitril UN 1093)	Acrylnitril
D4 Zeer giftige vloeistoffen	66, 663, 668, 886, (X88, X886)	Waterstoffluoride

De beschikbaarheid van informatie en gebrekkige registratiesystemen waren destijds belangrijke argumenten voor de gekozen indeling. De huidige vervoersprognose hanteert globaal nog steeds deze indeling, hoewel de beperkingen niet meer bestaan¹⁵. Tekortkomingen van de indeling zijn:

¹⁵ Zie website ProRail voor de GOR 'Aanleveren van informatie over samenstelling en belading van goederentreinen voor vertrek'

- Niet alle GEVI-nummers die relevant kunnen zijn voor de externe veiligheid, vallen er onder. Het betreft bijvoorbeeld de GEVI-nummers 323; zie ook Bijlage 8.
- Van brandbare vloeistoffen worden nu alleen de stoffen met vlampunt < 23°C (verpakkingsgroep I en II) meegenomen.

Onderzocht is daarom in hoeverre de risico's door de huidige methodiek mogelijk worden onderschat. Hiertoe zijn onderstaande acties uitgevoerd:

1. Van de verzamelde Europese ongevalinformatie is per ongeval nagegaan of de betrokken stoffen volgens de huidige criteria (Tabel 5), zou worden meegenomen. Hieruit volgt dat dit bij negentien (zestien instantaan en drie continu) van de circa 150 ongevallen niet het geval was. Zie ook Bijlage 8.
2. De stoffenlijst¹⁶ de ADR/RID/ADN per 1-1-2007 bevat de classificatie volgens zowel de S3b-methodiek I (spoor) als de S3b-methodiek II (land). Hiervan zijn alle stoffen geselecteerd die een classificatie voor landtransport hebben. Vergelijken van de kolommen 'risicocat spoor' en 'risicocat land' geeft dan aan dat ruwweg 50% geen deel uitmaakt van de S3b-methodiek I (spoor). Het RIVM beschikt niet over informatie of deze stoffen worden vervoerd en, zo ja, met welke verkeersprestatie, en kan de risicobijdrage ervan niet inschatten.
3. Volgens ProRail behoort op gewichtsniveau circa 6% van het vervoer tot de stofcategorie A-D4. Voor alle stoffen met een GEVI-code is dit 9,6%.

Omdat de bijdrage aan de risico's nog niet kan worden ingeschat, heeft het RIVM in het project 'Update Stofcategorie indeling', dat door RWS-DVS is uitgevoerd, voorgesteld de bijdrage aan het risico te onderzoeken en vast te stellen hoe hier mee om te gaan¹⁷.

7.4 Intrinsiek falen van vloeistofwagens

De Europese ongevalinformatie laat naast botsingen en ontsporingen ook ongevallen met intrinsiek falen zien. In Figuur 9 is de belangrijkste informatie per ongeval opgenomen.

Nr.	Karakteristiek incident	Toestand	Belangrijkste uitstroming	uitstroomhoeveelheid (
49	Intrinsiek falen	Vloeistof	Continue	100 liter
72	Intrinsiek falen	Vloeistof	nvt	1 liter
76	Intrinsiek falen	Vloeistof	nvt	0
78	Intrinsiek falen	Vloeistof	Continue	600 liter
101	Intrinsiek falen	Vloeistof	nvt	Druppel
19	Intrinsiek falen	Vloeistof	nvt	Druppel
54	Intrinsiek falen	Vloeistof	Continue	?
56	Intrinsiek falen	Vloeistof	Continue	1200
57	Intrinsiek falen	Vloeistof	Continue	?
79	Intrinsiek falen	Vloeistof	(blank)	?
102	Intrinsiek falen	Vloeistof	Continue	?

Figuur 9 Intrinsiek falen ongevallen

Het betreft voor zowel emplacementen als vrije baan in alle gevallen uitstroming uit vloeistofwagens. In geen van de gevallen waren er EV-consequenties waardoor is ingeschat dat dit scenario niet bijdraagt aan de risico's.

¹⁶ E-mail van 16/11/07 van dhr. P Huurdeman, V&W aan dhr. B. Wolting, RIVM.

¹⁷ in het project 'Update Stofcategorie indeling' is gekozen om dit onderzoek niet uit te voeren.

8 Conclusies, Discussie en Aanbevelingen

Tot op heden worden de risico's van het vervoer van gevaarlijke vloeistoffen en gassen per spoor berekend volgens het Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per Spoor uit 2006 [1]. Die methode hanteert faalfrequenties die afgeleid zijn uit ongevallen op het spoor in Nederland tussen 1981 en 1992. De kans op een ongeval wordt hierbij evenredig verdeeld over het spoor zonder rekening te houden met de drukte op het spoor. Wel wordt gerekend met een toeslag voor de aanwezigheid van wissels en overwegen.

Voor de actualisatie van de faalfrequenties is met een aantal veldpartijen informatie verzameld over ongevallen met goederentreinen in Nederland tussen 1996 en 2005. Van de 42 ongevallen vonden er 26 plaats op stationslocaties en 16 op de vrije baan. Hier waren geen ongevallen bij waarbij gevaarlijke vloeistoffen of gassen ontsnapten. Om de kans op dergelijke ongevallen te bepalen, is gebruikgemaakt van ongevalrapportages uit andere Europese landen. Hierbij is ook de kans op brand en een vuurbal onderzocht.

Geconcludeerd kan worden dat de risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor mogelijk groter zijn dan berekend volgens het protocol. Een indicatieve vergelijking van de huidige met de nieuwe faalfrequenties is opgenomen in Bijlage 7. Hieruit volgt dat vooral op emplacementen de risico's hoger kunnen zijn.

Over de omvang van de risico's bestaat echter nog grote onzekerheid. Zowel de kans op ongevallen als de gevolgen voor de omgeving zijn het grootst bij stationslocaties. Een eerste schatting van de beschikbare Europese statistiek van ongevallen met grote uitstroming van een gevaarlijke stof geeft aan dat de ontstekingskans van brandbare vloeistof hoger is dan tot op heden geschat (0,66 in plaats van 0,25 volgens [1]). Deze bepaling is conservatief, omdat niet de kans per ongeval is beschouwd maar de kans voor het totaal van de ongevallen met brandbare vloeistoffen. Ook volgt uit de Europese statistiek dat wagens met brandbare vloeistof in een brand explosief kunnen falen. Vergelijkbaar met een 'warme BLEVE' van gasketelwagens verbrandt hierbij een deel van de inhoud als een vuurbal. Dit risico is extra ten opzichte van dat van een plasbrand en is niet in de huidige methodiek verwerkt. Nader onderzoek naar de kans op en de straal en straling van dit vuurbalscenario is nodig. Tot slot kan de kans op uitstroming uit dikwandige wagens die tot vloeistof verdicht gas vervoeren hoger zijn dan de huidige waarde. Die schatting is omgeven met grote onzekerheden doordat:

- de analyses van schade aan wagens conservatieve definities hanteren;
- de ongevallen met uitstroming in aantal beperkt zijn;
- de informatie over de ongevallen beperkt is en soms onduidelijk of tegenstrijdig;
- gegevens over het aantal afgelegde wagenkilometers ontbraken;
- de snelheidsafhankelijkheid van de kans nader moet worden onderzocht.

Nader onderzoek is nodig om uit te wijzen of deze schattingen een juist beeld geven. Hiervoor is vooral nodig meer informatie uit meer ongevalrapportages toe te voegen aan de statistiek en de mogelijke ongevallen gedetailleerder te analyseren.

Van de onderzochte maatregelen is de belangrijkste waarvoor een waardering kon worden afgeleid het zogenaamde ATBvv-systeem. Dit is een verbeterde versie van het ATB-systeem dat treinen automatisch voor een rood sein laat

stoppen. Dit vermindert het aantal botsingen en daarmee de faalfrequentie voor botsen.

Vanwege het belang van dit onderzoek heeft het RIVM er een externe review van laten uitvoeren. Aan de reviewers (Menso Molag (lector risicobeheersing TNO), Jan Heitink (senior risicoanalist AVIV), Pieter van Gelder (universitair hoofddocent TU Delft)) is gevraagd om te toetsen of het onderzoek zoals beschreven in het briefrapport 'Actualisatie faalcijfers spoor vrije baan & emplacements' [15] methodologisch en inhoudelijk juist is uitgevoerd. Ook is gevraagd of de volgende leerpunten door het onderzoek voldoende worden onderbouwd:

De ongevallen (botsingen en ontsporingen), en daarmee de risico's concentreren zich op zogenaamde stationslocaties. Europese casuïstiek, die veel omvangrijker is dan Nederlandse, geeft aan dat:

- de ontstekingskans van brandbare vloeistof tot een factor drie hoger kan zijn dan tot op heden geschat;
- wagens met brandbare vloeistof in een brand explosief kunnen falen; net als bij een 'warme BLEVE' van gasketelwagens verbrandt hierbij een deel van de inhoud als een vuurball;
- de kans op falen van gasketelwagens hoger is dan tot op heden geschat.

De reviewers kwamen tot de volgende aanbevelingen [16]: De reviewers zijn van mening dat met dit RIVM-onderzoek een belangrijke aanzet is gegeven voor realistischere faalfrequenties en vervolgmogelijkheden voor risicoanalyses van railtransport van gevaarlijke stoffen. Met name de veel betere verdeling van de frequentie van optreden van ongevallen op de vrije baan en op emplacements is relevant. Juist nabij emplacements vindt projectontwikkeling en nieuwbouw plaats die ertoe leidt dat meer mensen aanwezig zijn in de nabijheid van het railtransport van gevaarlijke stoffen. Met de huidige faalfrequenties worden de externe veiligheidsrisico's voor deze locaties mogelijk te laag ingeschat. Dit kan echter pas goed worden beoordeeld na een vervolgonderzoek naar de gehele gebeurtenissenboom van de scenario's. Het huidige rapport beperkt zich tot enkele (belangrijke) onderdelen van de boom, met name de kans op falen van een wagen. De vervolgebeurtenissen (grootteverdeling van de uitstromingen, kans op ontsteking, kans op ontwikkeling vuurball) worden slechts gedeeltelijk beschouwd. De reviewers bevelen aan om spoedig het onderzoek naar de actualisatie van de faalcijfers spoor vrije baan en emplacements af te ronden met inachtneming van de in deze review gemaakte opmerkingen.

Het RIVM brengt deze aanbevelingen in bij fase 2 van dit project. Allereerst wordt daarin onderzocht of een andere statistiekperiode globaal eenzelfde beeld van ongevalconcentratie geeft. Verder worden de onzekerheden in de risicoschatting verkleind door gegevens uit meer ongevalrapportages toe te voegen aan de statistiek en de (mogelijke) ongevallen gedetailleerder te analyseren. Vooral het scenario waarbij een vuurball uit een tot vloeistof verdicht gas, een BLEVE, ontstaat, is hierbij belangrijk. Tot slot worden maatregelen nader geëvalueerd. Eén daarvan is het ATBvv-systeem waarvan de eerste resultaten worden geëvalueerd. Een andere is het 'warme BLEVE-vrije rijden' waarbij wagens met een brandbare vloeistof niet aan een gasketelwagen mogen worden gekoppeld.

Bijlage 1 Definities en Afkortingen

Tevens wordt verwezen naar definities in Netverklaring [4], IVW [10], Protocol Spoor [1] en Handleiding Risicoberekeningen Bevi [17].

ATB	Automatische Trein Beïnvloeding
Baanvaksnelheid	De maximale toegestane treïnsnelheid (km/uur) op een baanvak op basis van de infrastructuur
Beschadigde wagen	Een wagen die bij het ongeval (ontsporing, botsing, overbuffering) op enigerlei wijze beschadigd kan zijn
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
Emplacement	Gebied van de railinfrastructuur dat bestemd en ingericht is om treinen te doen stoppen, beginnen, eindigen, inhalen, kruisen, opstellen of rangeren en voorzien van tenminste één wissel
Faalfrequentie	De kans (per afgelegde wagenkilometer per jaar) op een onregelmatigheid (botsing of ontsporing) die aanleiding kan geven of geeft tot uitstroming
GEVI	Gevaarsidentificatienummer
Goederentrein	Een of meer goederenwagens gekoppeld aan een locomotief en voorzien van een treïnsamenstellingslijst (= 'wagenlijst').
Hoofdspoorweg	Een spoorweg die uitsluitend of overwegend bestemd voor het verrichten van openbaar personenvervoer of goederenvervoer ten behoeve van internationale of regionale verbindingen (door middel van Koninklijk Besluit aangewezen in het Besluit aanwijzing hoofdspoorwegen)
QRA	Kwantitatieve Risico Analyse
Raccordement	een spoorweg niet bestemd voor openbaar vervoer van personen of goederen
Rangeerdeel	Een of meer goederenwagens die wel of niet gekoppeld zijn aan een locomotief maar niet voorzien van treïnsamenstellingslijst (= 'wagenlijst').
RBM II	RisicoBerekeningsMethodiek II: gestandaardiseerde rekenmethodiek voor het bepalen van de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen
RID	Reglement betreffende het internationale spoorwegvervoer van gevaarlijke goederen

Rijsnelheid	De treinsnelheid (km/uur) die volgens de dienstregeling is toegestaan
Spoorsysteem	Het systeem dat goederentreinen met gevaarlijke stof gebruiken vanaf het moment na beladen tot het moment van lossen ervan. Het omvat de spoorbaan (onder- en bovenbouw en infrastructuur), het rijdend materieel (locomotief en wagens) het personeel enzovoorts. Ondersteunende processen hiervan zoals dienstregeling (planning, rijweginstelling), beveiliging, communicatie, onderhoud, wet- en regelgeving enzovoorts maken er indirect deel van uit.
STS	Stop Tonend Sein
Toeleidende rijweg	Een rijweg die intakt op een hoofdrijweg
Treinkilometers	Het aantal treinkilometers per jaar in Nederland eventueel opgesplitst naar segment (vrije baan en emplacement)
Treinsnelheid	De laatst gemeten treinsnelheid (km/uur) voor het ongeval
Verkeersprestatie	Het aantal treinkilometers per jaar in Nederland eventueel opgesplitst naar segment vrije baan en emplacement
Vervolgkans	De kans op een relevant lek (= uitstroming van gevaarlijke stof) gegeven een schade
Volle wagen	Wagen volledig beladen
Vrije baan	Trajecten van de hoofdspoorwegen tussen de emplacementen
Wagen	Ladingeenheid in een trein
Wagenkilometers	Aantal afgelegde kilometers van een (goederen)wagen
Wisselcomplex	Samenhangende verzameling wissels, die onderling geschakeld de verbindingsfunctie vervult tussen verschillende sporen. Een wisselcomplex is geografisch begrensd en kan meerdere wisselstraten omvatten.
Wisselstraat	Een aantal zodanig met elkaar verbonden wissels dat zij onderdeel zijn van een rijweg voor een trein

Bijlage 2 Toelichting spoortermen en gehanteerde indeling

Om de leesbaarheid van het rapport te bevorderen, is in deze bijlage aangegeven welke indeling in spoorsegmenten is gehanteerd bij het actualiseren van de faalfrequenties. Deze indeling is uitsluitend bedoeld om de ongevallen te kunnen categoriseren naar een bepaald spoorsegment om vervolgens een faalfrequentie af te kunnen leiden. Voor de goede orde wordt opgemerkt dat deze indeling niet kan worden opgevat als een interpretatie van de huidige beleidspraktijk. Evenmin is deze indeling bedoeld als advies of aanbeveling voor het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

I Beschrijving van het spoorstelsel

Hoofdprocessen

Binnen het systeem worden twee hoofdprocessen onderscheiden:

- het proces van het doorgaande spoorvervoer op het hoofdspoor;
- het proces van rangeerhandelingen.

Treinen en rangeerdelen

Een belangrijk onderscheid is dat tussen treinen en rangeerdelen. We spreken over een goederentrein als zich voor de goederenwagens een locomotief bevindt met hierbij de treinsamenstellingslijst (ook wel 'wagenlijst'). Dit kan een rijdende trein zijn, maar ook een geparkeerde of stilstaande goederentrein (bijvoorbeeld op het moment dat de goederentrein juist is binnengekomen of klaar staat om te vertrekken). Ook kan het zo zijn dat een goederentrein kortdurend moet wachten voor bijvoorbeeld een machinistenwissel of het laten passeren van een reizigerstrein. In de andere gevallen spreken we over goederenrangeerdelen. Dit zijn dus goederenwagen(s) zonder een locomotief of goederenwagens met hiervoor een rangeerlocomotief. Hierbij is geen treinsamenstellingslijst aanwezig. Verder kunnen reizigersrangeerdelen een rol spelen. Dit is bijvoorbeeld een lege reizigerstrein die van het perron wordt 'afgerangeerd' naar een opstelplaats¹⁸.

Ketelwagens en containers

In de praktijk worden er naast spoorketelwagens (SKW's), voor gas of vloeistof, in toenemende mate tankcontainers gebruikt voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. De geschiktheid van de huidige indeling [1] in dun- en dikwandige ketelwagens is daarom beschouwd. Dat heeft het volgende opgeleverd:

- Een volledige beschrijving van de verschillende vervoerseenheden en hoe daar mee om te gaan in de rekenmethodiek is nog niet opgesteld.
- De ongevalstatistiek is nog niet geanalyseerd op de verschillen tussen containers en spoorketelwagens.
- De constructie-eisen (RID, paragraaf 6.8) zijn voor containers en SKW's gelijk.
- Containers en SKW's (zowel voor atmosferisch als druk) verschillen in inhoud. De gemiddelde inhoud van een SKW is voor brandbare stoffen gelijk aan twee containers en voor toxische stoffen gelijk aan drie¹⁹.

¹⁸ Meestal betreft dit opstelplaatsen 'dedicated' voor reizigersmaterieel. Opstellen van reizigersmaterieel vindt soms echter ook plaats op goederenemplacementen.

¹⁹ Tijdens opstellen van het protocol spoor is in de VVoS (18/8/05) afgesproken dat 'tankcontainers worden doorgerekend als ketelwagens'.

Hieruit is geconcludeerd dat er nog onvoldoende argumenten zijn om de bestaande indeling te wijzigen. Voor de afleiding van de faalcijfers is daarom uitgegaan van de huidige indeling:

- Zwak/dunwandig (< 10 mm, vloeistof/atmosferische ketelwagen of container);
- Sterk/dikwandig (> 10 mm, gas/druk ketelwagen of container).

Indeling van de ongevallen in dun- of dikwandige ketelwagens heeft plaatsgevonden op basis van de beschikbare informatie (hoofdstuk 3).

(Niet-)Centraal Bediend Gebied

De rangeerhandelingen kunnen zowel plaatsvinden op zogenaamd Niet-Centraal Bediend Gebied (NCBG) als op Centraal Bediend Gebied (CBG). Het NCBG betreft een gebied op het spoorwagennet, waarbinnen de bediening van individuele infraobjecten en de rijweginstellingen lokaal plaatsvindt onder toezicht van een Treindienstleider 'Minimaal Bevoegd'. Bij CBG vindt de treindienstleiding plaats vanuit een centraal punt. In het CBG zijn de spoorwegen ten behoeve van de veilige en beheerste afwikkeling van het treinverkeer uitgerust met seinstelsels en beveiligings- en communicatiesystemen. Alle baanvakken en sporen die zijn ingericht voor snelheden > 40 km/uur zijn voorzien van een seinstelsel dat het verband tussen wisselstanden, spoorbezetting en seingeving bewaakt; daarnaast worden beveiligingssystemen toegepast die via treinbeïnvloeding de maximumsnelheid en de correcte uitvoering van de opdrachten van de seingeving bewaken.

Sporen

Uitgangspunt bij de ongevalanalyse (paragraaf 3.1) was dat emplacementsporen worden gekarakteriseerd door spoornummers en vrijebaansporen door spoorletters.

Snelheden

Op het spoor spelen meerdere termen rondom snelheid een rol. Voor dit onderzoek zijn vooral van belang de baanvaknsnelheid (wat maximaal is toegestaan), de rijnsnelheid (wat volgens de dienstregeling is toegestaan) en de treinsnelheid (laatst gemeten snelheid voor een ongeval). Die laatste is beschouwd als indicatie van de snelheid van botsen/ontsporen.

Wissels

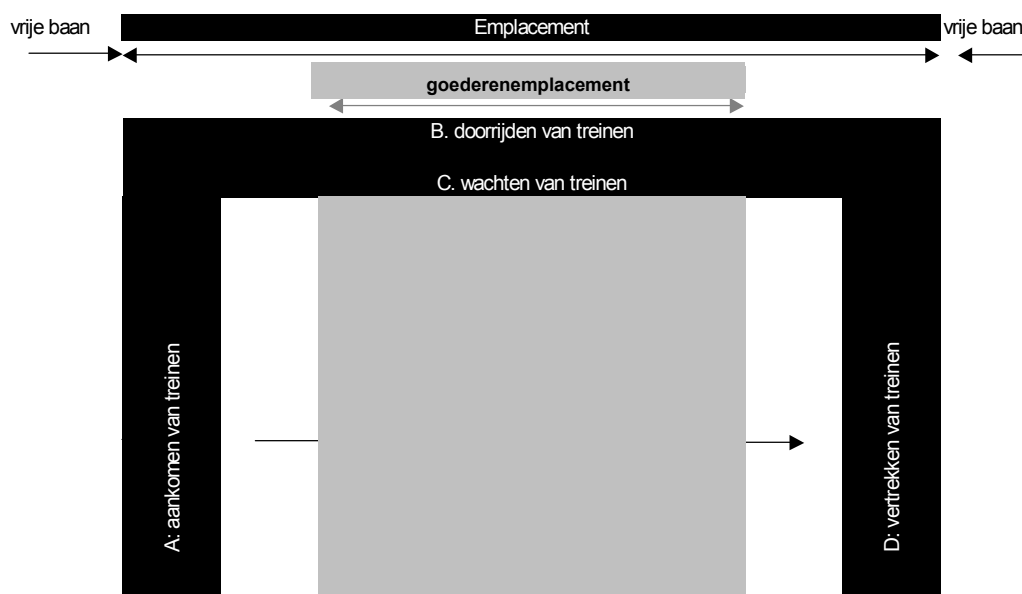
Er bestaan diverse typen wissels, maar voor dit onderzoek is aangenomen dat alle typen wissels gelijkwaardig zijn en even vaak worden bereden.

II Gehanteerde indeling

Voor de bepaling van het externe veiligheidsrisico van een locatie worden beide hoofdprocessen onderverdeeld in een of meer segmenten. Voor het doorgaande vervoer betreft dit de segmenten vrije baan, emplacement (ook aangeduid als 'complexe locaties of stationslocatie') en raccordement. Voor de rangeerhandelingen is dit het segment goederenemplacement.

Hieronder is elk segment kort beschreven en is een aantal subprocessen/scenario's beschouwd waarover nog wel eens onduidelijkheid bestaat tot welk segment het (externe veiligheids-)risico ervan behoort. Vermeld is de afspraak hoe hier volgens de meerderheid van de werkgroep/begeleidingscommissie mee om te gaan. De uitkomst ervan is schematisch weergegeven in bijgevoegde Figuur 10. Tot slot is per segment een indicatie van mogelijke ongevalsscenario's (niet-limitatief) vermeld. Hoewel dit

rapport zich richt op de segmenten emplacement en vrije baan, behandelt deze bijlage ook de segmenten raccordement en goederenemplacement om het spoorstelsel als geheel te beschouwen.



Figuur 10 Onderscheid in functies (of activiteiten) van het emplacement en functies van het goederenemplacement

Legenda: Functies/activiteiten van het emplacement (zwarte vlakken)

- a) aankomen van treinen;
- b) doorrijden van treinen;
- c) wachten van treinen;
- d) vertrekken van treinen.

Functies/activiteiten van het goederenemplacement (grijze vlakken)

1. parkeren van rangeerdelen of treinen;
2. rangeren

1. Vrije baan

De vrije baan wordt gedefinieerd als dat gedeelte van de hoofdspoorwegen dat niet behoort tot de emplacementen en raccordementen. Op de vrije baan worden geen treinen geparkeerd. In afwijking van de reguliere dienstregeling kan een trein wel enige tijd stil komen te staan, bijvoorbeeld in geval van een calamiteit of een stremming elders op het spoor.

1.1. Identificatie van scenario's voor de vrije baan

Voor de vrije baan kunnen de volgende scenario's worden onderscheiden.

1. Botsing tussen treinen

Incident waarbij een goederentrein buiten een emplacement botst met een andere trein. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden met de situatie waarbij het baanvak is aangesloten op een wel of niet met ATB-beveiligd baanvak. Hierbij zou ook nog onderscheid gemaakt kunnen worden tussen ATB-EG, ATB-NG, ATB-vv, ETCS level 1 en ETCS level 2.

Omdat overloop- en intakwissels niet beschouwd worden onder het segment emplacement maar onder vrije baan (zie paragraaf 2 hieronder) is er ook een mogelijk botsingsscenario als gevolg van een kruisende beweging.

2. Botsing bij overweg (ter bepaling van overwegtoeslag)
Incident waarbij goederentrein botst met zwaar wegvoertuig op een overweg (zowel buiten als binnen een emplacement). Hierbij dient, indien mogelijk, onderscheid gemaakt te worden naar zwaarte van het voertuig (auto's/vrachtwagens/tractor).
3. Ontsporing van goederentrein
Een ontsporingincident van een goederentrein niet nabij een wissel (bijvoorbeeld als gevolg van spoorverzakking of kromme sporen)²³.
4. Ontsporing van een goederentrein bij wissel (ter bepaling van wisseltoeslag)
Incident waarbij goederentrein ontspoord bij overloop of intakwissel.
5. Overige botsingen
Bijvoorbeeld botsingen met zwaar object op of nabij spoor of botsing van goederentrein met stootjuk. Hieronder valt ook een trein-treinbotsing (op een nevenspoor) na een ontsporing.
6. Intrinsiek falen
7. BLEVE door brand
8. Externe factoren

2. *Emplacement*

In het rekenprotocol is dit segment omschreven als 'complexe situatie' met als definitie *locaties waar de vrije baan 'wordt gecombineerd' met een emplacement (dit kan een zowel een stationsomgeving en/of een goederenemplacement zijn) met veel wissels en/of botsingsmogelijkheden met het overige treinverkeer. Vaak is er ook sprake van treinen, die enige tijd stilstaan (bijvoorbeeld op wachtspoor of op goederenemplacement).*

Discussie 1 'Complexe situaties'

Het protocol geeft geen rekenwijze en hoe om te gaan met 'complexe situaties'/relevante emplacementen?

Beschouwing: De definitie van complexe situaties is niet helder. In de regelgeving betreft de 'vrije baan' juist dat deel van de hoofdspoorweg niet behorend tot de emplacementen. Een combinatie van beide bestaat dus feitelijk niet. Een logischer aanpak lijkt het om alle emplacementen volledig als apart segment te beschouwen. Hierbij zouden alle ongevallen beschouwd moeten worden. Dus niet alleen botsingen maar ook de ontsporingen. Door alle ongevallen op een emplacement apart te beschouwen is ook de vrije baan geheel als apart segment te beschouwen. Het gaat in dat geval echt alleen om de trajecten van de hoofdspoorwegen tussen de emplacementen.

Afspraak 1: Emplacementen worden geheel als apart segment beschouwd.

Definitie emplacement: Een emplacement is een gebied van de railinfrastructuur dat bestemd en ingericht is om treinen te doen stoppen, beginnen, eindigen, inhalen, kruisen, opstellen of rangeren en voorzien van tenminste één wissel²⁰.

²⁰ Voor het proces 'rangeren' is binnen het emplacement het aparte segment 'goederenemplacement' gedefinieerd. Hierbij is sprake van gemengd sporengebruik. Deze segmenten zijn dus niet fysiek/topografisch van elkaar gescheiden.

In de Algemene Maatregel van Bestuur (Besluit)/Ministeriële Regeling Spoorverkeer wordt emplacement als volgt aangeduid: tot een emplacement behoren:

- a) alle sporen, aangeduid met een cijfer;
- b) de spoorgedeeltes van het wisselcomplex;
- c) alle aan de sporen als bedoeld sub a en b grenzende sporen tot een maximale afstand van 200 meter voor het toegangsein van dat emplacement, tenzij door de beheerder is aangegeven middels een bord (SR 302) dat op dit spoor niet kan worden gerangeerd of beperkingen gelden ten aanzien van het rangeren.

Artikel 38 van het besluit spoorverkeer verwijst naar een lijst waarin 123 emplacementen worden aangewezen. Deze zijn in het verleden door ProRail/NS ingebracht als emplacementen waar bijzondere activiteiten plaatsvinden, bijvoorbeeld opstellen en rangeren met treinen.

Er zijn ook veel emplacementen waar alleen sprake is van doorgaand verkeer. Uit de Excelsheet 'Ranking alle seinen'¹⁴ kan opgemaakt worden dat in geheel Nederland op circa 300 locaties één of meer wissels zijn gelegen²¹. In deze verzameling van emplacementen zitten ook zeer kleine emplacementen van een overloop- of intakwisselcomplex. Deze wissels zijn veelal gelegen op sporen met spoorletters. Emplacementsporen worden gekarakteriseerd door spoornummers. Omdat bij de ongevalanalyse (paragraaf 3.1) de ongevallen bij doorgaand verkeer op spoorletters zijn toebedeeld aan de vrije baan (en ongevallen op spoornummers aan emplacementen) is besloten om de kleinere emplacementen blijvend te beschouwen als 'vrije baan'. Alleen de grotere emplacementen worden dus als relevant beschouwd en de grens is hierbij getrokken op zes wissels.

Om de relevante emplacementen te bepalen is als volgt te werk gegaan:

- Betreft het een emplacement met meer dan zes seinen waarvan het sein is gelegen op een spoornummer, en het gevaarpunt een wissel (Bijlage 4)? De overloopwisselcomplexen en kleine emplacementen vallen hiermee buiten de selectie en worden beschouwd als 'vrije baan'.
- Betreft het een emplacement met meer dan 2500 goederentreinen per baanvak in 2005 (Bijlage 3)?
- Bepaal aan de hand van de tekening de emplacementlengte. Hierbij is uitgegaan van de afstand tussen de toegangseinen. Niet meegenomen is de extra 200 meter zoals deze wordt voorgesteld door het Besluit Spoorverkeer. Bij de bepaling van emplacementlengten zijn alleen de aftakkingen (tot toegangsein) meegenomen waar meer vervoer heeft plaatsgevonden dan 2500 goederentreinen in 2005.

Alle relevante emplacementen en hun gegevens zijn opgenomen in Bijlage 4. Het weergegeven aantal goederentreinen in 2005 is geverifieerd aan de hand van overzichten van de daadwerkelijke treinpassages (en aankomst en vertrek) van goederentreinen van latere jaren (2006, 2007 en 2008)²². Hieruit kwamen

²¹ Dit betreft alleen de emplacementen waarvan (een deel van) de sporen zich bevinden in het zogenaamd 'Centraal Bediend Gebied' en het spoorproces dus wordt bewaakt door ATB. In deze lijst staan bijvoorbeeld niet de emplacementen in Zeeuws-Vlaanderen en Moerdijk. Gezien de karaktereigenschappen (ontbreken beveiligingssysteem, lage snelheid) worden deze beschouwd als raccordementsporen.

²² ProRail beschikt niet over deze informatie van de jaren voor 2005.

geen grote veranderingen in vervoersstromen naar voren. ProRail heeft het overzicht van 2005 beoordeeld als voldoende representatief voor de bepaling van de totale verkeersprestatie over emplacementen.

2.1. *Identificatie van scenario's voor het emplacement*

1. Botsing van een rangeerdeel op een trein
Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden met de situatie waarbij het baanvak is aangesloten op een wel of niet met ATB beveiligd baanvak. Hierbij zou ook nog onderscheid gemaakt kunnen worden tussen ATB-EG, ATB-NG, ATB-vv, ETCS level 1 en ETCS level 2.
2. Botsing tussen een goederentrein en een andere trein
Incident waarbij een goederentrein op het emplacement botst met een andere trein (geen geparkeerde trein). Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden met de situatie waarbij het baanvak is aangesloten op een wel of niet met ATB beveiligd baanvak. Hierbij zou ook nog onderscheid gemaakt kunnen worden tussen ATB-EG, ATB-NG, ATB-vv, ETCS level 1 en ETCS level 2.
3. Botsing bij overweg (ter bepaling van overwegtoeslag)
Incident waarbij goederentrein botst met zwaar wegvoertuig op een overweg (binnen een emplacement). Hierbij dient, indien mogelijk, onderscheid gemaakt te worden naar zwaarte van het voertuig (auto's/vrachtwagens/tractor).
4. Ontsporing van goederentrein
Het betreft hier het scenario dat een goederentrein op het emplacement betrokken is bij een ontsporingincident niet nabij een wissel (bijvoorbeeld als gevolg van spoorverzakking of kromme sporen)²³.
5. Ontsporing van goederentrein bij wissel (ter bepaling van wisseltoeslag)
Incident waarbij goederentrein bij een wissel ontspoord.
6. Overige botsingen
Bijvoorbeeld botsingen met zwaar object op of nabij spoor²⁴ of botsing van goederentrein met stootjuk.
7. Intrinsiek falen tijdens wachten of parkeren (korter dan 24 uur)
Treinen die niet van samenstelling wijzigen en korter dan 24 uur wachten/geparkeerd staan, kunnen tijdens het verblijf 'spontaan' falen en daarbij gevaarlijke lading verliezen. Dit falen wordt aangeduid met de term 'intrinsiek falen'.
8. BLEVE door brand
9. Externe factoren

3. *Raccordementen*

Raccordementen zijn zowel stamlijnen als spooransluitingen. Een stamlijn is het spoor en de wissels, waarop meerdere spooransluitingen zijn aangesloten ter ontsluiting van een bedrijvenpark aan het hoofdspoorwegnet. Een spooransluiting is een aansluiting van het terrein van één bedrijf door middel van een spoor en een wissel aan een stamlijn of direct aan het hoofdspoorwegnet²⁵. Er zijn nogal wat verschillen met de 'normale' vrije baan, namelijk afwezigheid van (of een ander) beveiligingssysteem, lage snelheid en veel overwegen. De verschillen gelden bijvoorbeeld voor de sporen in Zeeuws-

²³ Geanalyseerd moet worden of het onderscheid tussen scenario 4 en 5 wel relevant is. Ontsporingen beginnen mogelijk wel veelal bij wissels, maar de plek waar de wagen eruit gaat en kantelt, kan verder weg liggen.

²⁴ Bijv. scenario als in augustus 2008 in Tsjechië (trein rijdt tegen resten van gesloopte brug).

²⁵ Stamlijnen zijn overwegend in beheer bij ProRail. Dit is niet het geval bij spooransluitingen. Beheer hiervan vindt veelal plaats door NS spooransluitingen (zie ook www.nsspoooraansluitingen.nl)

Vlaanderen (geen ATB, snelheid < 40 km/uur). Hoewel deze trajecten als hoofdspoor zijn aangemerkt, worden ze beschouwd als raccordement.

3.1. *Identificatie van scenario's voor raccordementen*

Voor raccordementen is hetzelfde onderscheid in scenario's te maken als bij de vrije baan.

4. *Goederenemplacement*

Een goederenemplacement wordt gedefinieerd als een gebied binnen een emplacement waar rangeerhandelingen worden verricht aan goederentreinen. Dit betreft handelingen als locomotiefwisselen, kopmaken, samenstellen van een trein via splitsen, omhalen en plaatsen of soms door heuvelen of stoten. Deze handelingen zijn bepalend voor de scenario's. Een goederenemplacement valt onder de Wet milieubeheer en moeten als zodanig over een milieuvergunning beschikken. Het kan daarbij onderdeel zijn van een omvangrijkere inrichting, bijvoorbeeld met rangeerbewegingen van reizigersmaterieel, opstellen en onderhouden reizigersmaterieel, laden en lossen, enzovoorts.

Binnen een emplacement bestaat geen hard onderscheid tussen de sporen voor doorgaand (ook wel passerend) treinverkeer, wachtsporen, aankomst- en vertreksporen, opstelsporen en sporen 'dedicated' voor rangeerhandelingen. Er wordt wel gestreefd naar een zogenaamd voorkeursgebruik (zie ook GOR 'Proces lokale planning en verdeling' op www.prorail.nl). Uitdrukkelijk geldt daarbij echter dat in het kader van beslechting van conflicten afgeweken kan worden van dit voorkeursgebruik. Het kan dus zeker ook voorkomen dat een doorgaande (passerende) trein via 'opstelsporen' of zelfs via 'rangeersporen' over het goederenemplacement wordt geleid. Andersom worden rangeerhandelingen soms uitgevoerd op een hoofdspoorweg die normaliter in gebruik is voor het doorgaand verkeer. De functie van een spoor kan dus variëren in de tijd. Figuur 10 geeft aan welke functies (of activiteiten) behoren tot het goederenemplacement en welke tot het emplacement.

4.1. *Discussie-items*

Discussie 2 'Shunting yards / Freight station'

In Europa wordt onderscheid gemaakt naar 'freight stations' en echte 'shunting' of 'marshalling yards' (emplacement). Deze laatste zijn die stations waar daadwerkelijk in grote getallen treinen worden samengesteld. In Nederland geldt dit feitelijk alleen voor Kijfhoek, de vijf Rotterdamse goederenemplacementen, Sloehaven en misschien nog Onnen. Freight stations zijn meer die emplacementen waar een locomotief wordt gewisseld, kopgemaakt of incidenteel enkele goederenwagens worden opgepikt dan wel afgeleverd.

Beschouwing: Het onderscheid freight station/shunting yards zit met name in de omvang van de rangeerhandelingen. In Nederlandse regelgeving (Wet milieubeheer en ARIE-regeling) wordt een goederenemplacement reeds onder hetzelfde regiem beschouwd als ook maar een rangeerhandeling met gevaarlijke stoffen wordt aangevraagd in de milieuvergunning. Onderscheid wordt wel enigszins tot uitdrukking gebracht door het uitvoeren van een selectiemethodiek [14] waarmee bepaald wordt of wel/geen QRA dient te worden uitgevoerd.

Afspraak 2: Aangezien we te maken hebben met Nederlandse wetgeving wordt vooralsnog vastgehouden aan één segment genaamd 'goederenemplacement'.

Discussie 3 'Stilstand/parkeren/overstand/stationnement'

Er zijn voorbeelden (tot op heden eigenlijk alleen op Kijfhoek) waarbij een trein meerdere dagen wordt stilgezet op een goederenemplacement zonder van samenstelling te wijzigen.

Behoort het risico van een geparkeerde trein die geen rangeerhandelingen ondergaat tot het goederenemplacement (c.q. de milieuvergunning)? Of anders gezegd: wanneer behoort stilstand van een dergelijke trein nog tot het doorgaande verkeer? Doorgaand verkeer behoort immers niet tot het risico van de inrichting.

Beschouwing:

- De Wet milieubeheer (en bijbehorende Inrichtingen en Vergunningenbesluit) geeft geen uitsluitel of dergelijke stilstand nu behoort tot activiteit binnen de milieuvergunning.
- De circulaire 'risicobenadering NS-goederenemplacements' [14] geeft expliciet aan dat treinen die wachten op een emplacement zonder dat er handelingen aan worden verricht, geen onderdeel vormen van de inrichting.

Kanttekening hierbij is dat het criterium van dienstregeling en wel/niet onder treinnummer niet onderscheidend genoeg is. Het is namelijk mogelijk dat een trein (zowel kort als langdurig) stil staat op een goederenemplacement om vervolgens zijn reis te hervatten onder een onveranderd treinnummer. Het criterium is dan niet scherp genoeg om te zeggen dat deze trein uit de dienstregeling is geweest.

Afspraak 3: De tijdsduur bepaalt wanneer een geparkeerde trein die niet van samenstelling wijzigt onderdeel gaat uitmaken van het goederenemplacement. Gekozen is hierbij voor de tijdsduur die wordt genoemd in het Activiteitenbesluit, namelijk 24 uur. Volgens bijlage 1 bij het Activiteitenbesluit zijn inrichtingen voor meer dan 24 uur parkeren van vervoerseenheden met gevaarlijke stoffen vergunningplichtig²⁶. Dit komt op het volgende neer:

Vanaf het moment dat de trein geparkeerd wordt op een emplacement geldt:

- Als de samenstelling van de trein inclusief loc voor de eerste 24 uur niet verandert, wordt deze trein als doorgaand treinverkeer beschouwd. Deze activiteit behoort niet tot het risico van het goederenemplacement c.q. de milieuvergunning.
- Treinen die langer dan 24 uur op het emplacement verblijven, worden automatisch onderdeel van de milieuvergunning van het goederenemplacement.
- Treinen waarvan de samenstelling verandert (inclusief locwisselen), vallen altijd onder de milieuvergunning van het goederenemplacement.

Discussie 4 'Kopmaken/locwisselen'

Behoort het proces van kopmaken/locwisselen van treinen met gevaarlijke stoffen tot het risico van het goederenemplacement?

Beschouwing: het proces van kopmaken/locwisselen is een rangeerhandeling die geen onderdeel uitmaakt van het doorgaande verkeer.

Afspraak 4:

Het proces kopmaken/locwisselen van treinen met gevaarlijke stoffen dient (blijvend) beschouwd te worden als risico van het goederenemplacement.

²⁶ Een goederenemplacement kan ook reeds vergunningplichtig zijn op basis van een ander criterium.

Discussie 5 'Aankomst / vertrek van treinen'

Tot welk segment behoren ongevallen waarbij een trein betrokken is?

Beschouwing: Het huidige protocol volgt voor risicoberekeningen voor een goederenemplacement de volgende benadering: een aankomende of vertrekkende trein kan binnen de grens van de inrichting botsen met een andere trein. Eén van die treinen behoort nog tot het goederenemplacement (let op: het kan ook gaan om een reizigerstrein!). Op grond daarvan is een 50% reductie op de faalfrequentie overeengekomen [1]. Het botsingsscenario wordt dus wel meegenomen in de QRA, zij het met een lage faalfrequentie. Botsen van een aankomende of vertrekkende trein met een rangeerdeel wordt tevens meegenomen. Ook ontsporingen (eenzijdige ongevallen) tijdens de aankomst en het vertrek van treinen worden toegerekend aan het goederenemplacement.

Afspraak 5: De op het moment van het ongeval geldende functie van het spoor waar het ongeval plaatsvindt, bepaalt of dit ongeval behoort tot het risico van het goederenemplacement of het emplacement.

Voorbeelden:

- Een doorgaande trein (reizigers of goederen) begeeft zich foutief (bijvoorbeeld na een STS) op een spoor en botst met een goederenrangeerdeel dat daar staat opgesteld. De doorgaande trein (goederen of reizigers) is dan een externe oorzaak en het risico behoort tot het goederenemplacement.
- Een spoor heeft de functie van aankomst, vertrek, wachten of doorgaan van treinen. Een doorgaande trein botst op een goederentrein die klaar staat voor vertrek. Idem een vertrekkende goederentrein die of rangeerdeel dat zich ten onrechte begeeft op een treinpad van een doorgaande trein. Beide ongevallen behoren tot het doorgaande verkeer/emplacement.

4.2. Identificatie van scenario's voor het goederenemplacement

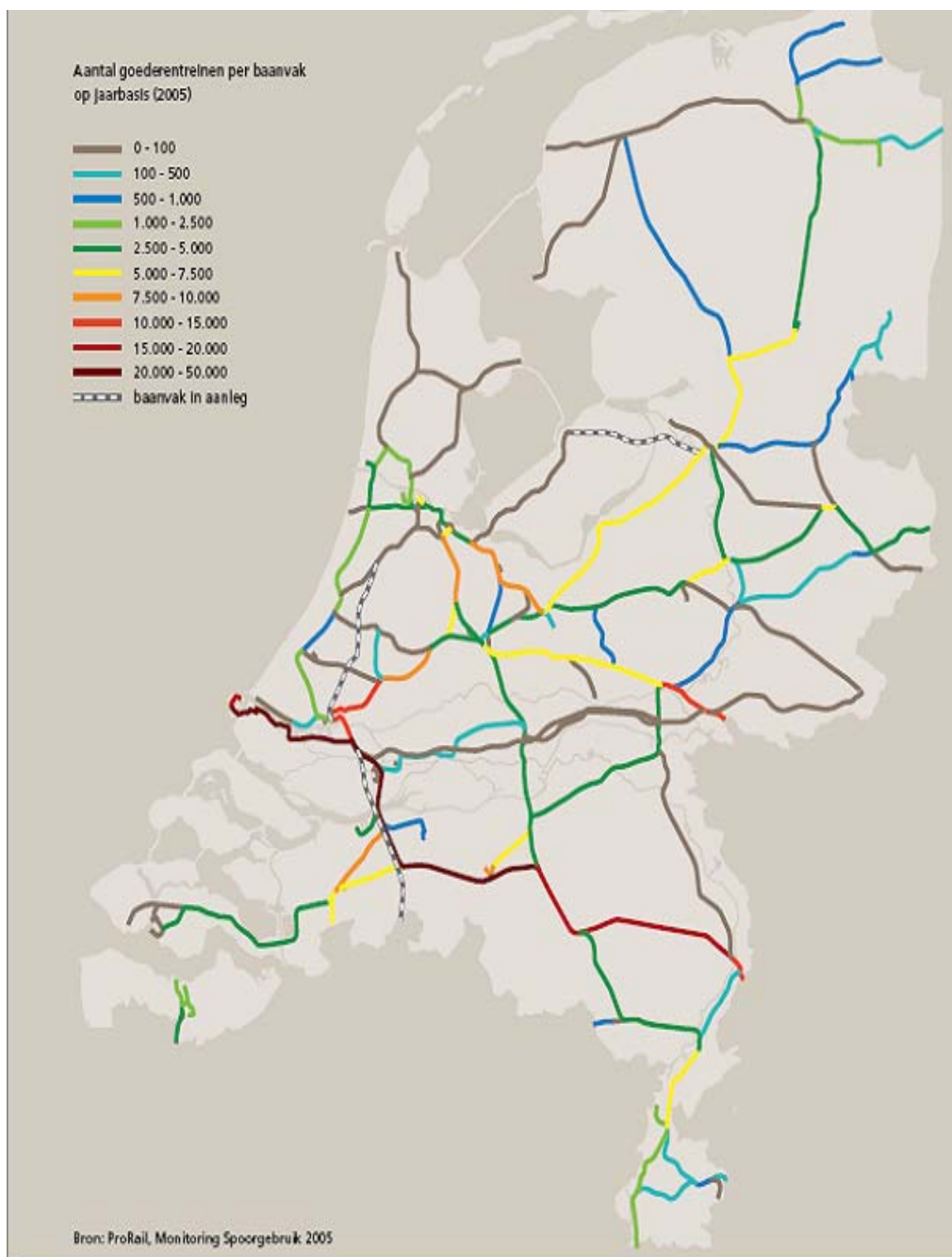
De volgende scenario's worden onderscheiden:

1. Botsing van een trein op een rangeerdeel
Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden met de situatie waarbij het baanvak is aangesloten op een wel of niet met ATB beveiligd baanvak. Hierbij zou ook nog onderscheid gemaakt kunnen worden tussen ATB-EG, ATB-NG, ATB-vv, ETCS level 1 en ETCS level 2.
2. Botsing van een trein op een geparkeerde goederentrein.
Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden met de situatie waarbij het baanvak is aangesloten op een wel of niet met ATB beveiligd baanvak. Hierbij zou ook nog onderscheid gemaakt kunnen worden tussen ATB-EG, ATB-NG, ATB-vv, ETCS level 1 en ETCS level 2.
3. Eenzijdig ongeval van een goederenrangeerdeel
Het betreft hier het scenario dat een (goederen-)rangeerdeel betrokken is bij een ontsporingsincident. Ook een botsing van een rangeerdeel met een stootjuk hoort thuis bij deze omschrijving. Hierbij is geen sprake van een botsingsincident met een andere trein of rangeerdeel. Ook botsing van een (goederen-)rangeerdeel op een overweg met zwaar wegtransport behoort tot deze categorie (voor zover de overweg onderdeel uitmaakt van de inrichting).
4. Botsing bij kopmaken of locwisselen
Kopmaken is het rangeerproces waarbij bij een trein de locomotief wordt afgekoppeld aan de ene kant van de trein, de loc vervolgens via goederenemplacementsporen naar de andere zijde van de trein rijdt en

daar aankoppelt. Bij locwisselen wordt alleen de locomotief gewisseld (bijvoorbeeld om over te gaan van elektrische naar dieseltractie). Het betreft hier het scenario dat tijdens het aankoppelen van de locomotief aan de goederenwagen(s) een botsingsincident ontstaat.

5. Botsing bij omhalen, splitsen of plaatsen
Bij dit rangeerproces rijdt een losse rangeerloc of een rangeerloc met goederenwagens over het goederenemplacement naar een spoor en wordt hier rustig tegen een andere wagen/rangeerdeel geplaatst om op deze manier een nieuwe trein samen te stellen. Tengevolge van deze rangeerbewegingen op het goederenemplacement is het mogelijk dat er een botsingsincident op kan treden tussen een (goederen-)rangeerdeel en een ander rangeerdeel (inclusief afzonderlijk rijdende rangeerloc).
6. Botsing bij heuvelen of stoten
Heuvelen is het rangeerproces waarbij de wagens één voor één van een heuvel worden afgedrukt en vervolgens door de zwaartekracht via wissels naar het juiste spoor geleid. Bij stoten wordt de wagen door de locomotief naar het juiste spoor 'gestoten'. Bij heuvelen of stoten kan ook een botsingsincident ontstaan.
7. Intrinsiek falen tijdens parkeren
Wagens (met gevaarlijke stoffen) die geparkeerd staan op het goederenemplacement kunnen tijdens het verblijf 'spontaan' falen en daarbij gevaarlijke lading verliezen. Dit falen wordt aangeduid met de term 'intrinsiek falen'.
8. BLEVE door brand
BLEVE door brand betreft het scenario waarbij een ketelwagen bezwijkt als gevolg van blootstelling aan warmtestraling door brand. Het betreft dus een domino-effect.
9. Externe factoren
Mogelijk zijn ook externe factoren medebepalend voor de optredende scenario's. We noemen als voorbeeld:
 - windmolens (boven of in de nabijheid van het spoor);
 - andere activiteiten met gevaarlijke stoffen in de nabijheid;
 - hoogspanningsleidingen;
 - vliegroutes over het spoor.De aanpak is vergelijkbaar met het HARI, module C, paragraaf 3.2.2 [17].

Bijlage 3 Goederentreinen per baanvak op jaarbasis



Figuur 11 Goederentreinen per baanvak op jaarbasis (2005)

Bijlage 4 Relevante emplacementen

Tabel 5 Relevante emplacementen

Emplacement	Volgnummer van emplacement met meer dan 6 seinen (met gevaarpunt = wissel) die zijn gelegen op spoornummer (geen spoorletters)	Volgnummer van emplacementen uit kolom A met goederenvervoer > 2500 treinen per jaar	Aantal wissels (in Centraal Bediend Gebied)	Aantal goederentreinen 2005 ²⁷	Emplacement-lengte (=afstand tussen ingangseinen) in meters	Treinkm's over emplacement (in 2005)
Abcoude	1					
Acht	2	1	24	17500	2.213	38.728
Alkmaar	3					
Almelo	4	2	36	6250	1.600	10.000
Almere Centrum	5					
Almere Oostvaarders	6					
Amersfoort (incl. Bokkeduinen)	7	3	107	8750	4.780	41.825
Amersfoort Schothorst	8	4	17	6250	2.179	13.619
Amsterdam CS	9	5	100	3750	1.995	7.481
Amsterdam Dijksgracht	10	6	32	3750	2.277	8.539
Amsterdam Duivendrecht	11	7	16	8750	1.610	14.088
Amsterdam Muiderpoort	12	8	15	3750	1.328	4.980
Amsterdam Singelgracht Westhaven	13	9	10	6250	430	2.688
Amsterdam Sloterdijk Noord	14	10	18	6250	2.317	14.481
Amsterdam Watergraafsmeer	15					
Apeldoorn	16	11	21	6250	1.690	10.563
Arnhem	17	12	53	12500	3.584	44.800
Assen	18	13	9	3750	1.163	4.361
Baarn	19	14	11	8750	2.154	18.848
Bergen op Zoom	20	15	16	3750	2.101	7.879
Beverwijk	21	16	17	3750	1.573	5.899
Blerick	22	17	14	17500	2.324	40.670
Boxtel	23	18	28	35000	1.756	61.460

²⁷ Aantal goederentreinen afgelezen van Figuur 11 in Bijlage 3. Indien op een kruispunt meerdere kleuren samenkomen, is gekozen voor de gemiddelde verkeersprestatie die hoort bij de kleur met het hoogste vervoer.

Emplacement	Volgnummer van emplacement met meer dan 6 seinen (met gevaarpunt = wissel) die zijn gelegen op spoornummer (geen spoorletters)	Volgnummer van emplacementen uit kolom A met goederenvervoer > 2500 treinen per jaar	Aantal wissels (in Centraal Bediend Gebied)	Aantal goederen-treinen 2005²⁷	Emplacement -lengte (=afstand tussen ingangseinen) in meters	Treinkm's over emplacement (in 2005)
Breda	24	19	35	37500	1.695	63.563
Breukelen	25	20	13	6250	2.168	13.550
Coevorden	26					
Crailoo Aansluiting	27	21	10	8750	1.936	16.940
Den Haag CS	28					
Den Haag HS	29					
Den Haag Mariahoeve	30					
Den Helder	31					
Deventer	32	22	44	6250	4.065	25.406
Diemen Aansluiting	33	23	20	3750	2.952	11.070
Diemen Zuid	34	24	14	6250	1.925	12.031
Dordrecht	35	25	36	35000	2.126	74.410
Echt-Susteren	36	26	19	6250	2.901	18.131
Ede=Wageningen	37	27	14	6250	1.692	10.575
Eindhoven	38	28	72	17500	2.769	48.458
Elst Aansluiting	39	29	18	3750	2.436	9.135
Enschede	40					
Geldermalsen	41	30	41	3750	2.448	9.180
Geldrop	42	31	12	3750	990	3.713
Goes	43	33	15	3750	1.336	5.010
Gouda	44	33	38	8750	1.642	14.368
Gouda Goverwelle	45	34	23	8750	1.708	14.945
Groningen	46					
Groningen Losplaats	47					
Haarlem	48	35	81	3750	4.099	15.371
Haelen	49	36	10	3750	1.660	6.225
Halfweg	50	37	11	3750	2.095	7.856
Harde 't	51	38	11	6250	1.700	10.625
Heerlen	52					
Helmond	53	39	9	17500	2.081	36.418
Hengelo	54	40	43	3750	2.734	10.253
Hilversum	55	41	16	8750	1.600	14.000
Hoek van Holland	56					
Hoofddorp Midden	57					
Hoofddorp Opstelrein	58					
Hoogeveen	59	42	12	6250	1.027	6.419
Hoorn	60					

Emplacement	Volgnummer van emplacement met meer dan 6 seinen (met gevaarpunt = wissel) die zijn gelegen op spoornummer (geen spoorletters)	Volgnummer van emplacementen uit kolom A met goederenvervoer > 2500 treinen per jaar	Aantal wissels (in Centraal Bediend Gebied)	Aantal goederen-treinen 2005²⁷	Emplacement -lengte (=afstand tussen ingangseinen) in meters	Treinkm's over emplacement (in 2005)
Kijfhoek	61	43	142	35000	3.857	134.995
Kijfhoek Botlek	62	44	34	35000	3.860	135.100
Kijfhoek Europoort	63	45	19	35000	1.745	61.075
Kijfhoek Europoort West	64	46	9	35000	1.179	41.265
Kijfhoek Ijsselmonde (incl. stadion)	65	47	78	12500	3864	48.300
Kijfhoek Maasvlakte	66	48	103	17500	1.759	30.783
Kijfhoek Maasvlakte West	67	49	67	17500	2.855	49.963
Kijfhoek Pernis	68	50	31	35000	2.264	79.240
Kijfhoek Pernis RSC Ansl.	69	51	17	35000	2.077	726.95
Kijfhoek Waalhaven Zuid	70	52	64	35000	2.420	84.700
Lage Zwaluwe	71	53	36	35000	3.847	134.645
Leeuwarden	72					
Leiden	73					
Liempde	74	54	18	35000	3.327	116.445
Lisse	75					
Maarssen	76	55	29	3750	2.098	7.868
Maasbracht	77					
Maastricht	78					
Meppel	79	56	24	6250	1.525	9.531
Naarden-Bussum	80	57	12	8750	1.994	17.448
Nijmegen	81	58	53	3750	2.270	8.513
Nootdorp boog	82					
Nuth	83					
Oldenzaal	84	59	15	3750	1.264	4.740
Onnen Lijnwerkplaats	85	60	24	3750	4.040	15.150
Oss	86	61	9	3750	2.143	8.036
Oudewater	87	62	12	8750	1.731	15.146
Putten	88	63	13	6250	1.696	10.600
Roermond	89	64	24	12500	1.860	23.250
Roosendaal	90	65	72	6250	2.105	13.156
Rotterdam CS	91	66	74	12500	1.329	16.613
Rotterdam Noord Goederen	92	67	32	12500	2.223	27.788

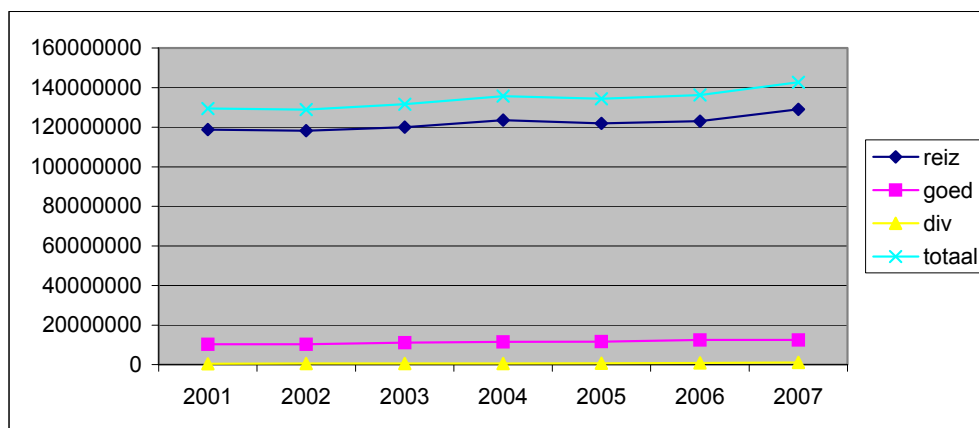
Emplacement	Volgnummer van emplacement met meer dan 6 seinen (met gevaarpunt = wissel) die zijn gelegen op spoornummer (geen spoorletters)	Volgnummer van emplacementen uit kolom A met goederenvervoer > 2500 treinen per jaar	Aantal wissels (in Centraal Bediend Gebied)	Aantal goederen-treinen 2005²⁷	Emplacement -lengte (=afstand tussen ingangseinen) in meters	Treinkm's over emplacement (in 2005)
's-Hertogenbosch	93	68	64	3750	3.060	11.475
Sittard	94	69	44	3750	2.000	7.500
Tilburg (incl. Tilburg West)	95	70	38	35000	4.778	167.230
Uitgeest	96					
Utrecht CS	97	71	127	6250	2.839	17.744
Utrecht Lunetten	98	72	36	3750	2.420	9.075
Venlo	99	73	76	17500	2.068	36.190
Vlissingen	100					0
Weert	101	74	32	3750	3.040	11.400
Weesp	102	75	17	3750	1.619	6.071
Woerden	103	76	28	3750	3.701	13.879
Wormerveer	104					
Zaanstad	105					
Zevenaar	106	77	15	12500	1.548	19.350
Zevenaar Oost	107	78	16	12500	2.093	26.163
Zevenbergsche Hoek	108	79	15	8750	1.216	10.640
Zutphen	109					
Zwijndrecht	110	80	25	35000	2.267	79.345
Zwolle	111	81	103	6250	4.545	28.406
TOTAAL	111	81	2808		185385	2420066
					Wagen-kilometers (*20) over emplacementen	4,84E+07

Bijlage 5 Verkeersprestatie Nederland

VERKEERSPRESTATIE

Aantal treinkilometers over de vrije baan en emplacementen per jaar

	reizigers- treinen (RT)	goederen- treinen (GT)	divers	totaal
2001	118.812.794	10.197.110	387.219	129.397.123
2002	118.177.655	10.228.484	492.903	128.899.042
2003	119.977.302	11.030.873	551.802	131.559.977
2004	123.591.349	11.480.637	577.067	135.649.053
2005	121.881.997	11.665.770	731.817	134.279.584
2006	123.028.140	12.358.595	796.318	136.183.053
2007	129.002.986	12.484.249	1.118.578	142.605.813
gemiddeld	122.067.460	11.349.388	665.101	134.081.949



bron: gegevens uit Vervoergegevensbank, tbv facturering gebruiksvergoedingen
NB wellicht inconsequenties in rubricering van losse-loc-ritten, materiaalvervoer door aannemers, enz

	GT-km
Verkeersprestatie over alle hoofdsporen	11.349.388
Correctie voor de raccordementsporen in Zeeuws-Vlaanderen	38.300
Verkeersprestatie over vrije baan & emplacementen	11.311.088

Figuur 12 Verkeersprestatie Nederland²⁸

²⁸ Correctie vindt plaats omdat de verkeersprestatie naast alle hoofdsporen (vrije baan en emplacementen) ook de raccordementsporen in Zeeuws-Vlaanderen omvat (zie Bijlage 2). Het advies van ProRail was uitgaan van de daar aanwezige netlengte: van Terneuzen naar de grens is dit in kilometering: $30.905 - 15.585 = 15.320$ km. Het aantal goederentreinen betrof er in 2005 circa 2500.

Bijlage 6 Afleiding basisfaalfrequenties

Algemeen		
Vrije baan en emplacement		
N _{total} jaren	totale aantal jaren voor de casuïstiekperiode	10
N _{wagens}	gemiddeld aantal goederenwagens per trein	20
N _{total} treinkm GT	totale aantal treinkilometers voor goederentreinen over de vrije baan en emplacementen per jaar	1,13E+07
N _{total} wagenkm GT	totale aantal wagenkilometers voor goederentreinen over de vrije baan en emplacementen per jaar	2,26E+08
<i>Vrije Baan</i>		
N _{schade ontp vb}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per ontsparing op de vrije baan	3,90
N _{schade bots vb}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per botsing op de vrije baan	1,00
N _{wagenkm GT vb}	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over de vrije baan per jaar	1,78E+08
<i>Emplacement</i>		
N _{schade ontp empl}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per ontsparing op emplacementen	2,47
N _{schade bots empl}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per botsing op emplacementen	1,57
N _{wagenkm GT empl}	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over emplacementen per jaar	4,84E+07

Figuur 13 Algemeen: Vrije baan en emplacement

VRIJE BAAN		
Botsing		
F _{botsing vb}	botsingsfrequentie voor de vrije baan (per wagenkm/jaar)	2,25E-09
N _{botsing vb}	gemiddeld aantal botsingen voor de vrije baan per jaar	0,40
N _{total} botsing vb	totale aantal botsingen voor de vrije baan per casuïstiekperiode	4
N _{wagenkm GT vb}	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over de vrije baan per jaar	1,78E+08
N _{schade bots vb}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per botsing op de vrije baan	1,00
N _{total} jaren	totale aantal jaren voor de casuïstiekperiode	10

Figuur 14 Vrije baan: Botsing

VRIJE BAAN		
Ontsporing		
F _{ontsporing vb}	ontsporingfrequentie voor de vrije baan (per wagenkm/jaar)	2,19E-08
N _{total} ontsporing vb	totale aantal ontsporingen op de vrije baan per casuïstiekperiode	10
N _{ontsporing vb}	gemiddeld aantal ontsporingen op de vrije baan per jaar	1
N _{wagenkm GT vb}	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over de vrije baan per jaar	1,78E+08
N _{schade ontp vb}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per ontsparing op de vrije baan	3,90
N _{total} jaren	totale aantal jaren voor de casuïstiekperiode	10

Figuur 15 Vrije baan: Ontsporing




EMPLACEMENT		
Botsing		
F _{botsing empl specifiek}	emplacementspecifieke botsingsfrequentie (per wagenkm/jaar)	3,93E-08
F _{botsing empl}	botsingsfrequentie voor een gemiddeld emplacement (per wagenkm/jaar)	2,27E-08
N _{risicoscore empl specifiek}	risicoscore voor het emplacement 2003-2007 (emplacementspecifieke waarde)	2000
N _{wissel empl specifiek}	aantal wissels op het emplacement (emplacementspecifieke waarde)	60
N _{risicoscore empl}	gemiddelde risicoscore voor emplacementen 2003-2007	2000
N _{wissel empl}	gemiddeld aantal wissels per emplacement	34,7
N _{botsing empl}	gemiddeld aantal botsingen op emplacementen per jaar	0,70
N _{total} botsing empl	totale aantal botsingen op emplacementen per casuïstiekperiode	7
N _{wagenkm GT empl}	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over emplacementen per jaar	4,84E+07
N _{schade bots empl}	gemiddeld aantal beschadigde wagens per botsing op emplacementen	1,57
N _{total} jaren	totale aantal jaren voor de casuïstiekperiode	10

Figuur 16 Emplacement: Botsing

EMPLACEMENT		
Ontsporing		
$F_{\text{ontsporing empl specifiek}}$	emplacementspecifieke ontsporingsfrequentie (per wagenkm/jaar)	1,46E-07
$N_{\text{wissel empl specifiek}}$	aantal wissels op het emplacement (emplacementspecifieke waarde)	60
$\bar{N}_{\text{ontsporing wissel empl}}$	gemiddeld aantal ontsporingen op wissels van emplacementen per jaar	1,30
$\bar{N}_{\text{ontsporing rest empl}}$	gemiddeld aantal overige ontsporingen op emplacementen per jaar	0,60
$N_{\text{totaalontsporing empl}}$	totale aantal ontsporingen op emplacementen per casuïstiekperiode	19
$N_{\text{totaalontsporing wissel empl}}$	totale aantal ontsporingen op wissels op emplacementen per casuïstiekperiode	13
$N_{\text{totaalontsporing rest empl}}$	totale aantal overige ontsporingen op emplacementen per casuïstiekperiode	6
$N_{\text{totaalwissel empl}}$	totale aantal wissels op alle emplacementen	2808
$N_{\text{totaalempl}}$	totale aantal emplacementen	81
$\bar{N}_{\text{wissel empl}}$	gemiddeld aantal wissels per emplacement	34,7
$N_{\text{wagenkm GT empl}}$	aantal wagenkilometers voor goederentreinen over emplacementen per jaar	4,84E+07
$\bar{N}_{\text{schade onsp empl}}$	gemiddeld aantal beschadigde wagens per ontsporing op emplacementen	2,47
$N_{\text{totaaljaren}}$	totale aantal jaren voor de casuïstiekperiode	10

Figuur 17 Emplacement: Ontsporing

Legenda:

	Frequentie
	Invoer die alleen op de pagina "Invoer Algemeen" moet worden ingevoerd
	Specifieke waarde voor een emplacement

Figuur 18 Legenda

Bijlage 7 Indicatieve vergelijking faalfrequenties spoor

Segment	Type ketelwagen	Indicatieve faalfrequenties spoor (per wagenkm/jaar)		
		Nieuw	Huidig	Factor
		Dit document	Protocol Spoor	(nieuw/huidig)
vrije baan	dun	9,19E-09	1,55E-08	~ 0,6
	dik	3,39E-09	7,76E-11	~ 44
relevant emplacement (stationssituatie)	dun	6,84E-08	3,40E-08	~ 2
	dik	2,59E-08	1,70E-10	~ 152

Figuur 19 Indicatieve vergelijking faalfrequenties spoor (per wagenkm/jaar)

Hierbij de volgende opmerkingen:

- Voor de nieuwe situatie is voor emplacementen uitgegaan van het voorbeeld emplacement (Bijlage 6 in het rapport).
- Voor elk van de 81 emplacementen is de frequentie afhankelijk van specifieke locatienmerken (aantal wissels, risicoscore).
- Weergegeven zijn de faalfrequenties per wagenkm (= basisfaalfrequentie voor botsen + ontsporen * vervolgcans) voor baanvaknelheid > 40 km/uur.
- De faalfrequenties voor een baanvaknelheid < 40 km/uur zijn alleen van toepassing als die snelheid geldt op alle sporen van een emplacement
- De overige kansen (instantaan/continue uitstroming, drukopbouw, ontsteking) blijven gelijk m.u.v. de hogere ontstekingskans voor brandbare vloeistoffen (wordt 0,66 ipv 0,25) die ook van invloed is op de risicobijdrage van het scenario 'warme BLEVE'
- De overwegtoeslag (wordt 0,9E-9 in plaats van 8,0E-9 per wagenkm) is niet verwerkt in dit overzicht
- Voor de huidige situatie is aangesloten bij de rekenwijze voor het Basisnet, volgens Protocol Spoor zonder complexe situaties en 5% (in plaats van 20%) gevaarlijke stoffen
- Voor de huidige situatie is de wisseltoeslag (3,3E-8/wagenkm) voor emplacementen als indicatie van een complexe toeslag gehanteerd. Voor de vrije baan niet.

Bijlage 8 BLEVE brandbare vloeistoffen

Inleiding

Uit de verzamelde casuïstiek blijkt dat zich in Europa een aantal ernstige treinongevallen met brandbare vloeistoffen heeft voorgedaan waarbij meer dan één wagen is betrokken (leegstroomt en/of uitbrandt)²⁹.

De ernst/omvang van deze ongevallen wordt daarbij niet alleen bepaald door het gegeven dat er meerdere wagens tegelijk lek raken (door de ontsporing, botsing) en uitbranden, of dat er direct een (gaswolk)explosie is, maar ook door de mogelijkheid van het optreden van een domino-ongeval. Daarbij worden aan warmtebelasting blootgestelde wagens met brandbare vloeistof boven omgevingsdruk verhit en falen na een zekere tijd (circa 15-20 minuten) 'explosief', waarbij (min of meer vergelijkbaar met een 'warme domino BLEVE' van gasketelwagens) een deel van de wageninhoud verbrandt als een vuurbal, of als een hoge vuurkolom en een deel vervolgens als een grote plasbrand. Naast de te verwachten milieugevolgen, voor oppervlaktewater en bodem(water), zijn er ook onverwachte gevolgen, zoals explosies in het riool en rondvliegende putdeksels na afstroming van brandbare vloeistoffen in het riool.



Figuur 20 Vainnikala (plasbrand 600 m², acht wagens ruwe olie betrokken bij de brand)

Doel: komen ongevalseffecten overeen met huidige QRA-scenario's?

In de huidige risicoanalysemethodiek worden de effecten en gevolgen berekend voor scenario's waarbij uitgegaan wordt van uitstroming uit één wagen, gevolgd door een grote of kleinere plasbrand met een oppervlak van respectievelijk 600 en 300 m². Het gegeven dat meerdere wagens min of meer tegelijk falen wordt verdisconteerd in de faalfrequentie. Het domino-ongeval warme BLEVE door brand wordt alleen voor tot vloeistof verdichte gassen beschouwd.

²⁹ Het is uit de ongevalbeschrijvingen niet altijd duidelijk of een explosief falen van wagens met brandbare vloeistof is opgetreden. In beschrijvingen van ARIA van de ongevallen te Zurich en Chavanay wordt gesproken van explosies ('prend feu et explose' en 's'enflamment et explosent').



Figuur 21 Elsterwerda

Aan deze bijlage ligt de volgende vraagstelling ten grondslag:

- I. Zijn de beschouwde ongevalscenario's in de huidige risicoberekening 'adequaat' genoeg om de effecten te beschrijven van ernstige treinongevallen met brandbare vloeistoffen?
- II. Indien de conclusie is dat de scenario's niet adequaat zijn, hoe zou de methodiek aangepast kunnen worden en met welke scenario's en kansen zou dan gerekend moeten worden?

I. Zijn de ongevalscenario's in de huidige risicoberekening adequaat genoeg?

Voldoende stoffen meegenomen?

De huidige risicoberekeningen voor spoor beperken zich tot de vluchtige brandbare vloeistoffen (GEVI-codes 33, 336, 338, 339, X323, X333 en X33). In de praktijk houdt dit bijvoorbeeld in dat de risico's van het transport van stoffen als ruwe olie, huisbrandolie (heizöl) en diesel in de risicoberekeningen niet worden meegenomen. Ook in de vervoersgegevens die aan de berekeningen ten grondslag liggen (gerealiseerd vervoer, prognoses toekomstig vervoer), worden deze stoffen tot nu toe niet meegenomen³⁰. Toch blijkt uit de ongevalanalyses dat er wel ongevallen zijn met externe veiligheid relevante effecten (plasbrand) en waarbij meerdere wagens zijn betrokken (zie bijvoorbeeld de ongevallen 28, 37, 117 en 140 in de internationale ongevalanalyse).

In de huidige rekenmethodiek worden voor de stoffen die zowel brandbaar als toxisch zijn (GEVI-nummers 336, 66 en 663) alleen de toxische effecten doorgerekend. Zijn er voorbeelden waarbij brandeffecten zijn opgetreden? Waarschijnlijk niet, maar bij EC-ongeval 5 is niet duidelijk welke stof het betreft.

Minder vluchtige brandbare, minder toxische stoffen (bijvoorbeeld stoffen met GEVI-codes 323 en 63) komen niet aan de orde in de huidige methodiek (paragraaf 7.3). Toch bevat de ongevalanalyses ongevallen (23 en 69) met deze stoffen (epichloorhydrine, GEVI-code 63). Bij ongeval 23 (Lausanne, 1994) zijn twee wagens lekgeraakt. Bij ongeval 69 is brand opgetreden.

Plasbrand meerdere wagens: groter brandoppervlak meenemen?

³⁰ Met behulp van het sinds augustus 2008 werkende Online infosysteem Vervoer Gevaarlijke Stoffen (OVGS) zijn deze gegevens nu wel beschikbaar te maken.

De ongevalanalyse bevat een aantal ongevallen waarbij meerdere wagens min of meer tegelijk lek raken en branden (zie 1, 4, 6, 12, 13, 28, 29?, 37, 120?, 12, 124, 127?, 139 en 140).

In de huidige risicoanalyses worden de effecten en gevolgen berekend voor scenario's waarbij één wagen faalt. Voor grote branden waarbij als effect uitsluitend een plasbrand het gevolg is, is dit een redelijke aanpak. Immers de veronderstelde plasgroottes (300 en 600 m²) bij falen van één wagen zijn mogelijk overschat. Bij falen van meerdere wagens is een langgerekttere brand te verwachten. Ook is te verwachten dat een fakkelbrand op de veiligheidsklep van aangestraalde ketelwagens ontstaat (uitbranden wagens). Loodrecht op de richting van het spoor zal bij roetende branden de berekende warmtestraling (effectafstand) niet veel verschillen van een cirkelvormige brand of een langgerekte brand.

Conclusie: Huidige aanpak niet wijzigen. Uitgaan van plasbranden van 300 m² en 600 m².

Domino-ongeval: vuurbalscenario voor brandbare vloeistoffen meenemen?

Uit de ongevalanalyse blijkt dat de mogelijkheid aanwezig is van het optreden van een domino-ongeval waarbij aan warmtebelasting blootgestelde wagens met brandbare vloeistoffen boven omgevingsdruk worden verhit en na een zekere tijd (circa 15-20 minuten) 'explosief' falen. Hierbij verbrandt een deel van de wageninhoud als een vuurbal of als een hoge vuurkolom³¹ en een deel vervolgens als een grote plasbrand. Dit is min of meer vergelijkbaar met een 'warme domino BLEVE' van gasketelwagens. De gevolgen van deze ongevallen, (zie Tabel 7), zijn ernstiger dan bij alleen een plasbrand.³²

Voorstel: Op grond van navolgende analyse wordt voorgesteld om de huidige methodiek aan te passen en wel door een extra scenario (dominovuurbal) op te nemen.

II. Voorstel voor de vervolgcans op dit scenario en modelmatige bepaling van de ongevaleffecten.

Analyse gegevens uit de ongevalbeschrijvingen (domino-ongevallen)

Uit de gegevens in Tabel 7 is af te leiden dat in vijf van de zes gevallen de vuurballen en/of vuurkolommen de stof benzine betreffen. Er waren geen BLEVE's/vuurballen bij transporten van crude oil (ruwe olie) [18].

Gegevens uit simulaties [18]

Het is moeilijk te voorspellen of en wanneer een benzineketelwagen faalt bij een externe brand. Dit hangt af van onder andere tankgegevens (wanddikte, capaciteit van de PRV) en van toevalsfactoren, zoals de brandbelasting tijdens het ongeval.

³¹ Ook bij domino-falen van gasdruk wagens kan het tot een vuurbal of een vuurkolom (jetfire) komen; dit is afhankelijk van het falen van de tank (scheur beperkt of niet).

³² De afmetingen van een plasbrand van 600 m² bij een wind van 5 m/s zijn (RBM2-model): diameter plas 28 meter, hoogte vlam 25 meter, lengte vlam 40 meter, hoek vlam 51 graden.

Tabel 6 Gevolgen van domino-ongevallen zoals aangegeven in de ongevalbeschrijvingen

Nr.	Plaats	Datum	Land	Gevolg
141	Bielefeld-Brackwede	17-4-1974	D	Enorme steekvlammen bij bezwijken van de compartimenten in een SKW Vuurzee met 70 meter hoge vlammen over een afstand van circa 40 meter
142	Hannover-Empelde	20-3-1985	D	200 meter hoge vuurzuil 150 meter lange vuurwand
139	Rude	16-6-1986	S	Petrol tankwagon ruptured with a loud bang and formed a 100 meter diameter fireball
12	La Voulte-sur-Rhône	13-1-1993	F	Une explosion et une boule de feu 15-20 min. plus tard
28	Elsterwerda	20-11-1997	D	Grote steekvlam (melding ongeval) bij explosie eerste wagen; eerste explosie veroorzaakt ruitbreuk Nach 20 Minuten ging ein weiterer Kesselwagen in die Luft (gewaltige explosion). Door drukgolf stort gebouw in en komen twee brandweermannen om.
69	Bad Münders	9-2-2002	D	Der als Wagen Nr. 8 im IRC 51219 befindliche, mit Gefahrgut (Epichlorhydrin) beladene Kesselwagen wurde im vorderen Bereich undicht, so dass die giftige und entzündbare Ladung entweichen konnte. Das Epichlorhydrin entzündete sich danach und führte in der Folge circa 60 Minuten nach dem Zusammenstoß zur Explosion eines leeren Containers (= Ladung des Wagens Nr. 7) sowie circa 120 Minuten nach dem Zusammenstoß zur Explosion des Kesselwagens.

Tabel 7 Gegevens vuurbalongevallen

	Trein- lengte wagens	Wagens ontspoord gebotst	Ketelwagens GS betrokken	GS-Wagens lek door impact brand	GS-Wagens 'vuurbal' 'vuurkolom'	GS- Wagens intact
Bielefeld- Brackwede, 17-4- 1974 Ontsporing	36	21	18 (bij brand)	3 (enkele)	1? Vele afzonderlijk compar- timenten van de tankwagens zijn ontploft	
Benzine Hannover- Empelde, 20-3- 1985 Botsing + ontsporing	19+20		20	3 (direct in brand)	1	
Trein 1 Benzine Trein 2 Kolen Rude, 16-6-1986 Ontsporing	?	meerdere	7	2 ?	2 2x benzine	?
Benzine + diesel La Voulte sur Rhône, 13-1- 1993 Ontsporing	?	?	7	3	1	3
benzine Elsterwerda, 20- 11-1997 Ontsporing	22		15	13?	2 (1 direct geëxplodeerd, (1 na 15-20 min geëxplodeerd)	7
Bad Münders 9-2-2002 Botsing 2 goederentreinen Epichloorhydrine				1 (ketelwagen met epichloorhydr ine	2 (1 lege container na 60 minuten en de lekke, brandende ketelwagen na 120 minuten)	

Opmerking:

De informatie in bovenstaande tabel kan verschillen met de informatie vermeld in paragraaf 7.1³³ bijvoorbeeld vanwege verschil in bronnen.

Model voor vuurbal brandbare vloeistoffen

Het domino-ongeval kan gemodelleerd worden als een vuurkolom dan wel als een vuurbal. Voorstel is het domino-ongeval te modelleren als een vuurbal.

In RBMII [19] is al een vuurbalmodel opgenomen. In dit model moeten gespecificeerd worden:

- massa in de vuurbal (bepalend voor afmetingen en brandduur van de vuurbal);
- hoogte vuurbal ten opzichte bodem;
- stralingssterke van de vuurbal (Via de druk bij falen wordt de fractie f van de van de verbrandingsenergie bepaald die vrijkomt aan warmtestraling. Hieruit is de stralingssterkte E aan de rand van de vuurbal te bepalen).

Voorstel is om uit te gaan van de voorbeeldstof pentaan en een op de grond liggende vuurbal met een massa M van 20.000 kg in de vuurbal³⁴. De straal is,

³³ Het ongeval te Mont Saint Hilaire (Canada) van 30-12-1999 is niet vermeld.

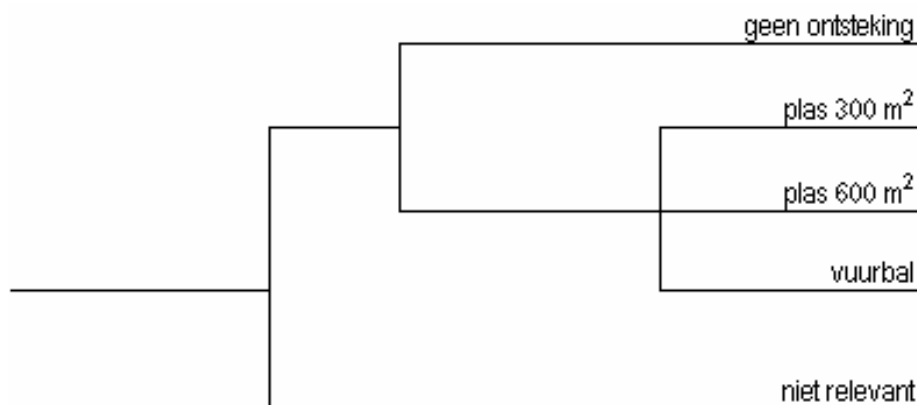
³⁴ Een derde van de ketelwaginhoud neemt deel aan de vuurbal (een geschatte range 26%-39% wordt genoemd in Lautaski[18]), gebaseerd op de vuistregel dat twee tot driemaal de berekende

volgens het model in RBMII, gelijk aan $3,24 M^{0,325} = 81$ meter. Dit is dus aanzienlijk meer dan de berekende vlamafmetingen bij een plas van 600 m^2 . De brandduur t is gelijk aan circa 11 seconden ($t = 0,852 M^{0,26}$).

Simulaties voor typisch in Finland gebruikte tankwagens [18] geven een faaldruk van circa 0,2 Mpa aan. De fractie f^{35} van de beschikbare verbrandingsenergie die vrijkomt als warmtestraling vrijkomt, is dan circa 0,15 en de stralingssterkte E is dan circa 100 kW/m^2 [20].

Vervolgkans op warme BLEVE

Voorgesteld wordt een pragmatische benadering op basis van de casuïstiek voor wagens met brandbare vloeistoffen (paragraaf 7.1) (zie *Figuur 22*).



Figuur 22 Vervolggebeurtenissen brandbare vloeistof

De kans dat bij een ontsteking van brandbare vloeistof een vuurbal ontstaat, is als volgt geschat:

- De verhouding van instantaan/continu uitstroming wordt conform protocol geschat op $0,4 : 0,6$.⁸
- De verhouding van grote/kleine plasbrand die hieruit ontstaat wordt conform *Figuur 8* en protocol spoor geschat op $0,4 : 0,6$.
- Van de 54 wagens (*Figuur 8*) die uitbranden, kunnen er 21,6 ($= 0,4 * 54$) een grote plasbrand of vuurbal geven.
- *Figuur 8* geeft aan dat zes wagens een vuurbal gaven, dus de kans op een vuurbal is $0,11 = 0,4 * 0,28 (= 6/21,6)$.
- De kans op een grote plasbrand is dan $0,29 (0,4 - 0,11)$ en de kans op een kleine plasbrand blijft $0,6$.

Opgemerkt wordt dat twee ongevallen waarbij een vuurbal optrad, buiten beschouwing zijn gelaten. Het betreft ongeval 141, vanwege niet meer gangbare ketelwagens, en ongeval 69 omdat de stof (epichloorhydrine) geen deel uitmaakt van de rekenmethodiek (paragraaf 7.3).

flashfractie van 0,13 in de vuurbal zit. Bij inhoud ketelwagen van 100 m^3 , vullinggraad maximaal 95%, dichtheid 650 kg/m^3 volgt dat 20 ton in de vuurbal zit.

³⁵ $f=0,27 P^{\wedge} 0,32$.

Referenties

- [1] Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per Spoor, RP060333-Q53, SAVE, april 2006
- [2] Projectvoorstel 'actualisatie faalcijfers spoor', RIVM. 270407
- [3] Volledigheid database ongevallen en vervolgmogelijkheden, AVIV, 091573, 23 mei 2009
- [4] Netverklaring 2009, ProRail, 12 dec. 2008
- [5] Basisnet spoor 'overzicht maatregelen doorgaand spoor', project 071101, oktober '08
- [6] RvTV studie stoptonende seinen, Railned, 16/11/01
- [7] STS passage 2006, versie 1.0, IVW, 20/9/07
- [8] Systeembeschrijving 'ATB Verbeterde versie ten bate van RKS', Kenmerk CO-MH-070006813\1600 - Versie 7.0, Movares-S, 23/5/08
- [9] Integraal overzicht bij de GASC'en van ATB Verbeterde versie, Kenmerk CO-FG-070004963\6100D-versie 8.0, Movares-G, 19/03/09
- [10] Selectiemethodiek risico van seinen, kenmerk VHU/MIL/20548567 versie 1.0, IVW, 8/11/05
- [11] Interactiepunten in rijwegen, 20640256, ProRail, september 2006
- [12] Haalbaarheidstudie warme-BLEVE-vrij rijden, concept rapport, Railistics & ADSE, 21/01/09
- [13] Systematiek voor indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen. Project Veilig Vervoer over Water; Deelproject S3b. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995; opnieuw uitgegeven in 1999
- [14] Circulaire 'Risicobenadering voor NS-goederenemplacementen', VROM, 18/08/95
- [15] RIVM Actualisatie faalcijfers spoor – vrije baan en emplacementen, briefnummer 163/09 CEV Wol/sij-2001,1875 + brief 199/09 verwerking commentaarronde van 3 juli '09
- [16] Review 'Actualisatie faalcijfers spoor – vrije baan en emplacementen', Molag-TNO, Heitink-AVIV, v. Gelder-TU Delft, 20 januari 2011.
- [17] Handleiding Risicoberekeningen BEVI, RIVM, 1 januari 2008
- [18] Evaluation of BLEVE risks of tankwagons carrying flammable liquids. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22 (2009), 117-123
- [19] AVIV. Risicoberekeningsmethodiek II. 30 oktober 2008. versie 1.3
- [20] Hasegawa, K, Study on the fireball following steam explosion of n-pentane, 2nd Int. Symp. On Loss Prevention. Heidelberg, 1977. Pg. 297-304

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl