



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

Handleiding Risicoanalyse Transport

Bijlagen

Datum 11 januari 2017
Versie 1.2

Colofon

© RIVM 2017

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.

Contact:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Centrum Veiligheid
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

omgevingsveiligheid@rivm.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
1 Bijlage: Vuistregels externe risico's transport gevaarlijke stoffen	5
1.1 Inleiding	5
1.2 Vuistregels vervoer over de weg	6
1.2.1 Inleiding	6
1.2.2 Routetype: autosnelweg	9
1.2.3 Routetype: weg buiten de bebouwde kom (80 km/uur)	12
1.2.4 Routetype: weg binnen de bebouwde kom (50 km/uur)	15
1.2.5 Toepassingsvoorbeeld	18
1.2.6 Toelichting vuistregels vervoer over de weg	20
1.3 Vuistregels vervoer over het spoor	25
1.3.1 Inleiding	25
1.3.2 Routetype: baanvak hoge snelheid	28
1.3.3 Routetype: baanvak lage snelheid	31
1.3.4 Toelichting vuistregels vervoer over het spoor	34
1.4 Vuistregels vervoer over de binnenwateren	41
1.4.1 Inleiding	41
1.4.2 Routetype: Bevaarbaarheidsklasse 6	44
1.4.3 Routetype: Bevaarbaarheidsklasse 5	45
1.4.4 Routetype: Bevaarbaarheidsklasse 4	46
1.4.5 Toelichting vuistregels vervoer over de binnenwateren	47
2 Bijlage: Meteorologische gegevens	51
3 Bijlage: Modellen	70
3.1 Inleiding	70
3.2 Bronsterkte model: Uitstroming	70
3.2.1 Spoor en Weg	70
3.2.2 Vaarwegen	72
3.3 Dispersiemodellen	74
3.3.1 Neutraal gas dispersie bij plasverdamping (LT, D)	74
3.3.2 Zwaargasdispersie tot vloeistof verdichte gassen (GF, GT)	74
3.4 Effectmodellen	76
3.4.1 Wolkbrand	76
3.4.2 Gaswolkexplosie	77
3.4.3 Plasbrand	77
3.4.4 Fakkelt	82
3.4.5 BLEVE	82
3.5 Schademodellering	84
3.5.1 Toxische schade	84
3.5.2 Schade bij wolkbrand	86
3.5.3 Schade bij BLEVE, plasbrand, fakkelt	87
3.5.4 Schade bij explosie	87

4	Bijlage: Berekening verhouding warme/koude BLEVE	89
4.1	Wijze van berekenen voor brandbaar gas (stofcategorie A)	89
4.2	Wijze van berekenen voor toxisch gas (stofcategorie B2)	90
4.3	Toelichting op verhoudingen warme bleve/koude bleve	90
5	Bijlage: Scheepsschadefrequenties	92
5.1	Beschrijving Verkeersvakken	92
5.2	Scheepsschadefrequentie verkeersvakken	95
6	Bijlage: Bepaling locatiespecifieke scheepsschadefrequentie (alleen binnenvaart)	98
6.1	Inleiding	98
6.2	Toepassingsvoorbeeld	103
7	Bibliografie	106

1 Bijlage: Vuistregels externe risico's transport gevaarlijke stoffen

1.1 Inleiding

In de Nota van toelichting bij het Bevt 1] is aangegeven dat in sommige gevallen de berekening van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico achterwege kan blijven. Hiervoor zijn vuistregels in de vorm van drempelwaarden voor vervoersaantallen opgesteld die de gebruiker een indicatie geven wanneer een risicoberekening zinvol is. Met de vuistregels kan ingeschat worden of de vervoersaantallen, bebouwingsafstanden en/of aanwezigheidsdichtheden te klein zijn om tot een overschrijding van grenswaarde of richtwaarde voor het plaatsgebonden risico dan wel of een overschrijding van de oriëntatiewaarde of 0.1 maal de oriëntatiewaarde voor het groepsrisico te kunnen leiden.

De drempelwaarde voor 0.1 maal de oriëntatiewaarde voor het groepsrisico geeft een indicatie dat zeker een groepsrisicoberekening moet worden uitgevoerd.

In deze bijlage wordt uitwerking gegeven aan deze vuistregels. De vuistregels, berekend met versie 1.3 van RBM II, worden hierna gegeven per modaliteit en routetype voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

1.2 Vuistregels vervoer over de weg

1.2.1 Inleiding

De vuistregels worden geformuleerd voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

Voor het plaatsgebonden risico gaat het om de grens- en richtwaarde, 10^{-5} en 10^{-6} per jaar, voor het groepsrisico om de oriëntatiewaarde en een factor 0.1 maal de oriëntatiewaarde.

In het volgende zal veel gebruik worden gemaakt van aantallen. Het gaat bij het wegtransport vooral om de aantallen LPG-tankwagens in beide richtingen per jaar over een wegvak. LPG behoort bij de tot vloeistof verdichte brandbare gassen, stofcategorie GF3 (zie onder). Wanneer in de vuistregels een stofcategorie wordt genoemd, zoals GF3, dan wordt het aantal geladen passages per jaar in beide richtingen bedoeld.

In het formuleren van de vuistregels zijn de aantallen die in de praktijk worden aangetroffen een referentie. Het heeft niet zo veel zin om aan te geven dat in de categorie zeer giftige vloeistoffen 4000 tankwagens per jaar nodig zijn om de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico te overschrijden, wanneer het maximale waargenomen aantal 183 is. De cameratellingen van Rijkswaterstaat in 2006 en 2007 hebben voor 510 telpunten informatie opgeleverd. Het overzicht is aangevuld met circa 100 handmatig getelde punten (met name in Flevoland en Friesland), zodat een bestand van 610 telpunten als referentie is gebruikt. De vuistregels zijn geformuleerd tot een factor 2 boven het waargenomen maximum. Grote aantallen transporten zijn in de praktijk in de komende jaren niet te verwachten.

Stofcategorieën

De risico's van het transport van gevaarlijke stoffen zijn onder andere afhankelijk van stoffeigenschappen, zoals vluchtigheid en giftigheid. Het scala van vervoerde stoffen is zeer groot. Het omvat vaste stoffen, vloeistoffen en gassen, brandbaar, toxisch of beide. Om de berekeningen werkbaar te houden, worden de stoffen in categorieën ingedeeld. Stoffen die door hun combinatie van eigenschappen weinig "gevaarspotentie" hebben, komen in de categorie "niet relevant voor de externe veiligheid". Met de overige categorieën wordt het risico berekend. Deze categorieën staan in Tabel 1-1.

Tabel 1-1 Stofcategorieën en voorbeeldstoffen.

Categorie	Naam	Voorbeeldstof
GF1	Brandbaar gas	Ethyleenoxide
GF2	Brandbaar gas	n-Butaan
GF3	Brandbaar gas	Propaan
GT2	Toxisch gas	Methylmercaptaan
GT3	Toxisch gas	Ammoniak
GT4	Toxisch gas	Chloor
GT5	Toxisch gas	Chloor
LF1	Brandbare vloeistof	Heptaan (diesel)
LF2	Brandbare vloeistof	Pentaaan (benzine)
LT1	Toxische vloeistof	Acrylnitril
LT2	Toxische vloeistof	Propylamine
LT3	Toxische vloeistof	Acroleïne
LT4	Toxische vloeistof	Methylisocyanaat

Een hoger getal duidt op een hogere gevaarspotentie. Wanneer tellingen van het vervoer worden uitgevoerd worden de resultaten ook in termen van deze categorieën gegeven. De indelingssystematiek staat beschreven in "Systematiek voor het indelen van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen", Ministerie V&W, 1999 9].

Bebouwingsgebied en aanwezigheidsdichtheid

Het groepsrisico wordt bepaald door vier variabelen:

- De afstand van het bebouwingsgebied tot de as van de weg;
- De aanwezigheidsdichtheid in het bebouwingsgebied;
- De aard van de vervoerde stoffen;
- De aantallen van de vervoerde stoffen.

Het voldoet in de praktijk meestal de bevolking te inventariseren in het gebied binnen de 10^{-8} -contour van het plaatsgebonden risico. Met een RBM II berekening kan worden gecontroleerd of de uitkomst van de groepsrisicoberekening gevoelig is voor bevolking buiten de 10^{-8} -contour.

In vrijwel alle gevallen wordt het groepsrisico bepaald door GF3. Voor de uitkomst van de groepsrisicoberekening is het dan voldoende nauwkeurig om de bevolkingsdichtheid te inventariseren tot 300 m van de as van de weg d.w.z. toevoegen van bevolking buiten de 300 m levert geen wezenlijke verandering meer in het resultaat.

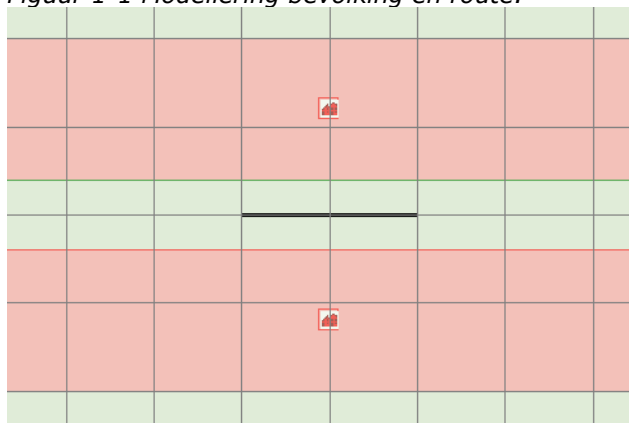
N.B. Uiteraard zijn de maximale effectafstanden van de grootste scenario's voor de toxische vloeistoffen en gassen groter dan 300 m. Tabel 1-2 geeft per stofcategorie de maximale afstanden tot een overlijdenskans van 1%.

Tabel 1-2 Maximale effectafstand (1%-overlijdenskans) per stofcategorie.

Stofcategorie	Max effect [m]	Stofcategorie	Max effect [m]
LF1	45	GF1	40
LF2	45	GF2	280
LT1	730	GF3	355
LT2	880	GT2	245
LT3	> 4000	GT3	560
LT4	> 4000	GT4	> 4000
		GT5	> 4000

De vuistregels zijn afgeleid voor bevolkingsgebieden die uniform gevuld zijn met een bepaalde aanwezigheidsdichtheid per hectare, zie Figuur 1-1. In een concreet geval kiest men derhalve conservatief d.w.z. de kleinste afstand tussen het te beschouwen bebouwingsgebied en de as van de weg en de hoogst voorkomende aanwezigheidsdichtheid.

Figuur 1-1 Modelleren bevolking en route.



Toepassingsgebied

Zoals gesteld in de inleiding zijn de vuistregels een eerste zeef: zij selecteren die situaties uit, waarin zeker geen sprake is van een ruimtelijk extern veiligheidsprobleem. Zij zijn grofstoffelijk, houden geen rekening met details van de situatie die moet worden beoordeeld, zoals lokale variaties in bebouwingsdichtheid. Locale variaties in ongevals-frequentie, "beruchte punten", kunnen niet in de berekening worden verwerkt. De beschikbare ongevallencasuïstiek maakt het niet mogelijk voldoende betrouwbare en valide onderverdelingen naar wegvak of andere wegkenmerken te maken 2].

Bij iedere toepassing van de vuistregels dient de gebruiker zich goed rekenschap te geven van deze beperkingen. Ter attentie zijn vaak een aantal notabene-puntjes genoemd.

Tabel 1-3 vermeldt ter oriëntatie per stofcategorie de aantallen per categorie die nodig zijn om een 10^{-6} -contour te genereren op de rand van de weg met daarnaast de waargenomen maxima.

Tabel 1-3 Drempelwaarden voor 10^{-6} -contour en waargenomen maxima.

Stofcategorieën	ASW ¹		BuBeko ²		BiBeko ³	
	Drempel 10^{-6}	NL max	Drempel 10^{-6}	NL max	Drempel 10^{-6}	NL max
GF1 (brandbare gassen)	101711	1120	17045	629	35998	33
GT2 (toxische gassen)	81269	20	23108	0	76961	0
GT3 (toxische gassen cat. 3)	60827	535	17645	394	60736	65
GT4 (toxische gassen cat. 4)	8741	399	3000	131	10370	33
GF2 (brandbare gassen)	19677	2913	6210	1130	21029	367
GF3 (licht ontvlambare gassen)	10308	26637	3379	14146	11404	1707
GT5 (toxische gassen cat. 5)	8741	66	2999	35	10370	0
LF1 (brandbare vloeistoffen)	>1000000	57746	>200000	15941	>400000	11185
LF2 (zeer brandbare vloeistoffen)	98918	92463	16803	17512	35562	32569
LT1 (toxische vloeistoffen)	20423	3719	4265	486	9282	364
LT2 (toxische vloeistoffen cat. 2)	10964	5206	2536	1870	5571	2008
LT3 (toxische vloeistoffen cat 3.)	3796	183	1054	215	2375	0
LT4 (toxische vloeistoffen cat 4)	1220	0	356	0	802	0

Per routetype volgen nu vuistregels voor plaatsgebonden risico en groepsrisico.

1.2.2 Routetype: autosnelweg

1.2.2.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Onder een autosnelweg wordt verstaan een weg waarop bij normale verkeersafwikkeling een maximum snelheid geldt van 100 km/uur of hoger.

Vuistregel 1: Een autosnelweg heeft geen 10^{-5} -contour.

Vuistregel 2: Wanneer het aantal GF3 transporten per jaar lager is dan 4000 heeft een autosnelweg geen 10^{-6} -contour.

Vuistregel 3: Wanneer het aantal GF3 transporten per jaar groter is dan 4000 heeft een autosnelweg geen 10^{-6} -contour als $0.0001 \cdot (0.1 \cdot LF2 + GF3 + 0.5 \cdot LT1 + LT2 + 3 \cdot LT3 + GT4 + GT5) < 1$

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.
2. Wanneer een vuistregel aangeeft dat een 10^{-6} -contour mogelijk is, pas dan RBM II toe.

¹ ASW: autosnelweg.

² BuBeko: weg buiten de bebouwde kom.

³ BiBeko: weg binnen de bebouwde kom.

1.2.2.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan 10 maal de drempelwaarde in Tabel 1-4 (eenzijdige bebouwing) of 10 maal de drempelwaarde in Tabel 1-5 (2-zijdige bebouwing) wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan de drempelwaarde in Tabel 1-4 (eenzijdige bebouwing) of in Tabel 1-5 (2-zijdige bebouwing) wordt 10% van de oriëntatiewaarde niet overschreden.

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.

Tabel 1-4 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, autosnelweg, eenzijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van de weg												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	23330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	13130	19440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	8400	12440	18990	20330	22670	25270	-	-	-	-	-	-	-
60	5830	8640	13180	14120	15740	17550	19570	21810	26170	-	-	-	-
70	4290	6350	9690	10370	11560	12890	14370	16030	19230	-	-	-	-
80	3280	4860	7420	7940	8850	9870	11010	12270	14720	22090	-	-	-
90	2590	3840	5860	6270	7000	7800	8700	9700	11630	17450	-	-	-
100	2100	3110	4750	5080	5670	6320	7040	7850	9420	14130	24310	-	-
200	530	780	1190	1270	1420	1580	1760	1960	2360	3530	6080	11470	22040
300	230	350	530	560	630	700	780	870	1050	1570	2700	5100	9790
400	130	190	300	320	350	390	440	490	590	880	1520	2870	5510
500	80	120	190	200	230	250	280	310	380	570	970	1840	3530
600	60	90	130	140	160	180	200	220	260	390	680	1270	2450
700	40	60	100	100	120	130	140	160	190	290	500	940	1800
800	30	50	70	80	90	100	110	120	150	220	380	720	1380
900	30	40	60	60	70	80	90	100	120	170	300	570	1090
1000	20	30	50	50	60	60	70	80	90	140	240	460	880

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

Tabel 1-5 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, autosnelweg, tweezijdige bebouwing.

		Afstand tot de as van de weg												
Dicht- heid /ha	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	9500	16360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	4220	7270	13690	21060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	2370	4090	7700	11850	16010	16830	18770	24540	-	-	-	-	-	
50	1520	2620	4930	7580	10250	10770	12010	15710	18700	-	-	-	-	
60	1060	1820	3420	5270	7120	7480	8340	10910	12990	19630	-	-	-	
70	780	1340	2520	3870	5230	5500	6130	8010	9540	14420	24810	-	-	
80	590	1020	1930	2960	4000	4210	4690	6140	7310	11040	18990	-	-	
90	470	810	1520	2340	3160	3330	3710	4850	5770	8730	15010	-	-	
100	380	650	1230	1900	2560	2690	3000	3930	4680	7070	12160	22950	-	
200	90	160	310	470	640	670	750	980	1170	1770	3040	5740	11020	
300	40	70	140	210	280	300	330	440	520	790	1350	2550	4900	
400	20	40	80	120	160	170	190	250	290	440	760	1430	2750	
500	20	30	50	80	100	110	120	160	190	280	490	920	1760	
600	10	20	30	50	70	70	80	110	130	200	340	640	1220	
700	10	10	30	40	50	50	60	80	100	140	250	470	900	
800	10	10	20	30	40	40	50	60	70	110	190	360	690	
900	4	10	20	20	30	30	40	50	60	90	150	280	540	
1000	4	10	10	20	30	30	30	40	50	70	120	230	440	

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

1.2.3 Routetype: weg buiten de bebouwde kom (80 km/uur)

1.2.3.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Vuistregel 1: Een weg buiten de bebouwde kom heeft geen 10^{-5} -contour.

Vuistregel 2: Wanneer het aantal GF3 transporten per jaar lager is dan 500 heeft een weg buiten de bebouwde kom geen 10^{-6} -contour.

Vuistregel 3: Wanneer het aantal GF3 transporten per jaar groter is dan 500 heeft een weg buiten de bebouwde kom geen 10^{-6} -contour als $0.0003*(GF3+0.2*LF2+LT1+LT2+3*LT3+GT4+GT5)<1$

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.
2. Wanneer een vuistregel aangeeft dat een 10^{-6} -contour mogelijk is, pas dan RBM II toe. Contour.

1.2.3.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan 10 maal de drempelwaarde in Tabel 1-6 (eenzijdige bebouwing) of 10 maal de drempelwaarde in Tabel 1-7 (2-zijdige bebouwing) wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan de drempelwaarde in Tabel 1-6 (eenzijdige bebouwing) of in Tabel 1-7 (2-zijdige bebouwing) wordt 10% van de oriëntatiewaarde niet overschreden.

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.

Tabel 1-6 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, weg buiten bebouwde kom, eenzijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van de weg													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	9580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	4260	6340	9800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	2400	3570	5510	9660	11030	11030	12300	13710	-	-	-	-	-	-
50	1530	2280	3530	6190	7060	7060	7870	8780	9790	12160	-	-	-	-
60	1060	1580	2450	4300	4900	4900	5470	6090	6800	8450	12230	-	-	-
70	780	1160	1800	3160	3600	3600	4020	4480	4990	6210	8990	-	-	-
80	600	890	1380	2420	2760	2760	3070	3430	3820	4750	6880	12400	-	-
90	470	700	1090	1910	2180	2180	2430	2710	3020	3750	5440	9800	-	-
100	380	570	880	1550	1770	1770	1970	2190	2450	3040	4400	7940	-	-
200	100	140	220	390	440	440	490	550	610	760	1100	1980	3680	6340
300	40	60	100	170	200	200	220	240	270	340	490	880	1630	2820
400	20	40	60	100	110	110	120	140	150	190	280	500	920	1580
500	20	20	40	60	70	70	80	90	100	120	180	320	590	1010
600	10	20	20	40	50	50	50	60	70	80	120	220	410	700
700	10	10	20	30	40	40	40	40	50	60	90	160	300	520
800	10	10	10	20	30	30	30	30	40	50	70	120	230	400
900	5	10	10	20	20	20	20	30	30	40	50	100	180	310
1000	4	10	10	20	20	20	20	20	20	30	40	80	150	250

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

Tabel 1-7 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, weg buiten bebouwde kom, tweezijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van de weg													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	8660	13190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2170	3300	5680	10740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	960	1470	2520	4770	7160	9170	10390	11590	13590	-	-	-	-	-
40	540	820	1420	2680	4030	5160	5850	6520	7640	8520	13760	-	-	-
50	350	530	910	1720	2580	3300	3740	4170	4890	5450	8810	-	-	-
60	240	370	630	1190	1790	2290	2600	2900	3400	3790	6120	10300	-	-
70	180	270	460	880	1310	1680	1910	2130	2500	2780	4490	7570	-	-
80	140	210	360	670	1010	1290	1460	1630	1910	2130	3440	5790	11490	-
90	110	160	280	530	800	1020	1150	1290	1510	1680	2720	4580	9080	-
100	90	130	230	430	640	820	940	1040	1220	1360	2200	3710	7360	12670
200	20	30	60	110	160	210	230	260	310	340	550	930	1840	3170
300	10	10	30	50	70	90	100	120	140	150	240	410	820	1410
400	10	10	10	30	40	50	60	70	80	90	140	230	460	790
500	3	10	10	20	30	30	40	40	50	50	90	150	290	510
600	2	4	10	10	20	20	30	30	30	40	60	100	200	350
700	2	3	5	10	10	20	20	20	20	30	40	80	150	260
800	1	2	4	10	10	10	10	20	20	20	30	60	110	200
900	1	2	3	10	10	10	10	10	20	20	30	50	90	160
1000	1	1	2	4	10	10	10	10	10	10	20	40	70	130

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

1.2.4 Routetype: weg binnen de bebouwde kom (50 km/uur)

1.2.4.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Vuistregel 1: Een weg binnen de bebouwde kom heeft geen 10^{-5} -contour.

Vuistregel 2: Een weg binnen de bebouwde kom heeft geen 10^{-6} -contour.

1.2.4.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan 10 maal de drempelwaarde in Tabel 1-8 (eenzijdige bebouwing) of 10 maal de drempelwaarde in Tabel 1-98 (2-zijdige bebouwing) wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan de drempelwaarde in Tabel 1-8 (eenzijdige bebouwing) of in Tabel 1-9 (2-zijdige bebouwing) wordt 10% van de oriëntatiewaarde niet overschreden.

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.

Tabel 1-8 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, weg binnen bebouwde kom, eenzijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van de weg													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	2640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	2020	3010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	1600	2380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	1290	1930	2980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	320	480	740	1300	1490	1490	1660	1850	2060	2570	-	-	-	-
300	140	210	330	580	660	660	740	820	920	1140	1650	2980	-	-
400	80	120	190	330	370	370	420	460	520	640	930	1670	3100	-
500	50	80	120	210	240	240	270	300	330	410	590	1070	1990	-
600	40	50	80	140	170	170	180	210	230	290	410	740	1380	2380
700	30	40	60	110	120	120	140	150	170	210	300	550	1010	1750
800	20	30	50	80	90	90	100	120	130	160	230	420	780	1340
900	20	20	40	60	70	70	80	90	100	130	180	330	610	1060
1000	10	20	30	50	60	60	70	70	80	100	150	270	500	860

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

Tabel 1-9 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, weg binnen bebouwde kom, tweezijdige bebouwing.

Dichtheid /ha	Afstand tot de as van de weg													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	3250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	1830	2780	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	1170	1780	3070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	810	1240	2130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	600	910	1570	2960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	460	700	1200	2270	3400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	360	550	950	1790	2680	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	290	450	770	1450	2170	2780	3160	-	-	-	-	-	-	-
200	70	110	190	360	540	700	790	880	1030	1150	1860	3130	-	-
300	30	50	90	160	240	310	350	390	460	510	830	1390	2760	-
400	20	30	50	90	140	170	200	220	260	290	460	780	1550	2670
500	10	20	30	60	90	110	130	140	170	180	300	500	990	1710
600	10	10	20	40	60	80	90	100	110	130	210	350	690	1190
700	10	10	20	30	40	60	60	70	80	90	150	260	510	870
800	1*	10	10	20	30	40	50	60	60	70	120	200	390	670
900	1*	10	10	20	30	30	40	40	50	60	90	150	310	530
1000	1*	1*	10	10	20	30	30	40	40	50	70	130	250	430

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

1*: aantal is kleiner dan 1

1.2.5 Toepassingsvoorbeeld

Gegeven

Weg: A4

Situatie: Dichtheden in de blokjes per hectare. Afstanden tot de as van de weg in meters

Figuur 1-2 Schematische weergave bevolking.



Tabel 1-10 Vervoersstroom.

Stofcategorie	Aantal	Stofcategorie	Aantal
LF1	12794	GT2	1
LF2	17364	GT3	251
LT1	1872	GT4	135
LT2	1338	GF0	881
LT3	66	GF1	445
		GF2	1094
		GF3	2573

Toepassing vuistregels

Het gaat hier om een autosnelweg met eenzijdige bebouwing. Paragraaf 1.2.2 hierboven is dus van toepassing.

De eerste toetsing is op het plaatsgebonden risico. De vuistregels daarvoor staan in paragraaf 1.2.2.

Vuistregel 1: Een autosnelweg heeft geen 10⁻⁵-contour. Behoeft geen toelichting.

Vuistregel 2: Wanneer het aantal GF3 transporten per jaar lager is dan 4000 heeft een autosnelweg geen 10⁻⁶-contour. GF3 bedraagt 2573. Dit is lager dan 4000, dus geen 10⁻⁶-contour.

De tweede toetsing is op het groepsrisico. De vuistregels daarvoor staan in paragraaf 1.2.2.2.

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in tankwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën LT3, GT4 of GT5 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

LT3 en GT4 zijn in de vervoersstroom aanwezig. RBM II toepassen is derhalve aangewezen. Ter illustratie nog een toets op de GF3:

Vuistregel 2: Wanneer GF3 minder is dan 10 maal de drempelwaarde in Tabel 3 (eenzijdige bebouwing) of 10 maal de drempelwaarde in Tabel 4 (2-zijdige bebouwing) wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

Het aantal GF3 is 2573. De minimale afstand is 20 m, de maximale dichtheid is 100 /ha. Aflezen van Tabel 3 geeft 2100 transporten GF3 om 10% van de oriënta-

tiewaarde te overschrijden, 21000 om de oriëntatiewaarde te overschrijden. Conclusie is dat 10% van de oriëntatiewaarde mogelijk wordt overschreden. De oriëntatiewaarde zelf wordt niet overschreden door alleen GF3, maar wellicht wel door de combinatie met LT3 en GT4. RBM II dient te worden toegepast, een conclusie die ook na regel 1 al was bereikt.

1.2.6 *Toelichting vuistregels vervoer over de weg*

In deze paragraaf worden enkele achtergronden gegeven bij de berekeningen die ten grondslag liggen aan de vuistregels externe veiligheid voor het vervoer over de weg .

1.2.6.1 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico is berekend voor een routedeel van 5 kilometer lengte. De overige variabelen zijn vermeld in Tabel 1-11.

Tabel 1-11 Waarden toegepast in berekening plaatsgebonden risico.

Variabele	Waarde
Software	RBM 1.3.0 build 247 d.d. 30-10-2008
Wegtype	Autosnelweg (ASW), weg buiten de bebouwde kom (BuBeko), weg binnen de bebouwde kom (BiBeko)
Wegbreedte	Default
Ongevulsfrequentie	Default
Meteo	RIVM Homogeen
Stofcategorieën	GT1..5, GF1..3, LT1..4, LF2

Tabel 1-12 vermeldt per stofcategorie de aantallen per categorie die nodig zijn om een 10^{-6} -contour te genereren op de rand van de weg met daarnaast de waargenomen maxima. De middels internet gepubliceerde telresultaten (stand november 2008) zijn verwerkt in een database. De resultaten van 610 telpunten zijn als referentie gebruikt.

Tabel 1-12 Drempelwaarden voor 10^{-6} -contour en waargenomen maxima.

Stofcategorieën	ASW		BuBeko		BiBeko	
	Drempel 10^{-6}	NL max	Drempel 10^{-6}	NL max	Drempel 10^{-6}	NL max
GF1 (brandbare gassen)	101711	1120	17045	629	35998	33
GT2 (toxische gassen)	81269	20	23108	0	76961	0
GT3 (toxische gassen cat. 3)	60827	535	17645	394	60736	65
GT4 (toxische gassen cat. 4)	8741	399	3000	131	10370	33
GF2 (brandbare gassen)	19677	2913	6210	1130	21029	367
GF3 (licht ontvlambare gassen)	10308	26637	3379	14146	11404	1707
GT5 (toxische gassen cat. 5)	8741	66	2999	35	10370	0
LF1 (brandbare vloeistoffen)	>1000000	57746	>200000	15941	>400000	11185
LF2 (zeer brandbare vloeistoffen)	98918	92463	16803	17512	35562	32569
LT1 (toxische vloeistoffen)	20423	3719	4265	486	9282	364
LT2 (toxische vloeistoffen cat. 2)	10964	5206	2536	1870	5571	2008
LT3 (toxische vloeistoffen cat 3.)	3796	183	1054	215	2375	0
LT4 (toxische vloeistoffen cat 4)	1220	0	356	0	802	0

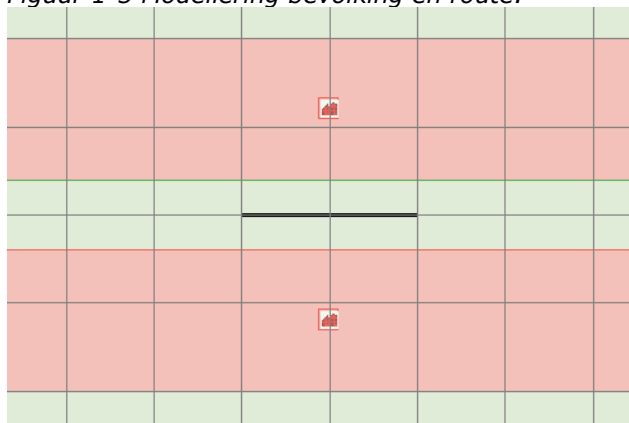
Tabel 1-12 laat zien dat in verhouding tot de waargenomen aantallen de categorieën LF2, GF3 en LT2 de ligging van de 10^{-6} -contour bepalen.

Wanneer het aantal GF3 transporten per jaar kleiner is dan 4000 is het zeer onwaarschijnlijk dat dat door een combinatie van aantallen in de andere stofcategorieën het niveau van 10^{-6} per jaar nog wordt gehaald. Boven dit aantal is een sommatieregel geformuleerd die aangeeft wanneer een 10^{-6} contour ontstaat. De regel is een lineaire combinatie van de bijdragen per vervoerseenheid.

1.2.6.2 Groepsrisico

Het groepsrisico is berekend voor een kilometer weglengte met een gevuld bevolkingsgebied aan één zijde of aan weerszijden van de weg zoals weergegeven in Figuur 1-3. De overige variabelen zijn vermeld in Tabel 1-13.

Figuur 1-3 Modelleren bevolking en route.



In de basisberekening is uitgegaan van 1000 transporten per jaar. Van de berekende groepsrisicocurven is de normwaarde ⁴ ten opzichte van de oriëntatiewaarde bepaald als formules moeten genummerd worden.

$$NW = \frac{MAX(FN^2)}{0.01}$$

Met deze uitkomst is het aantal per jaar bepaald dat voldoende is om de oriëntatiewaarde te bereiken als

$$DR_{1000} = \frac{1000}{NW}$$

De drempelwaarden voor andere aanwezigheidsdichtheden zijn teruggerekend met de betrekking

$$DR_{ad} = DR_{1000} * \left(\frac{1000}{ad} \right)^2$$

Waarin *ad* de gevraagde aanwezigheidsdichtheid is.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor afstanden van de bebouwing tot de as van de weg tussen 10 en 200 m. Met de resultaten is een kruistabel opgesteld waarin bij een bepaalde afstand en dichtheid het aantal transporten per jaar is af te lezen waarbij de oriëntatiewaarde wordt overschreden.

⁴ Dit is een mathematische formulering. De normwaarde is de verhouding tussen het berekende groepsrisico en de oriëntatiewaarde. Meer precies geformuleerd: de maximale verhouding tussen de kans op een aantal slachtoffers en de kans die hoort bij de oriëntatiewaarde of te wel $0.01/N^2$. Een normwaarde van 1 betekent dus dat de berekende groepsrisicocurve raakt aan de oriëntatiewaarde. Bij een normwaarde groter dan 1 doorsnijdt de berekende curve de oriëntatiewaarde.

Tabel 1-13 Waarden toegepast in basisberekening groepsrisico.

Variabele	Waarde
Software	RBM 1.3.0 build 247 d.d. 30-10-2008
wegtype	Autosnelweg (ASW), weg buiten de bebouwde kom (BuBeko), weg binnen de bebouwde kom (BiBeko)
Wegbreedte	Default
Ongevalsequentie	Default
Meteo	RIVM Homogeen
Stofcategorieën	GT3..5, GF2..3, LT1..2
Aantal per jaar	1000
Bevolkingstype	Woonbebouwing
Afstand tot as van de weg	10, 20.....200 m
Diepte gebied	Tot 1 km van de as van de weg
Aanwezigheidsdichtheid	1000/ha
Aanwezigheidsfractie dag	50%
Aanwezigheidsfractie nacht	100%
Fractie buiten dag	7%
Fractie buiten nacht	1%

Tabel 1-14 geeft bij drie afstanden tot de as van de weg de normwaarde van de stofcategorieën in verhouding tot GF3. De tabel laat zien dat GF3 het groepsrisico domineert tenzij LT3, GT4 of GT5 in de vervoersstroom voorkomen. GF2 en GF3 komen altijd gecombineerd in de vervoersstroom voor. Dat betekent dat GF3 altijd bepalend is t.o.v. GF2.

Als LT3, GT4 of GT5 in de vervoersstroom voorkomen zijn slechts geringe aantallen nodig om tot een overschrijding van (10% van de) de oriëntatiewaarde te komen. Tabel 1-15 geeft als voorbeeld de drempelwaarden voor een weg buiten de bebouwde kom. Wanneer de vereiste aantallen meer dan 2 maal de in Nederland waargenomen maxima zijn is gekozen voor een liggend streepje. Wanneer in een week-telling 1 transport wordt geteld, betekent dat op jaarbasis ca. 35 transporten. Dat is een aantal dat bij hogere aanwezigheidsdichtheden al snel leidt tot een overschrijding van de oriëntatiewaarde of in elk geval de FN-curve flink "optilt". Op ca. 65% van de wegvakken komen geen GT4, GT5 of LT3 transporten voor. Voor de vuistregels is daarom niet gekozen voor een (complexe) combinatieregeling voor verschillende stofcategorieën, maar voor de aanwijzing om bij aanwezigheid van LT3, GT4 of GT5 te kiezen voor een berekening.

De aanpak van de vorige versie van de vuistregels 3] om ook drempelwaarden te geven voor een over Nederland gemiddelde samenstelling is niet meer gevolgd. De samenstelling van de wegvakken is zo divers dat een gemiddelde weinig betekenis heeft voor een concreet geval waarin de vuistregels worden toegepast.

Tabel 1-14 Normwaardes t.o.v. GF3 (Autosnelweg, 2-zijdig).

Stofcategorie	Afstand [m]		
	20	100	200
	Normwaarde t.o.v. GF3		
LT1 (toxische vloeistoffen)	<0.01	<0.01	<0.01
LT2 (toxische vloeistoffen cat. 2)	<0.01	0.02	0.07
LT3 (toxische vloeistoffen cat. 3)	0.61	5.13	30.36
GF3 (licht ontvlambare gassen)	1.00	1.00	1.00
GF2 (brandbare gassen)	0.10	0.17	0.02
GT3 (toxische gassen cat. 3)	<0.01	0.01	0.02
GT4 (toxische gassen cat. 4)	1.66	15.76	113.59
GT5 (toxische gassen cat. 5)	1.66	15.76	113.59

Tabel 1-15 Drempelwaarden GT4- en GT5-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, weg buiten bebouwde kom, tweezijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van de weg													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	220	220	220	220	240	250	250	-	-	-	-	-	-	-
70	160	160	160	160	170	180	190	190	200	210	220	230	250	-
80	120	120	120	120	130	140	140	150	150	160	170	170	190	210
90	100	100	100	100	110	110	110	120	120	130	130	140	150	170
100	80	80	80	80	90	90	90	90	100	100	110	110	120	140
200	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30
300	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20
400	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7	8	9
500	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5
600	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4
700	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
800	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
900	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
1000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig.

1.3 Vuistregels vervoer over het spoor

1.3.1 Inleiding

In het volgende zal veel gebruik worden gemaakt van aantallen. Het gaat bij het spoortransport vooral om de aantallen LPG-ketelwagens in beide richtingen per jaar over een baanvak. LPG behoort bij de tot vloeistof verdichte brandbare gasen, stofcategorie A (zie onder). Wanneer in de vuistregels een stofcategorie wordt genoemd, zoals A, dan wordt het aantal geladen passages per jaar in beide richtingen bedoeld.

De vuistregels worden geformuleerd voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

Voor het plaatsgebonden risico gaat het om de grens- en richtwaarde, 10^{-5} en 10^{-6} per jaar, voor het groepsrisico om de oriëntatiewaarde en een factor 0.1 maal de oriëntatiewaarde.

In het formuleren van de vuistregels zijn de aantallen die in de praktijk worden aangetroffen een referentie. Het heeft niet zo veel zin om aan te geven dat in de categorie zeer giftige vloeistoffen 4000 ketelwagens per jaar nodig zijn om de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico te overschrijden, wanneer het maximale waargenomen aantal 183 is. De realisatiecijfers 2007 4] en de marktverwachting 5] zijn als referentie gebruikt. De vuistregels zijn geformuleerd tot een factor 2 boven het waargenomen maximum dan wel de verwachting. Grotere aantallen transporten zijn in de praktijk in de komende jaren niet te verwachten.

Stofcategorieën

De risico's van het transport van gevaarlijke stoffen zijn onder andere afhankelijk van stoffeigenschaften, zoals vluchtigheid en giftigheid. Het scala van vervoerde stoffen is zeer groot. Het omvat vaste stoffen, vloeistoffen en gassen, brandbaar, toxisch of beide. Om de berekeningen werkbaar te houden, worden de stoffen in categorieën ingedeeld. Stoffen die door hun combinatie van eigenschappen weinig "gevaarspotentie" hebben, komen in de categorie "niet relevant voor de externe veiligheid". Met de overige categorieën wordt het risico berekend. Deze categorieën zijn:

Tabel 1-16 Stofcategorieën spoorvervoer.

Stofcategorie	Voorbeeldstof	Toepasbaar bij GEVI	
A	Brandbaar gas	Propaan	23, 263, 239
B2	Toxisch gas	Ammoniak	265 (excl. UN 1017), 26, 265
B3	Zeer toxisch gas	Chloor	268 (UN 1017)
C3	Zeer brandbare vloeistof	Hexaan	33,33*,X33*, 336 (excl. UN 1093)
D3	Toxische vloeistof	Acrylonitril	Acrylonitril (UN nr. 1093)
D4	Zeer toxische vloeistof	Fluorwaterstof of Acroleïne	66, 663, 668, 886, (X88, X886)

Wanneer het vervoer wordt gerapporteerd worden de resultaten ook in termen van deze categorieën gegeven. De indelingssystematiek staat beschreven in "Systematiek voor het indelen van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen", Ministerie V&W, 1999 9].

Bebouwingsgebied en aanwezigheidsdichtheid

Het groepsrisico wordt bepaald door drie variabelen:

- De afstand van het bebouwingsgebied tot de as van het baanvak;
- De aanwezigheidsdichtheid in het bebouwingsgebied;
- De aard en de aantallen van de vervoerde stoffen.

Het voldoet in de praktijk meestal de bevolking te inventariseren in het gebied binnen de 10^{-8} -contour van het plaatsgebonden risico. Met een RBM II berekening kan worden gecontroleerd of de uitkomst van de groepsrisicoberekening gevoelig is voor bevolking buiten de 10^{-8} -contour.

In vrijwel alle gevallen wordt het groepsrisico bepaald door stofcategorie A. Voor de uitkomst van de groepsrisicoberekening is het dan voldoende nauwkeurig om de bevolkingsdichtheid te inventariseren tot 400 m van de as van de spoorbaan d.w.z. toevoegen van bevolking buiten de 400 m levert geen wezenlijke verandering meer in het resultaat.

N.B. Uiteraard zijn de effectafstanden van de grootste scenario's voor de toxische vloeistoffen en gassen (veel) groter dan 400 m.

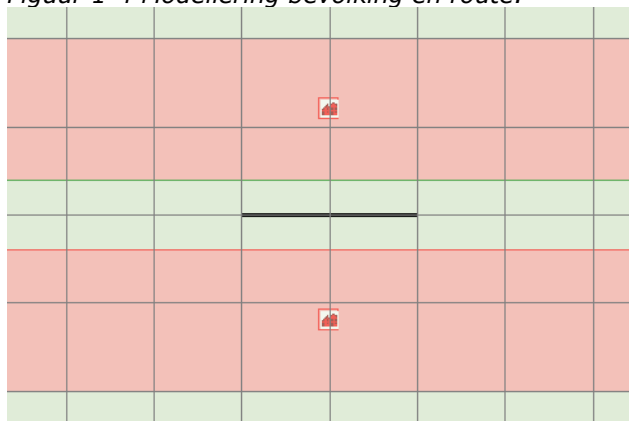
Tabel 1-17 geeft per stofcategorie de maximale afstanden tot een overlijdenskans van 1%.

Tabel 1-17 Maximale effectafstand (1% overlijdenskans) per stofcategorie.

Stofcategorie	Max effect [m]	Stofcategorie	Max effect [m]
A	460	C3	35
B2	995	D3	375
B3	>4000	D4	> 4000

De vuistregels zijn afgeleid voor bevolkingsgebieden die uniform gevuld zijn met een bepaalde aanwezigheidsdichtheid per hectare, zie Figuur 1-4. In een concreet geval kiese men derhalve conservatief d.w.z. de kleinste afstand tussen het te beschouwen bebouwingsgebied en de as van de weg en de hoogst voorkomende aanwezigheidsdichtheid.

Figuur 1-4 Modelling bevolking en route.

**Toepassingsgebied**

Zoals gesteld in de inleiding zijn de vuistregels een eerste zeef: zij selecteren die situaties uit, waarin zeker geen sprake is van een ruimtelijk extern veiligheidsprobleem. Zij zijn grofstoffelijk, houden geen rekening met details van de situatie die moet worden beoordeeld, zoals lokale variaties in bebouwingsdichtheid of in ongevalfrequentie. Bij iedere toepassing ervan dient de gebruiker zich goed rekenschap te geven van deze beperkingen. Ter attentie zijn vaak een aantal notabene-puntjes genoemd.

Tabel 1-18 vermeldt per stofcategorie de aantallen per categorie die nodig zijn om een 10^{-6} -contour te genereren op de rand van het baanvak met daarnaast de waargenomen en geprognosticeerde maxima.

Tabel 1-18 Drempelwaarden voor 10^{-6} -contour en waargenomen maxima.

Stofcategorie	Trein type	Drempel 10^{-6}	NL max 2007	Marktverwachting 2020
A (brandbare gassen)	bont	22743	13550	24990
A (brandbare gassen)	blok	86794		
B2 (giftige gassen)	bont	>100000	3950	10620
B2 (giftige gassen)	blok	>100000		
B3 (zeer giftige gassen)	blok	> 100000	50	200
C3 (zeer brandbare vloeistoffen)		16964	21200	59280
D3 (giftige vloeistoffen)		62403	3600	7210
D4 (zeer giftige vloeistoffen)		14147	1800	2140

De vuistregels worden geformuleerd voor twee routetypen: een baanvak met hoge snelheid en een baanvak met lage snelheid. Ze gelden voor de vrije baan. Ze zijn niet toepasbaar op complexe situaties als stationslocaties.

Per routetype volgen nu vuistregels voor plaatsgebonden risico en groepsrisico.

1.3.2 *Routetype: baanvak hoge snelheid*

1.3.2.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Op een baanvak hoge snelheid geldt een baanvaksnelheid boven de 40 km per uur.

Vuistregel 1: Een hoge snelheidsbaanvak heeft geen 10^{-5} -contour.

Vuistregel 2: Wanneer het aantal C3 transporten per jaar hoger is dan 17000 heeft een hoge snelheidsbaanvak een 10^{-6} -contour.

Vuistregel 3: Wanneer het aantal C3 transporten per jaar kleiner is dan 17000 heeft een hoge snelheidsbaanvak geen 10^{-6} -contour als $0.00006*(C3+A+0.3*D3+D4)<1$

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.
2. Wanneer een vuistregel aangeeft dat een 10^{-6} -contour mogelijk is, pas dan RBM II toe.
3. Deze vuistregels gelden alleen voor de vrije baan en moeten met enige voorzichtigheid worden toegepast. Risicoanalyses op het spoor worden uitgevoerd met de generieke ongevalfrequenties, maar de generieke ongevalfrequentie van de doorgaande vrije spoorbaan wordt wel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van wissels en spoorovergangen in het traject. Hierdoor kan de in een berekening te gebruiken ongevalfrequentie hoger zijn dan de ongevalfrequentie op basis waarvan deze vuistregels zijn afgeleid. Indien uitgegaan wordt van een hogere ongevalfrequentie dan de default dient RBM II al bij lagere transportaantallen toegepast

1.3.2.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in ketelwagens (bulkvervoer) stoffen bevat in de categorie B3 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.

Vuistregel 2: Wanneer A kleiner is dan 50 en D4 of B2 maken deel uit van de vervoersstroom, pas dan RBMII toe als binnen 200 m van het baanvak aanwezigheidsdichtheden voorkomen van meer dan 200 per hectare.

Vuistregel 3: Wanneer A minder is dan 10 maal de drempelwaarde in Tabel 16 (eenzijdige bebouwing) of 10 maal de drempelwaarde in Tabel 17 (2-zijdige bebouwing) wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

- Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in ketelwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorie B3 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe.
- Vuistregel 2: Wanneer A kleiner is dan 50 en D4 of B2 maken deel uit van de vervoersstroom, pas dan RBMII toe als binnen 200 m van het baanvak aanwezigheidsdichtheden voorkomen van meer dan 70 per hectare.
- Vuistregel 3: Wanneer A minder is dan de drempelwaarde in Tabel 1-19 (eenzijdige bebouwing) of in Tabel 1-20 (2-zijdige bebouwing) wordt 10% van de oriëntatiewaarde niet overschreden.

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.
2. Wanneer een vuistregel aangeeft dat 10% van de oriëntatiewaarde van het groepsrisico overschreden kan worden, pas dan de RBM II toe om de hoogte van het groepsrisico te berekenen als een risicoanalyse ten behoeve van een vervoers- of omgevingsbesluit wordt uitgevoerd.
3. Deze vuistregels gelden alleen voor de vrije baan en moeten met enige voorzichtigheid worden toegepast. Risicoanalyses op het spoor worden uitgevoerd met de generieke ongevalfrequenties, maar de generieke ongevalfrequentie van de doorgaande vrije spoorbaan wordt wel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van wissels en spoorovergangen in het traject. Hierdoor kan de in een berekening te gebruiken ongevalfrequentie hoger zijn dan de ongevalfrequentie op basis waarvan deze vuistregels zijn afgeleid. Indien uitgegaan wordt van een hogere ongevalfrequentie dan de default dient RBM II al bij lagere transportaantallen toegepast.

Tabel 1-19 Drempelwaarden vervoer brandbare tot vloeistof verdichte gassen (A) in bonte treinen voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, baanvak hoge snelheid, eenzijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van het baanvak [m]												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	11410	14140	17530	21800	27090	33680	41800	-	-	-	-	-	-
20	2850	3530	4380	5450	6770	8420	10450	14470	19960	-	-	-	-
30	1270	1570	1950	2420	3010	3740	4640	6430	8870	29200	-	-	-
40	710	880	1100	1360	1690	2100	2610	3620	4990	16430	-	-	-
50	460	570	700	870	1080	1350	1670	2320	3190	10510	-	-	-
60	320	390	490	610	750	940	1160	1610	2220	7300	46110	-	-
70	230	290	360	440	550	690	850	1180	1630	5360	33880	-	-
80	180	220	270	340	420	530	650	900	1250	4110	25940	-	-
90	140	170	220	270	330	420	520	710	990	3240	20490	43100	-
100	110	140	180	220	270	340	420	580	800	2630	16600	34910	-
200	30	40	40	50	70	80	100	140	200	660	4150	8730	13490
300	10	20	20	20	30	40	50	60	90	290	1840	3880	5990
400	10	10	10	10	20	20	30	40	50	160	1040	2180	3370
500	5	10	10	10	10	10	20	20	30	110	660	1400	2160
600	3	4	5	10	10	10	10	20	20	70	460	970	1500
700	2	3	4	4	10	10	10	10	20	50	340	710	1100
800	2	2	3	3	4	10	10	10	10	40	260	550	840
900	1	2	2	3	3	4	10	10	10	30	200	430	670
1000	1	1	2	2	3	3	4	10	10	30	170	350	540

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

Tabel 1-20 Drempelwaarden GF3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, weg buiten bebouwde kom, tweezijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van het baanvak [m]												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	3120	3480	4300	5350	6640	8220	11360	14120	21550	-	-	-	-
20	780	870	1070	1340	1660	2060	2840	3530	5390	15940	-	-	-
30	350	390	480	590	740	910	1260	1570	2390	7080	44430	-	-
40	200	220	270	330	420	510	710	880	1350	3990	24990	-	-
50	120	140	170	210	270	330	450	560	860	2550	15990	-	-
60	90	100	120	150	180	230	320	390	600	1770	11110	48490	-
70	60	70	90	110	140	170	230	290	440	1300	8160	35630	-
80	50	50	70	80	100	130	180	220	340	1000	6250	27280	42150
90	40	40	50	70	80	100	140	170	270	790	4940	21550	33300
100	30	30	40	50	70	80	110	140	220	640	4000	17460	26970
200	10	10	10	10	20	20	30	40	50	160	1000	4360	6740
300	3	4	5	10	10	10	10	20	20	70	440	1940	3000
400	2	2	3	3	4	10	10	10	10	40	250	1090	1690
500	1	1	2	2	3	3	5	10	10	30	160	700	1080
600	1	1	1	1	2	2	3	4	10	20	110	480	750
700	1	1	1	1	1	2	2	3	4	10	80	360	550
800	1	1	1	1	1	1	2	2	3	10	60	270	420
900	1*	1*	1	1	1	1	1	2	3	10	50	220	330
1000	1*	1*	1*	1	1	1	1	1	2	10	40	170	270

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

1*: aantal is kleiner dan 1

1.3.3 Routetype: baanvak lage snelheid

1.3.3.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Op een baanvak lage snelheid geldt een baanvaksnelheid lager dan 40 km per uur.

Vuistregel 1: Een lage snelheidsbaanvak heeft geen 10^{-6} -contour.

N.B.

- Deze vuistregel geldt alleen voor de vrije baan en moeten met enige voorzichtigheid worden toegepast. Risicoanalyses op het spoor worden uitgevoerd met de generieke ongevalfrequenties, maar de generieke ongevalfrequentie van de doorgaande vrije spoorbaan wordt wel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van wissels en spoorovergangen in het traject. Hierdoor kan de in een berekening te gebruiken ongevalfrequentie hoger zijn dan de on-

gevalfrequentie op basis waarvan deze vuistregels zijn afgeleid. Indien uitgegaan wordt van een hogere ongevalfrequentie dan de default dient RBM II al bij lagere transportaantallen toegepast.

1.3.3.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer A minder is dan 10 maal de drempelwaarde in

Tabel 1-21 (eenzijdige bebouwing) of 10 maal de drempelwaarde in

Tabel 1-22 (2-zijdige bebouwing) wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Wanneer de vervoersstroom gevaarlijke stoffen in ketelwagens (bulkvervoer) stoffen bevat uit de categorieën B2, B3 of D4 (ongeacht de aantallen) pas dan RBM II toe als binnen 200 m van het baanvak aanwezigheidsdichtheden voorkomen van meer dan 200 per hectare. .

Vuistregel 2: Wanneer A minder is dan de drempelwaarde in

Tabel 1-21 (eenzijdige bebouwing) of in

Tabel 1-22 (2-zijdige bebouwing) wordt 10% van de oriëntatiewaarde niet overschreden.

N.B.

1. Alle vuistregels toepassen en in de aangegeven volgorde.
2. Deze vuistregels gelden alleen voor de vrije baan en moeten met enige voorzichtigheid worden toegepast. Risicoanalyses op het spoor worden uitgevoerd met de generieke ongevalfrequenties, maar de generieke ongevalfrequentie van de doorgaande vrije spoorbaan wordt wel gecorrigeerd voor de aanwezigheid van wissels en spoorovergangen in het traject. Hierdoor kan de in een berekening te gebruiken ongevalfrequentie hoger zijn dan de ongevalfrequentie op basis waarvan deze vuistregels zijn afgeleid. Indien uitgegaan wordt van een hogere ongevalfrequentie dan de default dient RBM II al bij lagere transportaantallen toegepast.

Tabel 1-21 Drempelwaarden vervoer brandbare tot vloeistof verdichte gassen (A) in bonte treinen voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, baanvak lage snelheid, eenzijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van het baanvak (m)												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	16460	20400	25290	31440	39080	48580	-	-	-	-	-	-	-
30	7310	9060	11240	13970	17370	21590	26800	37120	-	-	-	-	-
40	4110	5100	6320	7860	9770	12150	15070	20880	28790	-	-	-	-
50	2630	3260	4050	5030	6250	7770	9650	13360	18430	-	-	-	-
60	1830	2270	2810	3490	4340	5400	6700	9280	12800	42130	-	-	-
70	1340	1660	2060	2570	3190	3970	4920	6820	9400	30950	-	-	-
80	1030	1270	1580	1970	2440	3040	3770	5220	7200	23700	-	-	-
90	810	1010	1250	1550	1930	2400	2980	4120	5690	18720	-	-	-
100	660	820	1010	1260	1560	1940	2410	3340	4610	15170	-	-	-
200	160	200	250	310	390	490	600	840	1150	3790	23950	-	-
300	70	90	110	140	170	220	270	370	510	1690	10640	22390	34590
400	40	50	60	80	100	120	150	210	290	950	5990	12590	19460
500	30	30	40	50	60	80	100	130	180	610	3830	8060	12450
600	20	20	30	30	40	50	70	90	130	420	2660	5600	8650
700	10	20	20	30	30	40	50	70	90	310	1950	4110	6350
800	10	10	20	20	20	30	40	50	70	240	1500	3150	4860
900	10	10	10	20	20	20	30	40	60	190	1180	2490	3840
1000	10	10	10	10	20	20	20	30	50	150	960	2010	3110

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

Tabel 1-22 Drempelwaarden vervoer brandbare tot vloeistof verdichte gassen (A) in bonte treinen voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, baanvak lage snelheid, tweezijdige bebouwing.

Dicht heid /ha	Afstand tot de as van het baanvak (m)												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	18020	20090	24810	30840	38340	47450	-	-	-	-	-	-	-
20	4510	5020	6200	7710	9580	11860	14700	20380	31090	-	-	-	-
30	2000	2230	2760	3430	4260	5270	6530	9060	13820	40880	-	-	-
40	1130	1260	1550	1930	2400	2970	3680	5090	7770	23000	-	-	-
50	720	800	990	1230	1530	1900	2350	3260	4970	14720	-	-	-
60	500	560	690	860	1060	1320	1630	2260	3450	10220	-	-	-
70	370	410	510	630	780	970	1200	1660	2540	7510	47090	-	-
80	280	310	390	480	600	740	920	1270	1940	5750	36050	-	-
90	220	250	310	380	470	590	730	1010	1540	4540	28490	-	-
100	180	200	250	310	380	470	590	820	1240	3680	23070	-	-
200	50	50	60	80	100	120	150	200	310	920	5770	25180	38910
300	20	20	30	30	40	50	70	90	140	410	2560	11190	17290
400	10	10	20	20	20	30	40	50	80	230	1440	6300	9730
500	10	10	10	10	20	20	20	30	50	150	920	4030	6230
600	10	10	10	10	10	10	20	20	30	100	640	2800	4320
700	4	4	10	10	10	10	10	20	30	80	470	2060	3180
800	3	3	4	5	10	10	10	10	20	60	360	1570	2430
900	2	2	3	4	5	10	10	10	20	50	280	1240	1920
1000	2	2	2	3	4	5	10	10	10	40	230	1010	1560

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

1.3.4 Toelichting vuistregels vervoer over het spoor

1.3.4.1 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico is berekend voor een routedeel van 5 kilometer lengte. De overige variabelen zijn vermeld in Tabel 1-23.

Tabel 1-23 Waarden toegepast in berekening plaatsgebonden risico.

Variabele	Waarde
Software	RBM 1.3.0 build 247 d.d. 30-10-2008
wegtype	Baanvak hoge snelheid, baanvak lage snelheid
Breedte	Default
Ongevalsefrequentie	Default, wissels: standaard, overweg: geen
Meteo	RIVM Homogeen
Stofcategorieën	C3, Abont ⁵ , Ablok, B2bont, B2blok, B3, D3, D4

Tabel 1-24 vermeldt per stofcategorie de aantallen per categorie die nodig zijn om een 10^{-6} -contour te genereren op de rand van het baanvak met daarnaast de waargenomen en geprognostiseerde maxima.

Tabel 1-24 Drempelwaarden voor 10-6-contour en waargenomen maxima.

Stofcategorie	Treintype	Drempel 10^{-6}	NL max 2007	Marktverwachting 2020
A (brandbare gassen)	bont	22743	13550	24990
A (brandbare gassen)	blok	86794		
B2 (giftige gassen)	bont	>100000	3950	10620
B2 (giftige gassen)	blok	>100000		
B3 (zeer giftige gassen)	blok	> 100000	50	200
C3 (zeer brandbare vloeistoffen)		16964	21200	59280
D3 (giftige vloeistoffen)		62403	3600	7210
D4 (zeer giftige vloeistoffen)		14147	1800	2140

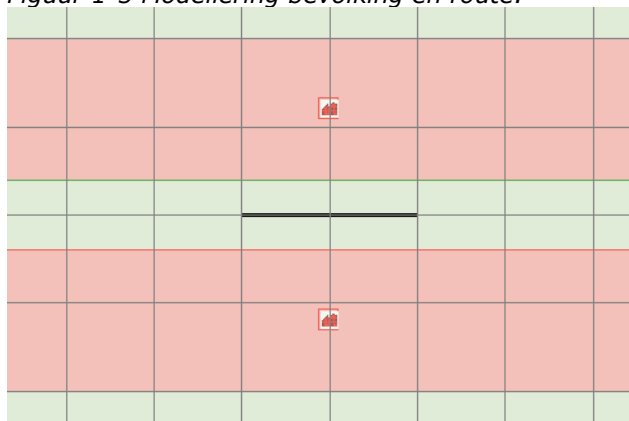
Tabel 1-24 laat zien dat in verhouding tot de waargenomen aantallen de categorieën C3 en A in bonte treinen de ligging van de 10^{-6} -contour bepalen. Wanneer het aantal C3 transporten per jaar kleiner is dan 17000 kan door een combinatie van aantallen in de andere stofcategorieën het niveau van 10^{-6} per jaar nog wordt gehaald. Een sommatieregel is geformuleerd die aangeeft wanneer een 10^{-6} contour ontstaat. De regel is een lineaire combinatie van de bijdragen per transport.

1.3.4.2 Groepsrisico

Het groepsrisico is berekend voor een kilometer baanvaklengte met een gevuld bevolkingsgebied aan één zijde of aan weerszijden van het baanvak zoals weergegeven in Figuur 1-5. De overige variabelen zijn vermeld in Tabel 1-25.

⁵ Bont: trein voor verschillende afnemers, waarin zowel spoorwagons met brandbare vloeistoffen als wagons met tot vloeistof verdichte gassen onder druk voorkomen. Blok: trein meestal voor één afnemer met één stofcategorie

Figuur 1-5 Modelling bevolking en route.



In de basisberekening is uitgegaan van 1000 transporten per jaar. Van de berekende groepsrisicocurven is de normwaarde ⁶ ten opzichte van de oriëntatiewaarde bepaald als

$$NW = \frac{MAX(FN^2)}{0.01}$$

Met deze uitkomst is het aantal per jaar bepaald dat voldoende is om de oriëntatiewaarde te bereiken als

$$DR_{1000} = \frac{1000}{NW}$$

De drempelwaarden voor andere aanwezigheidsdichtheden zijn teruggerekend met

$$DR_{ad} = DR_{1000} * \left(\frac{1000}{ad} \right)^2$$

de betrekking

Waarin *ad* de gevraagde aanwezigheidsdichtheid is.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor afstanden van de bebouwing tot de as van het baanvak tussen 20 en 200 m. Met de resultaten is een kruistabel opgesteld waarin bij een bepaalde afstand en dichtheid het aantal transporten per jaar is af te lezen waarbij de oriëntatiewaarde wordt overschreden.

⁶ Dit is een mathematische formulering. De normwaarde is de verhouding tussen het berekende groepsrisico en de oriëntatiewaarde. Meer precies geformuleerd: de maximale verhouding tussen de kans op een aantal slachtoffers en de kans die hoort bij de oriëntatiewaarde of te wel $0.01/N^2$. Een normwaarde van 1 betekent dus dat de berekende groepsrisicocurve raakt aan de oriëntatiewaarde. Bij een normwaarde groter dan 1 doorsnijdt de berekende curve de oriëntatiewaarde.

Tabel 1-25 Waarden toegepast in basisberekening groepsrisico.

Variabele	Waarde
Software	RBM 1.3.0 build 247 d.d. 30-10-2008
Baanvaktype	Baanvak hoge snelheid, baanvak lage snelheid
Breedte	Default (10)
Ongevalsfrequentie	Default, wissels: standaard, overweg: geen
Meteo	RIVM Homogeen
Stofcategorieën	Abont, Ablok, B2bont, B2blok, B3, C3, D3, D4
Gemiddeld aantal C3 wagons	Default (2)
Transport overdag	33%
Transport werkweek	71.4%
transportmiddel	Spoorketelwagon
Aantal per jaar	1000
Bevolkingstype	Woonbebouwing
Afstand tot de as van het baanvak	10, 20.....200 m
Diepte gebied	Tot 1 km van de as van het baanvak
Aanwezigheidsdichtheid	1000/ha
Aanwezigheidsfractie dag	50%
Aanwezigheidsfractie nacht	100%
Fractie buiten dag	7%
Fractie buiten nacht	1%

Tabel 1-26 geeft bij vier afstanden tot de as van het baanvak de normwaarde van de stofcategorieën in verhouding tot Abont. De tabel laat zien dat Abont het groepsrisico domineert wanneer de afstand tot bebouwing kleiner is dan 125 m. Eveneens is te zien dat vervoer van stofcategorie A in bloktreinen in plaats van in bonte treinen een grote groepsrisicoreductie oplevert en de relatieve bijdrage van de stofcategorieën aan het groepsrisico wijzigt. Figuur 1-8 illustreert de dominantie van stofcategorie A bij het bepalen van het al dan niet overschrijden van de oriëntatiewaarde. Dit is globaal het geval bij aantallen A groter dan 50 per jaar. Als dat het geval is, is voor een vuistregel voldoende om te toetsen op de stofcategorie Abont. Alleen in zeer atypische omgevingen, bijvoorbeeld als de bebouwing buiten 150 m van het spoor begint gaat dit niet op. Figuur 1-7 illustreert de verschuiving van het overschrijdingspunt afhankelijk van de afstand van de bebouwing tot het baanvak van puur A bepaald naar puur D4 bepaald.

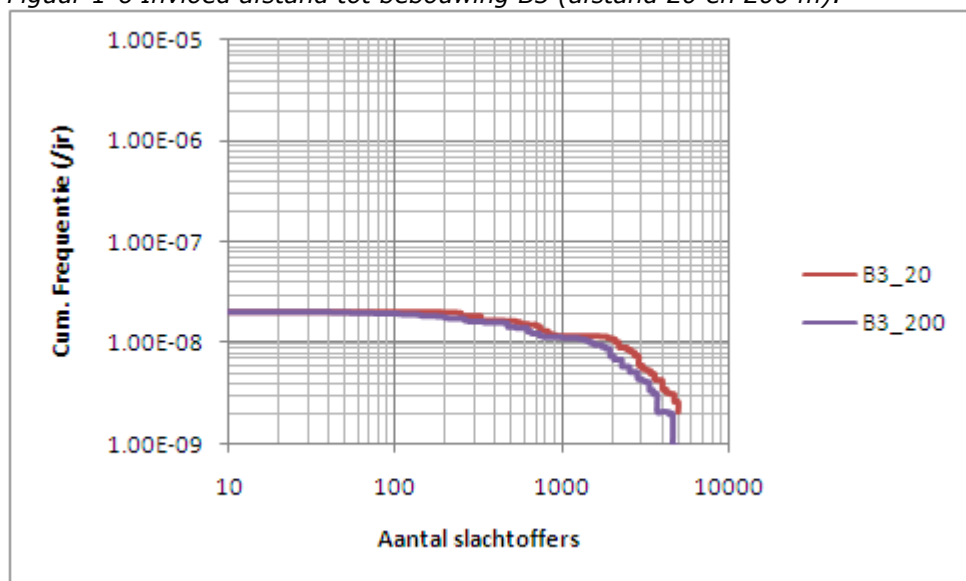
Tabel 1-26 Normwaardes t.o.v. A in bonte treinen

Stofcategorie		Afstand [m]			
		20	100	125	200
		Normwaarde t.o.v. A-bont			
A	bont	1.00	1.00	1.00	1.00
A	blok	0.04	0.04	0.12	1.00
B2	bont	0.00	0.00	0.01	0.12
B2	blok	0.00	0.00	0.01	0.12
B3		0.04	0.20	0.66	10.69
D3		0.00	0.00	0.00	0.00
D4		0.02	0.11	0.35	6.43

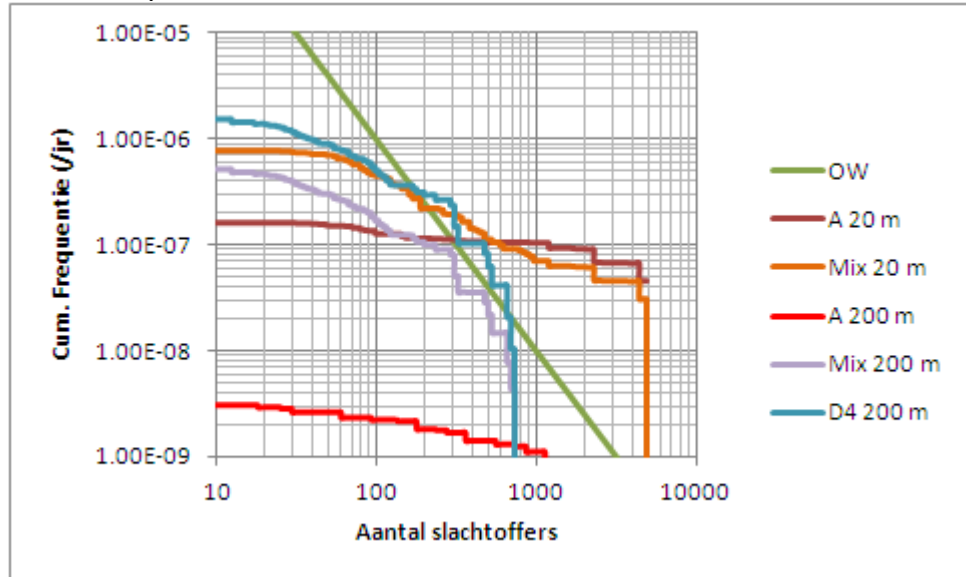
De andere categorieën die bijdragen aan het groepsrisico zijn B2, B3 en D4. Het groepsrisico van B3 is weinig afhankelijk van de afstand van de bebouwing tot het baanvak (zie Figuur 1-6). Hoewel B3, mede gezien de geringe aantallen op jaarbasis, zelfstandig niet gauw tot een overschrijding van de oriëntatiewaarde kan leiden, tilt deze categorie de hele curve mogelijk wel omhoog. Voor de vuistregel is daarom gekozen in geval van B3 in de vervoersstroom altijd een berekening uit te voeren.

D4 bereikt eerder de oriëntatiewaarde dan B2. D4 komt meestal voor in een bepaalde verhouding tot A (0.5 is een typische waarde, maar de verhouding varieert sterk). De bijdrage aan het groepsrisico wordt dan door A gemaskeerd. Wanneer echter zeer weinig of geen A wordt vervoerd (<50), kunnen D4 en of B2 de overschrijding bepalen. In dat geval geeft de vuistregel aan dat een aanwezigheidsdichtheid van meer dan 70 per hectare voorhanden moet zijn om een overschrijding van 10% van de oriëntatiewaarde mogelijk te maken (zie Tabel 1-27).

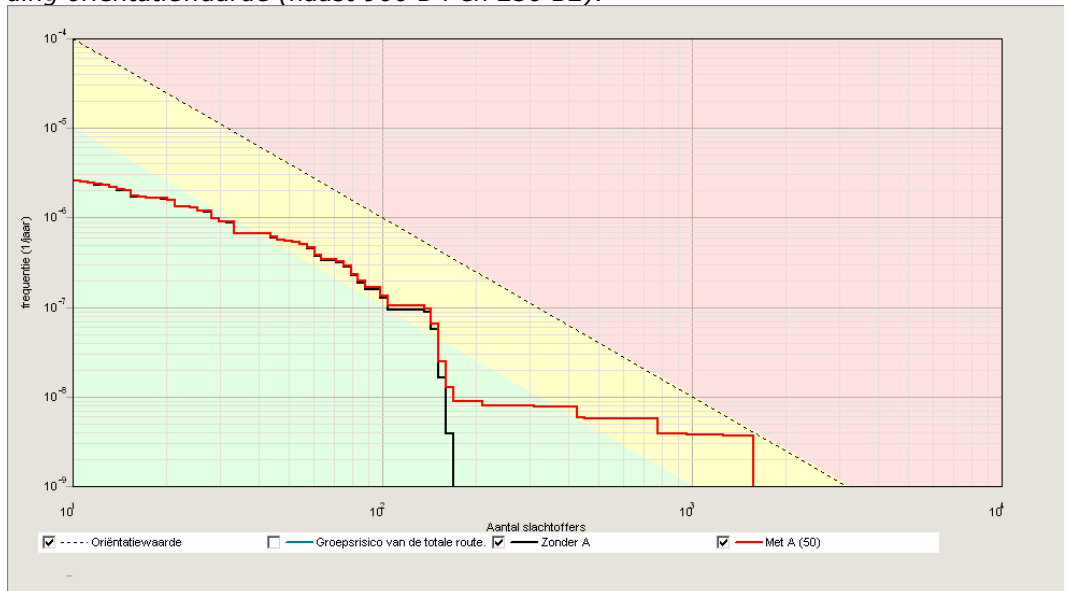
Figuur 1-6 Invloed afstand tot bebouwing B3 (afstand 20 en 200 m).



Figuur 1-7 Invloed afstand tot baanvak op vorm van de groepsrisicocurve (de "Mix"-stroom heeft verhouding $D4/A=0.5$, afstanden 20 en 200 m, OW is de oriëntatiewaarde).



Figuur 1-8 Typisch groepsrisicobeeld: 50 wagons A bepalen punt van overschrijding oriëntatiewaarde (naast 900 D4 en 250 B2).



De aanpak van de vorige versie van de vuistregels 3] om ook drempelwaarden te geven voor een over Nederland gemiddelde samenstelling is niet meer gevolgd. De samenstelling van de baanvakken is zo divers dat een gemiddelde weinig betekenis heeft voor een concreet geval waarin de vuistregels worden toegepast. Eén bron van diversiteit is de waarde van het gemiddeld aantal C3-wagons. Deze bepaalt de verhouding tussen de frequentie van een BLEVE bij verhoogde druk ten opzichte van een BLEVE bij omgevingstemperatuur. In de praktijk kan deze per richting variëren tussen 0.2 en 3. De default waarde is derhalve aan de conserva-

tieve kant. Normaliter is deze waarde niet stroomspecifiek beschikbaar en wordt gekozen voor de default waarde.

Tabel 1-27 Drempelwaarden D4-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, baanvak hoge snelheid, tweezijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de as van het baanvak												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	3800	4000	4090	4090	4240	-	-	-	-	-	-	-	-
90	3000	3160	3230	3230	3350	3470	3600	3930	4020	4190	-	-	-
100	2430	2560	2620	2620	2720	2810	2920	3180	3250	3390	3900	3950	4200
200	610	640	650	650	680	700	730	790	810	850	980	990	1050
300	270	280	290	290	300	310	320	350	360	380	430	440	470
400	150	160	160	160	170	180	180	200	200	210	240	250	260
500	100	100	100	100	110	110	120	130	130	140	160	160	170
600	70	70	70	70	80	80	80	90	90	90	110	110	120
700	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	80	80	90
800	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	60	60	70
900	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50
1000	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	40	40	40

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

1.4 Vuistregels vervoer over de binnenwateren

1.4.1 Inleiding

In het volgende zal veel gebruik worden gemaakt van aantallen. Het gaat bij het binnenwatertransport vooral om de aantallen met benzine of ammoniak geladen tankschepen in beide richtingen per jaar over een vaarweg. Benzine behoort bij de brandbare vloeistoffen, stofcategorie LF2 (zie onder). Wanneer in de vuistregels een stofcategorie wordt genoemd, zoals LF2, dan wordt het aantal geladen passages per jaar in beide richtingen bedoeld.

De vuistregels worden geformuleerd voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

Voor het plaatsgebonden risico gaat het om de grens- en richtwaarde, 10^{-5} en 10^{-6} per jaar, voor het groepsrisico om de oriëntatiewaarde en een factor 0.1 maal de oriëntatiewaarde.

In het formuleren van de vuistregels zijn de aantallen die in de praktijk worden aangetroffen een referentie. Het heeft niet zo veel zin om aan te geven dat in de categorie zeer giftige vloeistoffen 20000 tankschepen per jaar nodig zijn om de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico te overschrijden, wanneer het maximale waargenomen aantal 7700 is. Het vervoer over de jaren 2004-2007 is als referentie gebruikt [6]. De vuistregels zijn geformuleerd tot een factor 2 boven het waargenomen maximum. Grotere aantallen transporten zijn in de praktijk in de komende jaren niet te verwachten.

Stofcategorieën

De risico's van het transport van gevaarlijke stoffen zijn onder andere afhankelijk van stoffeigenschappen, zoals vluchtigheid en giftigheid. Het scala van vervoerde stoffen is zeer groot. Het omvat vaste stoffen, vloeistoffen en gassen, brandbaar, toxisch of beide. Om de berekeningen werkbaar te houden, worden de stoffen in categorieën ingedeeld. Stoffen die door hun combinatie van eigenschappen weinig "gevaarspotentie" hebben, komen in de categorie "niet relevant voor de externe veiligheid". Met de overige categorieën wordt het risico berekend. Deze categorieën zijn:

- LF1: Brandbare vloeistof b.v. diesel
- LF2: Zeer brandbare vloeistof b.v. benzine
- LT1: Toxische vloeistof b.v. acrylnitril
- LT2: Toxische vloeistof b.v. propylamine
- GF2: Brandbaar tot vloeistof verdicht gas b.v. butaan
- GF3: Brandbaar tot vloeistof verdicht gas b.v. propaan
- GT3: Toxisch tot vloeistof verdicht gas b.v. ammoniak

Een hoger getal duidt op een hogere gevaarspotentie. Wanneer tellingen van het vervoer worden uitgevoerd worden de resultaten ook in termen van deze categorieën gegeven. De indelingssystematiek staat beschreven in "Systematiek voor het indelen van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen", Ministerie V&W, 1999 [9].

Bebouwingsgebied en aanwezigheidsdichtheid

Het groepsrisico wordt bepaald door drie variabelen:

- De afstand van het bebouwingsgebied tot de vaarweg;
- De aanwezigheidsdichtheid in het bebouwingsgebied;
- De aard en de aantallen van de vervoerde stoffen.

Het voldoet in de praktijk meestal de bevolking te inventariseren in het gebied binnen de 10^{-8} -contour van het plaatsgebonden risico. Met een RBM II berekening kan worden gecontroleerd of de uitkomst van de groepsrisicoberekening gevoelig is voor bevolking buiten de 10^{-8} -contour.

In vrijwel alle gevallen wordt het groepsrisico bepaald door stofcategorieën GT3 of LT2. Voor de uitkomst van de groepsrisicoberekening is het dan voldoende nauwkeurig om de bevolkingsdichtheid te inventariseren tot 500 m van de vaarweg d.w.z. toevoegen van bevolking buiten de 500 m levert geen wezenlijke verandering meer in het resultaat.

N.B. Uiteraard zijn de effectafstanden van de grootste scenario's (veel) groter dan 500 m.

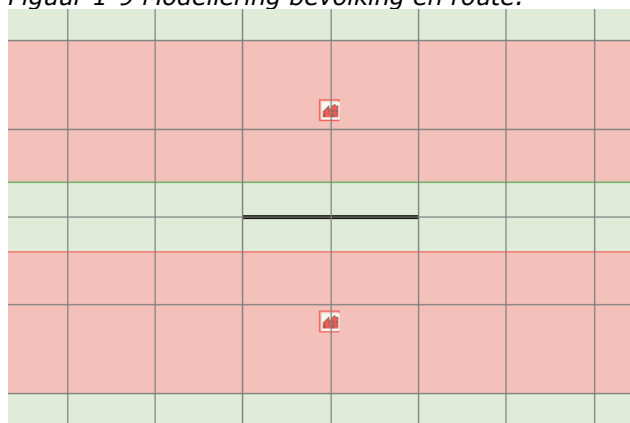
Tabel 1-28 geeft per stofcategorie de maximale afstanden tot een overlijdenskans van 1%.

Tabel 1-28 Maximale effectafstand (1% overlijdenskans) per stofcategorie.

Stofcategorie	Max effect [m]	Stofcategorie	Max effect [m]
LF1	35	GF2	65
LF2	35	GF3	90
LT1	600	GT3	1070
LT2	880		

De vuistregels zijn afgeleid voor bevolkingsgebieden die uniform gevuld zijn met een bepaalde aanwezigheidsdichtheid per hectare, zie Figuur 1-9. In een concreet geval kiest men derhalve conservatief d.w.z. de kleinste afstand tussen het te beschouwen bebouwingsgebied en de as van de weg en de hoogst voorkomende aanwezigheidsdichtheid.

Figuur 1-9 Modelleren bevolking en route.



Toepassingsgebied

Zoals gesteld in de inleiding zijn de vuistregels een eerste zeef: zij selecteren die situaties uit, waarin zeker geen sprake is van een ruimtelijk extern veiligheidspro-

bleem. Zij zijn grofstoffelijk, houden geen rekening met details van de situatie die moet worden beoordeeld, zoals lokale variaties in bebouwingsdichtheid of in ongevalfrequentie.

Indien uit de ongevallenregistratie blijkt dat ter plaatse van kruisende vaarwegen, bruggen, loswallen, haveningangen e.d. een hogere kans op een incident bestaat dan gemiddeld op het vaarwegdeel dient dat vaarweggedeelte met een hogere ongevalsfrequentie in de berekening te worden verwerkt. De aanpak daarvoor is beschreven in bijlage 6.

Bij iedere toepassing ervan dient de gebruiker zich goed rekenschap te geven van deze beperkingen. Ter attentie zijn vaak een aantal notabene-puntjes genoemd.

Tabel 1-29 vermeldt per stofcategorie de maximale aantallen geladen tankschepen per categorie die zijn waargenomen in de periode 2004-2007 [6]. Voor een 10^{-6} -contour op de oever zijn in alle gevallen meer dan 10000 schepen per jaar nodig. De stofcategorie LF1 (brandbare vloeistoffen met een vlampunt boven 21 °C) is niet in de tabel opgenomen. De drempelwaarden voor LF1 liggen een factor 13 hoger dan die voor LF2, hetgeen resulteert in onrealistisch hoge aantallen tankschepen, die nodig zouden zijn om een plaatsgebonden risico van 10^{-6} te bereiken.

Tabel 1-29 Waargenomen maximale aantallen tankschepen per jaar per stofcategorie [6].

Stofcategorie	NL max (2004-2007)
LF2 (zeer brandbare vloeistoffen)	7709
LT1 (toxische vloeistoffen)	258
LT2 (toxische vloeistoffen)	251
GF2 (brandbare gassen)	600
GF3 (brandbare gassen)	1707
GT3 (toxische gassen)	217

Bij de analyse van vaarwegen worden drie routetypen onderscheiden. De vaarwegen zijn ingedeeld in bevaarbaarheidsklassen of CEMT-klassen. De CEMT-klasse legt de maximale afmetingen vast van een schip dat op de vaarweg is toegestaan. Tabel 1-30 geeft de CEMT-klasse van een aantal hoofdvaarwegen.

Tabel 1-30 Bevaarbaarheidsklassen (CEMT) van een aantal hoofdvaarwegen.

Vaarweg	CEMT-klasse	Vaarweg	CEMT-klasse
Eemskanaal	5	Waal	6
v. Starckenborghkanaal	5	Beneden Merwede	6
Prinses Margrietkanaal	5	Noord	6
IJssel	5	Hollandsch Diep	6
Nederrijn	5	Schelde-Rijn verbinding	6
Lek	6	Maas	5
Amsterdam-Rijnkanaal	6	Julianakanaal	5
Oude Maas	6	Kanaal Gent-Terneuzen	6
Nieuwe Maas	6	Hollandsche IJssel	5

Per routetype volgen nu vuistregels voor plaatsgebonden risico en groepsrisico.

1.4.2 Routetype: Bevaarbaarheidsklasse 6

1.4.2.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Vuistregel 1: Een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 6 heeft geen 10^{-6} -contour.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De scheepsschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen, zie opmerking in paragraaf 4.1. Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

1.4.2.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Langs een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 6 wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De scheepsschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Langs een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 6 wordt 10% van de oriëntatiewaarde van het groepsrisico alleen mogelijk overschreden wanneer binnen 200 meter van de oever aanwezigheidsdichtheden voorkomen groter dan 500 /ha en $LT_2+GT_3 > 1000$ per jaar.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

1.4.3 *Routetype: Bevaarbaarheidsklasse 5*

1.4.3.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Vuistregel 1: Een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 5 heeft geen 10^{-6} -contour.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

1.4.3.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Langs een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 5 wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Langs een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 5 wordt 10% van de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

1.4.4 Routetype: Bevaarbaarheidsklasse 4

1.4.4.1 Toetsing plaatsgebonden risico

Vuistregel 1: Een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 4 heeft geen 10^{-6} -contour.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopsschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

1.4.4.2 Toetsing groepsrisico

Toetsing oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Langs een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 4 wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopsschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

Toetsing 10% van de oriëntatiewaarde

Vuistregel 1: Langs een vaarweg bevaarbaarheidsklasse 4 wordt 10% van de oriëntatiewaarde van het groepsrisico niet overschreden.

N.B.

1. De vuistregel geldt voor de gemiddelde vaarwegsituatie. In een nautisch complexe situatie (kruisend verkeer, stroom, bocht e.d.) is een vuistregel mogelijk niet geschikt. De sloopsschadefrequentie dient dan te worden vastgesteld op basis van het opgetreden aantal ongevallen (zie bijlage 6). Indien mogelijk dient RBM II te worden toegepast.

1.4.5 Toelichting vuistregels vervoer over de binnenwateren

1.4.5.1 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico is berekend voor een routedeel van 5 kilometer lengte. De overige variabelen zijn vermeld in Tabel 1-31.

Tabel 1-31 Waarden toegepast in berekening plaatsgebonden risico.

Variabele	Waarde
Software	RBM 1.3.0 build 247 d.d. 30-10-2008
Vaarwegtype	Bevaarbaarheidsklasse 6, 5 en 4
Breedte	200, 100 en 50 m
Ongevalsequentie	Default
Meteo	RIVM Homogeen
Stofcategorieën/ scheepstypen	LF2: ew en dw ⁷ , GF2: gas druk, GF3 gas druk, GT3: gas druk en semi gekoeld, LT1: dw, LT2: dw

Tabel 1-32 vermeldt per stofcategorie de maximale aantallen tankschepen per categorie die zijn waargenomen in de periode 2004-2007 [6]. Voor een 10^{-6} -contour op de oever zijn in alle gevallen meer dan 10000 schepen per jaar nodig.

Tabel 1-32 Waargenomen maximale aantallen tankschepen per jaar per stofcategorie [6].

Stofcategorie	NL max (2004-2007)
LF2 (zeer brandbare vloeistoffen)	7709
LT1 (toxische vloeistoffen)	258
LT2 (toxische vloeistoffen)	251
GF2 (brandbare gassen)	600
GF3 (brandbare gassen)	1707
GT3 (toxische gassen)	217

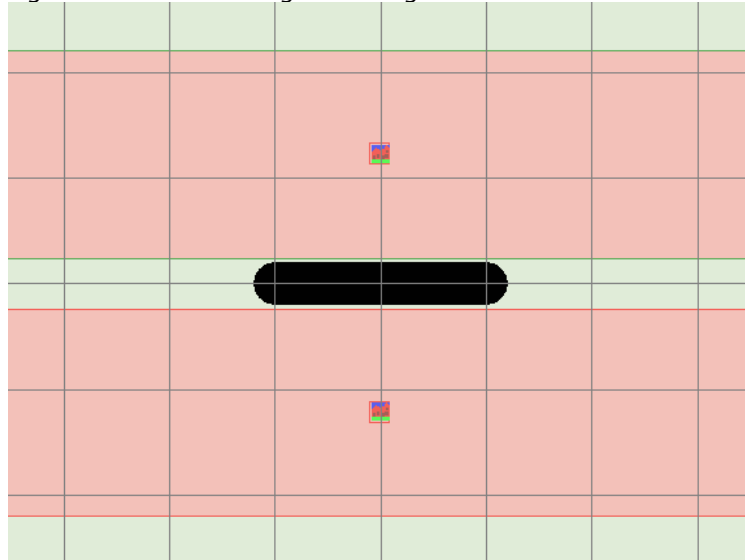
Tabel 1-32 laat zien dat gezien de waargenomen aantallen een plaatsgebonden risiconiveau 10^{-6} per jaar normaliter langs vaarwegen niet wordt bereikt.

1.4.5.2 Groepsrisico

Het groepsrisico is berekend voor een kilometer vaarweglengte met een gevuld bevolkingsgebied aan één zijde of aan weerszijden van het baanvak zoals weergegeven in Figuur 1-10. De overige variabelen zijn vermeld in Tabel 1-33.

⁷ ew: enkelwandig, dw: dubbelwandig.

Figuur 1-10 Modelleren bevolking en route.



In de basisberekening is uitgegaan van 1000 transporten per jaar. Van de berekende groepsrisicocurven is de normwaarde ten opzichte van de oriëntatiewaarde bepaald als

$$NW = \frac{MAX(FN^2)}{0.01}$$

Met deze uitkomst is het aantal per jaar bepaald dat voldoende is om de oriëntatiewaarde te bereiken als

$$DR_{1000} = \frac{1000}{NW}$$

De drempelwaarden voor andere aanwezigheidsdichtheden zijn teruggerekend met

$$DR_{ad} = DR_{1000} * \left(\frac{1000}{ad}\right)^2$$

Waarin *ad* de gevraagde aanwezigheidsdichtheid is.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor afstanden van de bebouwing tot de oever van de vaarweg tussen 10 en 200 m.

Tabel 1-33 Waarden toegepast in basisberekening groepsrisico.

Variabele	Waarde
Software	RBM 1.3.0 build 247 d.d. 30-10-2008
Vaarwegtype	Bevaarbaarheidsklasse 6, 5 en 4
Breedte	200, 100 en 50 m
Ongevalsequentie	Default
Meteo	RIVM Homogeen
Stofcategorieën/ scheepstypen	LF2: ew en dw, GF2: gas druk, GF3 gas druk, GT3: gas druk en semi gekoeld, LT1: dw, LT2: dw
Aantal per jaar	1000
Bevolkingstype	Woonbebouwing
Afstand tot de oever van de vaarweg	10, 20, 30200 m
Diepte gebied	1 km
Aanwezigheidsdichtheid	1000/ha
Aanwezigheidsfractie dag	50%
Aanwezigheidsfractie nacht	100%
Fractie buiten dag	7%
Fractie buiten nacht	1%

Alleen als GT3 of LT2 in de vervoersstroom aanwezig zijn is er een mogelijkheid dat het groepsrisico in de buurt komt van 10% van de oriëntatiewaarde. Tabel 1-34 laat zien dat in de orde van 1000 tankschepen per jaar en een dichtheid dicht op de oever in de orde van 500 /ha nodig zijn om dit niveau te bereiken. Het groepsrisico van LT2 en GT3 is van vergelijkbare grootte.

Tabel 1-34 Drempelwaarden GT3-vervoer voor overschrijding 10% van de oriëntatiewaarde, bevaarbaarheidsklasse 6, tweezijdige bebouwing.

Dicht- heid /ha	Afstand tot de oever van de vaarweg (m)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
10	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-
200	10930	12430	13780	15360	18610	-	-	-
300	4860	5520	6120	6830	8270	9230	11470	12790
400	2730	3110	3440	3840	4650	5190	6450	7190
500	1750	1990	2200	2460	2980	3320	4130	4600
600	1210	1380	1530	1710	2070	2310	2870	3200
700	890	1010	1120	1250	1520	1690	2110	2350
800	680	780	860	960	1160	1300	1610	1800
900	540	610	680	760	920	1030	1270	1420
1000	440	500	550	610	740	830	1030	1150

-: meer dan twee maal het maximaal waargenomen aantal vervoerseenheden per jaar nodig

2 Bijlage: Meteorologische gegevens

Meteorologische gegevens, zoals windrichting, windsnelheid en stabiliteit, worden vaak uitgedrukt als frequenties of aantallen waarnemingen. Om de benodigde rekentijd in de QRA te reduceren is het raadzaam de gegevens in een beperkt aantal representatieve weerscategorieën, gedefinieerd door de stabiliteit en de windsnelheid, in te delen.

In de hierop volgende tabellen is per weerstation de verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht gegeven. De kansen zijn ontleend aan PSG 3 (CPR 18, Paarse Boek, blz. 4.21 t/m 4.40) 7]. Het betreft bewerkte gegevens uit 8].

Tabel 2-1 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Beek.

Beek							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Total
346-015	2.01	0.99	2.01	0.72	0.00	0.00	5.73
016-045	2.39	0.69	1.96	1.13	0.00	0.00	6.17
046-075	3.33	0.80	2.21	1.91	0.00	0.00	8.26
076-105	2.25	0.64	1.66	2.21	0.00	0.00	6.76
106-135	0.97	0.49	0.64	0.28	0.00	0.00	2.38
136-165	0.96	0.54	0.92	0.56	0.00	0.00	2.97
166-195	1.91	0.88	2.67	2.78	0.00	0.00	8.24
196-225	3.03	1.53	5.88	7.10	0.00	0.00	17.54
226-255	3.49	2.27	7.89	6.31	0.00	0.00	19.96
256-285	2.29	1.82	4.54	2.45	0.00	0.00	11.11
286-315	1.20	1.19	2.44	1.25	0.00	0.00	6.07
316-345	1.28	0.99	1.80	0.76	0.00	0.00	4.84
Total	25.11	12.83	34.61	27.46	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Total
346-015	0.00	0.88	1.33	0.39	0.60	1.04	4.24
016-045	0.00	0.79	1.84	0.77	1.06	1.21	5.67
046-075	0.00	0.94	2.00	1.15	1.79	1.83	7.69
076-105	0.00	0.77	1.87	1.22	1.76	1.61	7.23
106-135	0.00	0.72	1.13	0.26	0.96	1.49	4.56
136-165	0.00	0.93	1.50	0.64	1.11	1.89	6.07
166-195	0.00	1.41	5.01	3.64	2.51	2.32	14.88
196-225	0.00	2.14	7.38	6.99	2.56	2.11	21.18
226-255	0.00	2.49	5.46	3.80	1.08	1.61	14.44
256-285	0.00	1.78	2.66	1.06	0.45	1.15	7.10
286-315	0.00	1.13	1.36	0.40	0.25	0.77	3.91
316-345	0.00	0.84	0.98	0.19	0.25	0.80	3.05
Total	0.00	14.80	32.51	20.48	14.38	17.83	100.00

Tabel 2-2 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Deelen.

Deelen							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.17	1.18	1.51	0.84	0.00	0.00	4.70
016-045	2.09	1.49	1.39	0.65	0.00	0.00	5.62
046-075	3.21	1.57	2.14	1.64	0.00	0.00	8.55
076-105	2.89	1.17	1.92	1.63	0.00	0.00	7.61
106-135	2.07	0.91	1.41	0.77	0.00	0.00	5.16
136-165	1.88	1.27	2.07	1.23	0.00	0.00	6.44
166-195	1.36	1.53	2.67	2.07	0.00	0.00	7.63
196-225	1.60	1.89	4.64	4.48	0.00	0.00	12.60
226-255	1.66	1.76	4.87	6.39	0.00	0.00	14.67
256-285	1.09	1.39	3.63	5.01	0.00	0.00	11.12
286-315	1.20	1.26	3.07	3.42	0.00	0.00	8.95
316-345	1.32	1.20	2.13	2.30	0.00	0.00	6.95
Totaal	21.54	16.61	31.44	30.43	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.37	0.71	0.19	0.30	2.35	4.91
016-045	0.00	1.50	1.10	0.47	0.64	2.76	6.47
046-075	0.00	1.84	2.68	1.45	2.18	3.35	11.50
076-105	0.00	1.38	2.27	1.01	1.73	3.49	9.88
106-135	0.00	1.66	1.51	0.41	1.23	4.20	9.01
136-165	0.00	1.54	1.88	1.04	0.62	2.39	7.47
166-195	0.00	1.72	2.28	1.75	0.45	1.53	7.73
196-225	0.00	2.12	3.76	3.49	0.87	2.13	12.36
226-255	0.00	1.97	3.74	4.26	0.80	1.69	12.45
256-285	0.00	1.60	2.55	2.26	0.61	1.38	8.40
286-315	0.00	1.37	1.32	0.99	0.29	1.20	5.16
316-345	0.00	1.33	0.92	0.42	0.21	1.78	4.66
Totaal	0.00	19.39	24.71	17.74	9.92	28.25	100.00

Tabel 2-3 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Den Helder.

Den Helder							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.52	0.25	1.10	4.81	0.00	0.00	6.68
016-045	0.71	0.28	1.02	4.34	0.00	0.00	6.36
046-075	1.80	0.37	1.69	5.01	0.00	0.00	8.87
076-105	1.43	0.36	1.93	3.38	0.00	0.00	7.10
106-135	0.96	0.40	1.43	1.37	0.00	0.00	4.15
136-165	0.73	0.52	1.36	0.49	0.00	0.00	3.10
166-195	1.21	0.71	2.59	3.26	0.00	0.00	7.77
196-225	0.73	0.46	1.98	11.30	0.00	0.00	14.47
226-255	1.17	0.38	2.32	9.79	0.00	0.00	13.67
256-285	1.29	0.44	1.91	7.28	0.00	0.00	10.92
286-315	1.20	0.37	1.32	5.13	0.00	0.00	8.02
316-345	1.09	0.36	1.43	6.03	0.00	0.00	8.91
Totaal	12.83	4.90	20.08	62.20	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.36	2.01	4.04	0.81	0.47	7.70
016-045	0.00	0.34	1.56	2.85	0.63	0.49	5.86
046-075	0.00	0.20	0.84	3.78	0.30	0.27	5.38
076-105	0.00	0.41	2.36	4.80	1.07	0.49	9.14
106-135	0.00	0.58	2.06	1.67	1.06	0.78	6.15
136-165	0.00	0.95	2.02	0.61	1.04	1.13	5.75
166-195	0.00	1.31	4.66	4.06	2.22	1.39	13.63
196-225	0.00	0.53	2.04	9.04	0.71	0.77	13.08
226-255	0.00	0.30	1.76	7.28	0.46	0.38	10.17
256-285	0.00	0.32	1.56	7.09	0.44	0.31	9.71
286-315	0.00	0.20	0.98	4.89	0.30	0.24	6.61
316-345	0.00	0.24	1.06	4.98	0.28	0.25	6.82
Totaal	0.00	5.75	22.89	55.08	9.31	6.97	100.00

Tabel 2-4 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Eelde.

Eelde							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.80	0.89	1.80	0.96	0.00	0.00	5.44
016-045	2.38	1.05	1.71	1.11	0.00	0.00	6.25
046-075	2.56	0.97	2.03	1.93	0.00	0.00	7.49
076-105	2.63	1.05	2.09	2.06	0.00	0.00	7.83
106-135	2.15	0.91	1.68	1.46	0.00	0.00	6.20
136-165	1.23	0.83	1.40	0.82	0.00	0.00	4.28
166-195	1.52	1.06	2.54	2.22	0.00	0.00	7.35
196-225	1.67	1.17	3.88	5.47	0.00	0.00	12.18
226-255	1.59	1.10	3.92	7.87	0.00	0.00	14.48
256-285	1.90	1.12	3.57	6.11	0.00	0.00	12.69
286-315	1.52	1.03	2.88	3.41	0.00	0.00	8.84
316-345	1.50	0.91	2.34	2.22	0.00	0.00	6.98
Totaal	22.43	12.09	29.85	35.63	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.91	0.74	0.29	0.33	1.35	3.62
016-045	0.00	1.19	0.99	0.32	0.66	2.25	5.41
046-075	0.00	1.15	2.00	1.43	1.34	2.84	8.76
076-105	0.00	1.22	2.22	1.51	1.54	2.65	9.15
106-135	0.00	1.41	1.77	0.98	0.90	2.22	7.27
136-165	0.00	1.24	1.45	0.74	0.54	1.67	5.63
166-195	0.00	1.49	2.68	2.04	0.94	2.01	9.16
196-225	0.00	1.76	4.59	4.52	1.64	2.55	15.07
226-255	0.00	1.52	3.96	5.15	1.57	2.34	14.54
256-285	0.00	1.71	2.80	2.68	1.12	2.56	10.87
286-315	0.00	1.40	1.53	1.19	0.42	1.84	6.38
316-345	0.00	0.90	1.14	0.64	0.28	1.20	4.15
Totaal	0.00	15.90	25.87	21.49	11.27	25.47	100.00

Tabel 2-5 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Eindhoven.

Eindhoven							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.76	1.03	1.88	1.39	0.00	0.00	6.06
016-045	2.28	1.28	1.93	1.04	0.00	0.00	6.53
046-075	2.91	0.92	2.08	1.77	0.00	0.00	7.69
076-105	2.41	0.81	1.57	1.55	0.00	0.00	6.34
106-135	1.90	0.81	1.57	1.13	0.00	0.00	5.41
136-165	1.56	1.07	1.36	0.57	0.00	0.00	4.56
166-195	1.43	1.20	2.36	2.07	0.00	0.00	7.06
196-225	1.58	1.41	3.82	6.28	0.00	0.00	13.08
226-255	1.73	1.50	4.86	9.23	0.00	0.00	17.32
256-285	1.24	1.30	3.51	5.76	0.00	0.00	11.81
286-315	1.12	0.86	2.35	3.23	0.00	0.00	7.56
316-345	1.23	0.94	2.10	2.31	0.00	0.00	6.58
Totaal	21.15	13.14	29.39	36.32	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.83	1.00	0.42	0.60	1.84	4.69
016-045	0.00	1.40	1.44	0.60	0.95	2.73	7.11
046-075	0.00	1.14	2.00	1.03	1.53	2.90	8.61
076-105	0.00	0.80	1.47	1.04	1.17	1.83	6.31
106-135	0.00	1.27	1.60	0.80	1.00	2.38	7.05
136-165	0.00	1.54	1.69	0.56	0.81	2.46	7.05
166-195	0.00	1.80	2.56	1.75	0.88	2.47	9.45
196-225	0.00	1.89	4.05	5.10	1.33	2.41	14.77
226-255	0.00	1.76	4.41	6.31	1.22	1.78	15.49
256-285	0.00	1.48	2.54	2.82	0.82	1.68	9.33
286-315	0.00	1.08	1.39	1.04	0.49	1.45	5.45
316-345	0.00	0.87	1.15	0.56	0.39	1.71	4.69
Totaal	0.00	15.84	25.29	22.04	11.20	25.63	100.00

Tabel 2-6 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Gilze-Rijen.

Gilze-Rijen							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	2.06	1.24	2.11	0.98	0.00	0.00	6.39
016-045	2.90	1.35	2.37	1.51	0.00	0.00	8.14
046-075	2.67	0.94	2.07	2.30	0.00	0.00	7.98
076-105	1.53	0.66	1.33	1.72	0.00	0.00	5.24
106-135	1.46	0.68	1.31	1.06	0.00	0.00	4.51
136-165	1.20	0.81	1.44	0.70	0.00	0.00	4.14
166-195	1.18	0.97	2.50	2.51	0.00	0.00	7.16
196-225	1.74	1.45	4.70	5.71	0.00	0.00	13.60
226-255	2.01	1.67	5.14	7.20	0.00	0.00	16.01
256-285	1.99	1.63	4.02	5.10	0.00	0.00	12.74
286-315	1.55	1.41	3.14	2.24	0.00	0.00	8.34
316-345	1.30	1.05	2.22	1.17	0.00	0.00	5.74
Totaal	21.59	13.87	32.34	32.20	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.36	1.06	0.30	0.96	3.02	6.70
016-045	0.00	1.43	1.62	0.65	1.29	3.47	8.45
046-075	0.00	1.06	1.81	1.32	1.24	2.37	7.79
076-105	0.00	0.72	1.00	0.85	0.62	1.20	4.38
106-135	0.00	0.91	1.30	0.62	0.65	1.47	4.94
136-165	0.00	1.08	1.43	0.66	0.64	1.98	5.79
166-195	0.00	1.43	2.93	2.20	1.06	1.92	9.54
196-225	0.00	2.21	4.58	4.47	1.66	2.87	15.79
226-255	0.00	2.40	4.44	4.96	1.69	3.33	16.81
256-285	0.00	2.02	2.24	1.95	0.81	2.98	9.99
286-315	0.00	1.44	1.37	0.60	0.41	1.88	5.70
316-345	0.00	1.05	0.80	0.25	0.35	1.67	4.13
Totaal	0.00	17.10	24.56	18.81	11.37	28.16	100.00

Tabel 2-7 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Hoek van Holland.

Hoek van Holland							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	2.36	0.67	2.75	5.01	0.00	0.00	10.79
016-045	1.18	0.49	1.77	2.33	0.00	0.00	5.77
046-075	1.25	0.70	1.71	1.61	0.00	0.00	5.26
076-105	2.86	0.99	2.24	1.77	0.00	0.00	7.85
106-135	1.35	0.60	1.38	1.14	0.00	0.00	4.47
136-165	1.60	0.79	1.81	1.56	0.00	0.00	5.77
166-195	1.00	0.70	2.46	3.77	0.00	0.00	7.92
196-225	0.62	0.47	1.97	6.31	0.00	0.00	9.37
226-255	1.25	0.48	2.42	11.38	0.00	0.00	15.53
256-285	2.01	0.65	2.51	6.12	0.00	0.00	11.29
286-315	1.63	0.69	1.82	3.91	0.00	0.00	8.05
316-345	1.69	0.64	1.85	3.77	0.00	0.00	7.94
Totaal	18.77	7.87	24.69	48.66	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.44	1.48	2.73	0.43	0.49	5.57
016-045	0.00	0.84	1.82	1.58	1.23	1.09	6.57
046-075	0.00	1.32	2.37	1.67	1.82	2.25	9.42
076-105	0.00	1.67	2.92	1.31	2.92	2.77	11.58
106-135	0.00	0.77	1.62	0.90	0.95	1.34	5.56
136-165	0.00	0.87	2.30	1.70	0.85	1.23	6.96
166-195	0.00	1.06	3.37	4.14	1.23	1.26	11.07
196-225	0.00	0.51	2.31	6.55	0.63	0.57	10.58
226-255	0.00	0.39	1.94	8.50	0.54	0.46	11.82
256-285	0.00	0.46	1.80	5.41	0.35	0.38	8.39
286-315	0.00	0.36	1.33	4.41	0.30	0.43	6.82
316-345	0.00	0.37	1.33	3.28	0.32	0.39	5.68
Totaal	0.00	9.07	24.56	42.18	11.54	12.65	100.00

Tabel 2-8 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Ijmuiden

Ijmuiden							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.87	0.48	1.80	3.94	0.00	0.00	7.09
016-045	0.71	0.41	1.57	1.84	0.00	0.00	4.53
046-075	1.15	0.37	1.59	3.10	0.00	0.00	6.21
076-105	2.11	0.54	2.74	4.39	0.00	0.00	9.77
106-135	1.25	0.65	1.62	1.60	0.00	0.00	5.11
136-165	0.86	0.67	1.96	2.04	0.00	0.00	5.51
166-195	0.58	0.58	1.99	2.99	0.00	0.00	6.13
196-225	0.91	0.52	2.31	8.06	0.00	0.00	11.80
226-255	1.65	0.57	2.65	9.95	0.00	0.00	14.82
256-285	1.50	0.55	2.08	7.11	0.00	0.00	11.24
286-315	1.24	0.51	1.83	5.29	0.00	0.00	8.86
316-345	1.41	0.49	2.16	4.85	0.00	0.00	8.91
Totaal	14.23	6.33	24.29	55.15	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.56	1.39	1.69	0.48	0.45	4.58
016-045	0.00	0.73	2.59	1.70	1.35	0.80	7.17
046-075	0.00	0.40	1.76	3.11	1.05	0.69	7.02
076-105	0.00	0.85	3.47	4.35	2.42	1.37	12.45
106-135	0.00	1.09	2.28	1.48	1.33	1.15	7.33
136-165	0.00	1.11	3.05	2.32	1.39	1.23	9.09
166-195	0.00	0.97	2.80	3.62	1.19	0.88	9.45
196-225	0.00	0.36	1.77	6.89	0.53	0.42	9.96
226-255	0.00	0.31	1.55	8.04	0.37	0.40	10.67
256-285	0.00	0.25	1.45	6.91	0.40	0.32	9.32
286-315	0.00	0.26	1.17	5.36	0.30	0.26	7.34
316-345	0.00	0.29	1.14	3.71	0.23	0.27	5.63
Totaal	0.00	7.18	24.40	49.17	11.03	8.23	100.00

Tabel 2-9 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Leeuwarden.

Leeuwarden							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.42	0.77	2.07	1.87	0.00	0.00	6.13
016-045	1.92	0.84	2.13	2.33	0.00	0.00	7.22
046-075	1.84	0.88	1.88	2.48	0.00	0.00	7.08
076-105	2.23	0.97	1.91	2.58	0.00	0.00	7.69
106-135	1.25	0.74	1.45	1.02	0.00	0.00	4.45
136-165	1.13	0.82	1.74	0.92	0.00	0.00	4.62
166-195	1.77	1.45	2.93	2.56	0.00	0.00	8.70
196-225	1.70	1.50	3.89	5.91	0.00	0.00	13.00
226-255	1.47	1.17	3.37	6.87	0.00	0.00	12.87
256-285	1.49	0.91	2.93	6.75	0.00	0.00	12.09
286-315	1.12	0.69	2.10	4.28	0.00	0.00	8.19
316-345	1.28	0.68	2.35	3.66	0.00	0.00	7.96
Totaal	18.63	11.42	28.75	41.21	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.85	1.17	0.76	0.47	1.23	4.48
016-045	0.00	1.02	1.28	0.72	0.71	1.63	5.36
046-075	0.00	1.15	1.74	1.43	1.27	2.33	7.92
076-105	0.00	1.17	2.19	2.08	1.77	2.48	9.68
106-135	0.00	0.87	1.73	1.05	0.99	1.38	6.03
136-165	0.00	1.08	2.20	1.07	0.82	1.21	6.37
166-195	0.00	1.85	3.52	2.40	1.73	2.74	12.23
196-225	0.00	2.00	4.05	4.84	1.72	3.10	15.71
226-255	0.00	1.40	2.82	3.78	1.03	2.09	11.11
256-285	0.00	1.10	2.10	3.26	0.84	1.55	8.85
286-315	0.00	0.87	1.61	2.40	0.70	1.03	6.60
316-345	0.00	0.90	1.46	1.79	0.44	1.06	5.65
Totaal	0.00	14.25	25.87	25.57	12.50	21.82	100.00

Tabel 2-10 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Rotterdam.

Rotterdam							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	2.17	0.84	2.26	1.88	0.00	0.00	7.16
016-045	1.97	0.84	1.62	1.42	0.00	0.00	5.85
046-075	2.86	0.85	2.13	2.23	0.00	0.00	8.07
076-105	2.91	0.84	2.02	1.89	0.00	0.00	7.66
106-135	1.58	0.52	1.40	0.93	0.00	0.00	4.43
136-165	1.31	0.88	1.61	0.81	0.00	0.00	4.60
166-195	1.66	1.19	3.26	2.44	0.00	0.00	8.54
196-225	1.64	1.08	3.76	4.86	0.00	0.00	11.34
226-255	2.04	1.31	3.86	7.11	0.00	0.00	14.33
256-285	2.75	1.36	4.09	4.38	0.00	0.00	12.57
286-315	2.40	0.87	2.74	2.88	0.00	0.00	8.90
316-345	1.22	0.61	2.01	2.72	0.00	0.00	6.57
Totaal	24.50	11.19	30.76	33.55	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.19	1.13	0.46	0.54	2.44	5.76
016-045	0.00	1.20	1.30	0.61	0.77	2.66	6.53
046-075	0.00	1.17	2.26	1.67	1.52	2.96	9.58
076-105	0.00	1.22	1.83	1.01	1.20	2.26	7.51
106-135	0.00	0.79	1.30	0.53	0.71	1.42	4.75
136-165	0.00	1.19	2.08	0.80	0.74	1.50	6.31
166-195	0.00	1.55	3.75	2.37	1.15	2.10	10.91
196-225	0.00	1.49	3.62	4.79	1.26	2.50	13.65
226-255	0.00	1.93	3.81	4.76	1.15	3.30	14.96
256-285	0.00	1.66	2.26	1.96	0.88	2.24	8.99
286-315	0.00	0.94	1.51	1.78	0.53	1.45	6.20
316-345	0.00	0.86	1.23	1.13	0.41	1.22	4.86
Totaal	0.00	15.19	26.06	21.87	10.85	26.04	100.00

Tabel 2-11 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Schiphol

Schiphol							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.25	0.62	1.84	2.63	0.00	0.00	6.33
016-045	1.23	0.45	1.50	2.44	0.00	0.00	5.62
046-075	2.09	0.62	2.36	4.12	0.00	0.00	9.18
076-105	2.01	0.69	1.86	1.88	0.00	0.00	6.45
106-135	1.32	0.54	1.35	0.95	0.00	0.00	4.15
136-165	1.30	0.76	2.00	1.56	0.00	0.00	5.62
166-195	1.49	0.94	2.85	3.04	0.00	0.00	8.33
196-225	1.19	0.83	3.24	6.26	0.00	0.00	11.51
226-255	1.23	0.78	2.62	9.44	0.00	0.00	14.07
256-285	1.58	0.75	3.01	7.52	0.00	0.00	12.86
286-315	1.21	0.61	2.02	4.46	0.00	0.00	8.31
316-345	1.23	0.60	1.93	3.82	0.00	0.00	7.58
Totaal	17.12	8.17	26.59	48.12	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.83	1.60	1.03	0.83	1.87	6.15
016-045	0.00	0.55	1.24	1.33	0.69	1.04	4.84
046-075	0.00	0.75	2.15	3.11	1.21	1.27	8.49
076-105	0.00	0.90	2.42	2.20	1.63	1.53	8.68
106-135	0.00	0.86	1.60	0.67	0.83	1.36	5.32
136-165	0.00	1.14	2.74	1.81	1.27	1.61	8.57
166-195	0.00	1.51	3.76	2.99	1.31	2.10	11.66
196-225	0.00	1.19	4.14	5.99	1.38	1.36	14.06
226-255	0.00	1.24	2.66	5.28	1.01	1.75	11.94
256-285	0.00	0.96	1.77	3.60	0.67	1.26	8.26
286-315	0.00	0.73	1.35	2.36	0.49	1.03	5.96
316-345	0.00	0.86	1.65	1.48	0.62	1.46	6.06
Totaal	0.00	11.52	27.07	31.85	11.91	17.65	100.00

Tabel 2-12 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Soesterberg.

Soesterberg							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.99	1.49	2.59	1.53	0.00	0.00	7.60
016-045	3.75	1.74	2.86	1.44	0.00	0.00	9.79
046-075	2.16	1.18	1.67	1.02	0.00	0.00	6.03
076-105	2.33	1.11	1.61	1.20	0.00	0.00	6.25
106-135	1.62	0.98	1.35	0.48	0.00	0.00	4.43
136-165	1.33	1.34	1.76	0.57	0.00	0.00	5.01
166-195	1.51	2.03	3.01	1.19	0.00	0.00	7.74
196-225	1.65	2.45	5.37	3.53	0.00	0.00	13.00
226-255	1.39	1.59	4.70	5.15	0.00	0.00	12.83
256-285	1.51	1.58	3.82	4.84	0.00	0.00	11.76
286-315	1.64	1.25	3.99	2.73	0.00	0.00	9.62
316-345	1.04	1.13	2.16	1.64	0.00	0.00	5.96
Totaal	21.93	17.85	34.91	25.32	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.42	0.98	0.25	0.37	2.24	5.26
016-045	0.00	2.24	1.98	0.52	1.26	4.07	10.07
046-075	0.00	1.44	1.67	0.67	1.13	2.96	7.87
076-105	0.00	1.50	1.66	0.67	1.41	3.27	8.50
106-135	0.00	1.39	0.97	0.21	0.52	2.58	5.67
136-165	0.00	2.00	1.77	0.59	0.54	3.08	7.97
166-195	0.00	3.13	2.72	1.05	0.75	3.57	11.23
196-225	0.00	3.01	4.27	2.67	0.97	3.02	13.93
226-255	0.00	2.04	3.53	3.33	0.74	1.82	11.46
256-285	0.00	1.85	2.15	1.83	0.62	1.90	8.34
286-315	0.00	1.31	1.24	0.68	0.35	1.64	5.22
316-345	0.00	1.17	1.12	0.42	0.21	1.55	4.48
Totaal	0.00	22.49	24.07	12.88	8.88	31.69	100.00

Tabel 2-13 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Twente.

Twente							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.75	1.38	1.60	0.70	0.00	0.00	5.43
016-045	2.38	1.38	1.64	0.36	0.00	0.00	5.77
046-075	3.19	1.46	2.07	0.86	0.00	0.00	7.59
076-105	3.36	1.50	1.85	0.81	0.00	0.00	7.52
106-135	2.45	1.45	1.29	0.25	0.00	0.00	5.43
136-165	1.67	1.30	1.11	0.20	0.00	0.00	4.29
166-195	1.80	1.63	2.93	1.26	0.00	0.00	7.63
196-225	2.56	2.72	6.86	5.12	0.00	0.00	17.25
226-255	1.97	2.05	5.53	4.90	0.00	0.00	14.45
256-285	1.36	1.51	3.22	3.30	0.00	0.00	9.38
286-315	1.46	1.41	3.02	2.72	0.00	0.00	8.60
316-345	1.63	1.48	2.26	1.30	0.00	0.00	6.67
Totaal	25.59	19.25	33.38	21.78	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.07	0.69	0.18	0.27	1.46	3.66
016-045	0.00	1.48	1.16	0.14	0.61	2.66	6.04
046-075	0.00	1.81	2.00	0.54	1.67	3.39	9.41
076-105	0.00	1.73	1.86	0.61	1.94	3.24	9.39
106-135	0.00	1.71	1.18	0.16	1.25	2.88	7.18
136-165	0.00	1.60	1.15	0.22	0.60	2.49	6.06
166-195	0.00	2.26	3.21	1.13	1.47	3.03	11.10
196-225	0.00	3.19	5.98	4.32	1.73	3.35	18.57
226-255	0.00	2.21	4.09	3.40	0.99	1.99	12.68
256-285	0.00	1.46	2.06	1.57	0.52	1.51	7.12
286-315	0.00	1.38	1.30	0.84	0.35	1.37	5.24
316-345	0.00	1.10	0.88	0.28	0.17	1.12	3.56
Totaal	0.00	21.03	25.56	13.37	11.56	28.48	100.00

Tabel 2-14 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Valkenburg.

Valkenburg							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.93	0.65	2.40	4.32	0.00	0.00	9.30
016-045	1.26	0.75	1.59	1.61	0.00	0.00	5.20
046-075	1.93	0.81	2.01	2.87	0.00	0.00	7.62
076-105	1.89	0.72	1.79	1.99	0.00	0.00	6.39
106-135	1.16	0.51	1.26	1.39	0.00	0.00	4.32
136-165	1.44	0.78	1.76	1.57	0.00	0.00	5.56
166-195	1.32	0.96	2.12	2.43	0.00	0.00	6.84
196-225	0.76	0.85	2.74	5.24	0.00	0.00	9.59
226-255	1.00	0.79	3.01	9.86	0.00	0.00	14.66
256-285	2.13	0.99	3.94	6.77	0.00	0.00	13.83
286-315	1.71	0.76	2.38	3.96	0.00	0.00	8.81
316-345	1.58	0.65	2.11	3.55	0.00	0.00	7.89
Totaal	18.11	9.23	27.10	45.57	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.70	1.43	1.63	0.52	1.59	5.86
016-045	0.00	1.33	1.87	1.13	1.14	3.42	8.88
046-075	0.00	1.21	2.07	1.92	1.30	2.72	9.21
076-105	0.00	0.89	1.77	1.66	1.02	2.03	7.36
106-135	0.00	0.61	1.10	0.87	0.38	0.90	3.86
136-165	0.00	1.43	1.95	1.27	0.76	2.69	8.09
166-195	0.00	1.67	2.30	2.26	0.68	3.28	10.20
196-225	0.00	1.30	2.92	5.10	0.71	2.17	12.21
226-255	0.00	1.03	2.67	6.60	0.59	1.56	12.45
256-285	0.00	0.96	2.32	4.45	0.59	1.19	9.52
286-315	0.00	0.62	1.51	3.24	0.35	0.90	6.62
316-345	0.00	0.58	1.42	2.51	0.36	0.88	5.74
Totaal	0.00	12.34	23.33	32.63	8.38	23.32	100.00

Tabel 2-15 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Vlissingen.

Vlissingen							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	2.10	0.64	2.44	2.80	0.00	0.00	7.98
016-045	2.31	0.76	2.16	2.23	0.00	0.00	7.46
046-075	1.89	0.58	1.86	2.62	0.00	0.00	6.95
076-105	2.28	0.54	1.52	1.49	0.00	0.00	5.82
106-135	1.91	0.58	1.41	0.99	0.00	0.00	4.89
136-165	1.23	0.50	1.36	1.18	0.00	0.00	4.28
166-195	1.19	0.51	2.22	3.99	0.00	0.00	7.91
196-225	1.19	0.54	2.60	6.72	0.00	0.00	11.04
226-255	1.71	0.66	2.47	9.42	0.00	0.00	14.26
256-285	2.84	0.68	3.56	8.42	0.00	0.00	15.50
286-315	1.36	0.56	2.02	2.93	0.00	0.00	6.86
316-345	1.57	0.63	2.19	2.68	0.00	0.00	7.07
Totaal	21.56	7.18	25.80	45.46	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	0.86	1.57	0.86	0.89	1.62	5.79
016-045	0.00	1.19	2.24	1.47	2.02	2.45	9.37
046-075	0.00	1.02	2.61	2.05	2.12	1.77	9.56
076-105	0.00	0.62	1.55	1.49	0.98	1.22	5.86
106-135	0.00	0.48	1.34	1.09	0.60	0.82	4.34
136-165	0.00	0.54	2.04	1.68	0.73	0.78	5.76
166-195	0.00	0.66	3.10	5.00	0.83	0.81	10.39
196-225	0.00	0.68	3.92	8.58	1.15	1.04	15.38
226-255	0.00	0.58	2.80	7.94	0.92	0.83	13.07
256-285	0.00	0.61	1.72	3.90	0.51	0.81	7.54
286-315	0.00	0.72	1.69	2.63	0.70	1.16	6.89
316-345	0.00	0.94	1.65	1.11	0.69	1.67	6.06
Totaal	0.00	8.89	26.24	37.79	12.12	14.96	100.00

Tabel 2-16 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Volkel.

Volkel							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	2.11	1.38	1.91	0.94	0.00	0.00	6.34
016-045	2.23	1.22	1.65	1.06	0.00	0.00	6.15
046-075	3.02	1.08	1.95	2.03	0.00	0.00	8.08
076-105	2.50	0.92	1.49	1.41	0.00	0.00	6.31
106-135	1.76	0.76	1.18	0.79	0.00	0.00	4.49
136-165	1.50	1.04	1.45	0.95	0.00	0.00	4.94
166-195	1.60	1.61	2.56	1.91	0.00	0.00	7.68
196-225	2.12	2.18	4.35	4.79	0.00	0.00	13.43
226-255	2.45	2.37	5.90	6.24	0.00	0.00	16.95
256-285	2.00	2.11	4.24	3.97	0.00	0.00	12.33
286-315	1.59	1.48	2.70	1.94	0.00	0.00	7.71
316-345	1.32	1.21	1.94	1.10	0.00	0.00	5.58
Totaal	24.21	17.36	31.32	27.11	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.30	0.86	0.27	0.57	2.88	5.87
016-045	0.00	1.35	1.32	0.61	0.82	3.27	7.37
046-075	0.00	1.20	1.80	1.28	1.41	2.96	8.65
076-105	0.00	1.17	1.45	0.82	1.00	2.52	6.95
106-135	0.00	1.02	0.96	0.35	0.50	1.84	4.67
136-165	0.00	1.26	1.53	0.76	0.57	1.93	6.04
166-195	0.00	2.16	2.59	1.48	0.92	2.41	9.57
196-225	0.00	2.48	4.08	3.72	1.42	3.29	14.98
226-255	0.00	2.61	4.61	4.15	1.43	2.85	15.65
256-285	0.00	1.97	2.42	1.91	0.86	2.73	9.89
286-315	0.00	1.60	1.30	0.59	0.42	2.25	6.15
316-345	0.00	1.14	0.72	0.21	0.31	1.84	4.22
Totaal	0.00	19.24	23.64	16.13	10.22	30.77	100.00

Tabel 2-17 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Woensdrecht.

Woensdrecht							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.36	1.03	1.88	0.79	0.00	0.00	5.06
016-045	2.09	1.07	2.62	1.34	0.00	0.00	7.11
046-075	3.29	1.21	2.44	1.94	0.00	0.00	8.88
076-105	3.32	1.32	1.78	0.98	0.00	0.00	7.39
106-135	1.01	0.91	0.78	0.18	0.00	0.00	2.88
136-165	1.03	1.39	1.06	0.15	0.00	0.00	3.63
166-195	1.46	2.08	3.15	1.19	0.00	0.00	7.88
196-225	2.16	2.71	7.08	4.06	0.00	0.00	16.01
226-255	1.83	1.99	5.39	5.55	0.00	0.00	14.76
256-285	2.36	1.64	3.63	4.72	0.00	0.00	12.34
286-315	2.17	1.46	3.10	1.86	0.00	0.00	8.59
316-345	1.18	1.05	2.14	1.09	0.00	0.00	5.47
Totaal	23.24	17.87	35.05	23.83	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.16	0.72	0.14	0.28	1.95	4.25
016-045	0.00	1.51	1.55	0.64	1.11	2.93	7.74
046-075	0.00	1.67	2.41	1.38	1.88	4.10	11.44
076-105	0.00	1.81	1.20	0.47	0.95	4.04	8.46
106-135	0.00	1.70	0.58	0.09	0.19	2.30	4.87
136-165	0.00	1.88	0.81	0.08	0.23	2.44	5.43
166-195	0.00	3.02	3.00	1.18	0.76	3.25	11.21
196-225	0.00	3.62	5.80	3.21	1.78	4.00	18.40
226-255	0.00	2.36	4.46	3.18	1.05	2.44	13.48
256-285	0.00	1.14	1.55	1.68	0.40	1.21	5.97
286-315	0.00	1.17	1.20	0.72	0.38	1.38	4.85
316-345	0.00	1.22	0.84	0.25	0.18	1.42	3.91
Totaal	0.00	22.24	24.12	13.02	9.19	31.44	100.00

Tabel 2-18 Verdeling over de windrichting en weerklasse (windsnelheid en Pasquill stabiliteitsklasse) voor de meteorologische dag en nacht voor weerstation Ypenburg.

Ypenburg							
Dag	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	1.71	0.95	2.41	2.58	0.00	0.00	7.65
016-045	1.65	1.00	1.81	1.33	0.00	0.00	5.78
046-075	2.72	1.14	2.36	2.82	0.00	0.00	9.04
076-105	2.20	0.98	1.66	1.82	0.00	0.00	6.65
106-135	1.74	0.77	1.32	1.06	0.00	0.00	4.90
136-165	0.88	0.73	1.10	0.73	0.00	0.00	3.43
166-195	0.77	0.95	2.19	2.08	0.00	0.00	5.98
196-225	1.10	1.14	3.41	5.11	0.00	0.00	10.75
226-255	1.51	1.26	3.54	7.41	0.00	0.00	13.73
256-285	2.34	1.40	3.76	8.39	0.00	0.00	15.90
286-315	1.42	0.76	2.38	3.35	0.00	0.00	7.90
316-345	1.53	0.88	2.46	3.42	0.00	0.00	8.29
Totaal	19.56	11.95	28.40	40.09	0.00	0.00	100.00
Nacht	B 3.0 m/s	D 1.5 m/s	D 5.0 m/s	D 9.0 m/s	E 5.0 m/s	F 1.5 m/s	Totaal
346-015	0.00	1.22	1.42	0.77	0.67	2.34	6.42
016-045	0.00	1.62	1.67	0.90	1.36	3.05	8.60
046-075	0.00	1.56	2.41	2.00	1.72	3.69	11.37
076-105	0.00	1.22	1.40	0.97	0.75	2.19	6.52
106-135	0.00	1.05	1.15	0.49	0.45	1.49	4.63
136-165	0.00	1.05	1.16	0.73	0.35	1.29	4.57
166-195	0.00	1.30	2.34	2.06	0.61	1.30	7.60
196-225	0.00	1.25	4.16	5.07	1.16	1.64	13.27
226-255	0.00	1.84	3.31	4.88	1.03	2.69	13.74
256-285	0.00	1.49	2.36	4.25	0.56	1.85	10.50
286-315	0.00	0.76	1.54	2.68	0.42	0.97	6.36
316-345	0.00	1.03	1.78	1.86	0.50	1.25	6.42
Totaal	0.00	15.38	24.69	26.62	9.58	23.74	100.00

3 Bijlage: Modellen

3.1 Inleiding

Deze bijlage beschrijft de modellen voor het berekenen van de gevolgen van de in module C beschreven scenario's. Allereerst zijn dit de uitstroombmodellen en verdampingsmodellen. Deze modellen leveren de bronsterktes voor de dispersie- en effectmodellen. Vervolgens komen aan de orde de dispersiemodellen en de koppelingen met de effectmodellen en de schademodelen.

In de rekenmethodiek is de diversiteit aan stoffen die getransporteerd worden terug gebracht tot een beperkt aantal stofcategorieën die stoffen bevatten met een vergelijkbaar risico. Stofcategorieën worden per vervoersmodaliteit gekarakteriseerd door een voorbeeldstof. De categorisering van stoffen is gebaseerd op aggregatietoestand, vluchtigheid, brandbaarheid en toxiciteit [9]. Voor transport over water worden enkele aanvullende stoffeigenschappen bij de classificatie gebruikt: oplosbaarheid, reactiviteit met water en dichtheid t.o.v. water. De hoofdcategorieën die onderscheiden worden voor de weg, vaarweg en het spoor zijn gegeven in Tabel 3-1. De in de externe veiligheid beschouwde stofcategorie zijn opgenomen in het hoofdrapport.

Tabel 3-1 Stofcategorie.

Categorie		Betekenis	Omschrijving
Weg, Water	Spoor		
GF	A	Gas Flammable	Tot vloeistof verdicht brandbaar gas
GT	B	Gas Toxic	Tot vloeistof verdicht toxisch gas
LF	C	Liquid Flammable	Brandbare vloeistof
LT	D	Liquid Toxic	Toxische vloeistof

3.2 Bronsterkte model: Uitstroming

De uitstroombmodellen worden per modaliteit en stofcategorie toegelicht.

3.2.1 Spoor en Weg

Continue uitstroming van tot vloeistof verdichte gassen (GF, GT, A, B)

Het scenario dat ten grondslag ligt aan het continu vrijkomen van tot vloeistof verdicht gas uit een gat in een tankwagen of ketelwagen betreft het penetreren van de tankwand door een ander object, dan wel het scheuren van de tankwand, of het afbreken van een appendage.

De continue uitstroming uit het gat mrel wordt berekend als vloeistofuitstroming met behulp van de Bernoulli-vergelijking [7].

$$m_{rel} = C_d \cdot A_h \cdot (2 \cdot \Delta P \cdot \rho_l)^{1/2} \quad [\text{kg/s}]$$

A_h oppervlak gat $[\text{m}^2]$
 C_d contractiecoëfficiënt, 0.62 $[-]$
 ΔP $P_1 - P_a$ $[\text{N/m}^2]$
 P_a omgevingsdruk $[\text{N/m}^2]$
 P_1 reservoirdruk $[\text{N/m}^2]$
 ρ_l dichtheid vloeistof $[\text{kg/m}^3]$

Instantane uitstroming van tot vloeistof verdichte gassen (GF, GT, A, B)

Bij een instantane uitstroming komt de volledige massa uit het transportreservoir in één keer vrij.

Uitregenen tot vloeistof verdichte gassen

Een deel van de instantaan of continu als vloeistof uitstromende hoeveelheid tot vloeistof verdicht gas draagt bij aan de gaswolk, het resterende deel regent uit. Veronderstelt wordt dat het deel dat uitregent niet deelneemt aan de gaswolk. De massa in de wolk is dan gelijk aan

$$M_b = (1 - f_r) \cdot M_{rel}$$

M_b = Massa in de wolk [kg] of bronsterkte [kg/s]

f_r = Uitgeregende fractie

M_{rel} = Vrijgekomen massa [kg, of kg/s]

De uitgeregende fractie f_r is een functie van de adiabatische flash fractie X als weergegeven in Tabel 3-2 7]. De adabatische flashfractie X wordt als volgt berekend:

$$X = C_{pl-gem} \cdot T_k / H_v \cdot \ln(T_1/T_k)$$

T_k = kookpunt $[\text{K}]$

T_1 = opslagtemperatuur $[\text{K}]$

H_v = verdampingsenthalpie $[\text{J/kg}]$

C_{pl-gem} = (gemiddelde) soortelijke warmte vloeistof $[\text{J/kgK}]$

Tabel 3-2 Fractie massa in de wolk [7].

Adiabatische flashfractie X	Fractie massa in wolk: (1 - f _r)
X < 0.1	2.X
0.1 < X < 0.36	(0.8 X - 0.028) / 0.26
X > 0.36	1

Uitstromingen van vloeistoffen op land (LF, LT, C, D)

In de scenario's voor de modaliteiten weg en spoor wordt veronderstelt dat de uitstromingen resulteren in een plas met een bepaalde per modaliteit en scenario verschillende omvang Aplas. Verder wordt veronderstelt dat de vloeistof zich gelijkmatig in alle richtingen uitspreidt. Er wordt geen rekening gehouden met het

samenkomen van de vloeistof in verlaagde delen (gaten) in de bodem of wegstroom van de vloeistof bij een aflopende bodem.

Er geldt dan: $n R_{\text{plas}}^2 = A_{\text{plas}}$.

3.2.2 Vaarwegen

Uitstroming van tot vloeistof verdichte gassen (GF, GT)

Het scenario dat ten grondslag ligt aan de uitstromingen van tot vloeistof verdicht gas bij scheepvaart betreft het falen van ophangpunten cq. aansluitingen. De continue uitstroming wordt derhalve berekend als twee-fasen, damp- en vloeistof, uitstroming uit een korte leiding [10], [11] en er wordt uitregenen van vloeistof verondersteld. De totale uitstromende hoeveelheid neemt deel aan de gaswolk.

$$m_{\text{rel}} = C_d \cdot A_h \cdot [2 \cdot (P_1 - P_c) \cdot \rho_c]^{1/2} \quad [\text{kg/s}]$$

$$P_1 = \text{reservoirdruk} \quad [\text{N/m}^2]$$

$$P_c = \text{druk in de uitstroomopening} \quad [\text{N/m}^2]$$

$$= 0.55 \cdot P_1 \quad [\text{N/m}^2]$$

$$C_d = \text{contractiecoëfficiënt, 0.62} \quad [-]$$

$$A_h = \text{oppervlak gat} \quad [\text{m}^2]$$

$$\rho_c = \text{gemiddelde dichtheid mengsel in uitstroomopening} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Voor ρ_c geldt:

$$\rho_c = [(x/\rho_v) + ((1-x)/\rho_l)]^{-1} \quad [\text{kg/m}^3]$$

met:

$$\rho_v = \text{dichtheid damp} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\rho_l = \text{dichtheid vloeistof} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$x = \text{massafractie damp in de uitstroomopening} \quad [-]$$

Voor x geldt:

$$x = C_{pl} \cdot (T_1 - T_c) / H_v$$

met:

$$C_{pl} = \text{soortelijke warmte vloeistof} \quad [\text{J/kgK}]$$

$$T_c = \text{evenwichtstemperatuur overeenkomend met } P_c \quad [\text{K}]$$

$$H_v = \text{verdampingsenthalpie} \quad [\text{J/kg}]$$

$$T_1 = \text{reservoirtemperatuur} \quad [\text{K}]$$

Uitstroming vloeistoffen op water (LF, LT):

De uitstroomscenario's voor vloeistoffen op vaarwegen betreffen een vast debiet M_{rel} [kg/s] gedurende een vaste veronderstelde uitstroomtijd. Voor de berekening van de plasomvang wordt evenwicht tussen uitstroming en verdamping verondersteld.

$$n R_{\text{plas}}^2 \cdot M_{\text{verd}} = M_{\text{rel}}$$

De berekening van M_{verd} is toegelicht in de volgende paragraaf.

Voor de effectberekening wordt uitgegaan van een vierkante plas met als centrum het uitstroompunt. Raakt de plas de oever dan wordt als er meerdere uitstroompunten over de breedte van de vaarweg zijn gedefinieerd, het uitstroompunt verschoven. De maximale ribbe van de plas is gelijk aan de breedte van de vaarweg. Als de lengte van de plas groter is dan de breedte van de vaarweg, wordt de effecten berekend uitgaande van een serie van vierkante plassen over een bepaalde lengte van de vaarweg. Deze worden zo gekozen dat de gesommeerde ribbes van de plassen gelijk zijn aan de berekende lengte van de plas. Voor de laatste plas zal gelden dat de resterende lengte niet gelijk is aan de ribbe. De bijdrage van de vierkante plas wordt bepaald door kans aan te passen naar verhouding van de resterende lengte en de ribbe.

Plasverdamping op land en water van niet kokende vloeistoffen (LF, LT, C, D)

De uitstroming van niet-kokende vloeistoffen, stofcategorieën LF, LT, C en D, leidt tot vloeistofplassen waaruit verdamping plaatsvindt.

Bereken de plasverdamping met het model van MacKay en Matsugu [2], zoals beschreven in het Gele Boek [1].

De bronsterkte van de verdamping wordt verkregen door de verdampingsnelheid M_{verd} te vermenigvuldigen met het plasoppervlak ($= n \cdot R_{\text{pl}}^2$).

$P_w > 2 \cdot 10^4$ [Pa] :

$$M_{\text{verd}} = k_m \cdot M/RT \cdot P_a \cdot \ln [1 + P_w / (P_a - P_w)]$$

$P_w < 2 \cdot 10^4$ [Pa] :

$$M_{\text{verd}} = k_m \cdot M/RT \cdot P_w$$

M_{verd}	verdampingsnelheid	[kg/ m ² . s]
R	gasconstante = 8314	[J/K.kmol]
T	temperatuur plas	[K]
P_w	dampspanning stof bij temperatuur T van de plas	[N/m ²]
M	molecuulgewicht vloeistof	[kg/kmol]
P_a	atmosferische druk	[N/m ²]
k_m	stofoverdrachtscoëfficiënt	[m ⁻¹]

Voor k_m geldt:

$$k_m = 0.004786 \cdot u^{0.78} \cdot (2 \cdot R_{\text{plas}})^{-0.11} \cdot Sc^{-0.67}$$

met

Sc Schmidt-getal voor lucht [-]

Voor Sc geldt:

$$Sc = \frac{\mu_a}{(\rho_a \cdot D_{ac})}$$

$$= \frac{\nu_a}{D_{ac}}$$

met

μ_a	dynamische viscositeit van lucht	[kg/m/s]
ρ_a	atmosferische dichtheid	[kg/m ³]
D_{ac}	stofspecifieke diffusiecoëfficiënt van lucht en gas	[m ² /s]
ν_a	kinematische viscositeit lucht = $1.35 \cdot 10^{-5}$	[m ² /s]

De waarde 0.004786 bij de stofoverdachtscoëfficiënt volgt uit de oorspronkelijke publicatie na correcties voor het Sc-getal van de onderzochte stof 12].

De berekening van het Schmidtgetal Sc is stofs specifiek. Dit in afwijking van het Gele Boek waar een constante van 0.8 wordt gehanteerd. De diffusiecoëfficiënt D_{ac} wordt berekend met correlaties gegeven in Reid 13].

De logaritmische drijvende kracht in het model voor stoffen met een dampspanning $P_w > 2 \cdot 10^4$ [Pa] is ontleend aan Opschoor 14].

De tijdsafhankelijke temperatuureffecten, zoals afkoeling van de plas door de verdamping worden niet beschouwd.

3.3 Dispersiemodellen

Voor dispersie van gassen en dampen zijn er twee typen dispersiemodellen waarmee gerekend wordt, namelijk het gaussisch neutraal gasmodel en het zwaargasverspreidingsmodel. Bij plasverdamping van een niet-kokende vloeistof is dispersie van gas gemodelleerd met het standaard Gaussisch dispersiemodel. Bij uitstroming van tot vloeistoverdichte gassen uit een reservoir wordt het zwaargasverspreidingsmodel aangeroepen totdat het gasmengsel zich als neutraal gas gedraagt. Na de zwaargasfase wordt de verspreiding met het gaussisch model berekend.

3.3.1 *Neutraal gas dispersie bij plasverdamping (LT, D)*

Bij plasverdamping van een niet-kokende vloeistof is dispersie van gas gemodelleerd met een standaard Gaussisch dispersiemodel voor continue bronnen met niet verwaarloosbare afmetingen 15] in de windrichting en loodrecht op de windrichting. Uitgegaan wordt van vierkante plassen gerepresenteerd door een aantal in de richting loodrecht op de wind geplaatste lijnbronnen. Concentraties op plaats (x , y , z) worden berekend door sommatie in de windrichting van de afzonderlijke lijnbronnen. De daarbij gebruikte standaarddeviaties σ zijn een functie van de atmosferische stabiliteit, terreinruwheid z_0 en de afstand x tot de bron 15].

3.3.2 *Zwaargasdispersie tot vloeistof verdichte gassen (GF, GT)*

Het zwaargasdispersiemodel dat wordt toegepast bij uitstroming van tot vloeistof verdichte gassen is een aangepaste versie van het box-model van Cox en Carpenter 16], 10]. De aanpassing betreft de initiële fasen van dispersie bij het vrijkomen van tot vloeistof verdichte gassen 17].

In het model worden vier dispersiefasen onderscheiden:

1. Initiële opmengfase (Sprayrelease voor instantane uitstroming, jetdispersie voor continue uitstroming)
2. Overgangsfase naar zwaar gas
3. Zwaargasfase (Cox Carpenter model)
4. Neutraalgasfase (gaussisch model)

De eerste fase beschrijft de turbulente menging van lucht met de vrijgekomen stof. De hoeveelheid bijgemengde lucht is afhankelijk van de wijze waarop de uitstroming plaatsgevonden heeft.

Voor continue uitstroming wordt de geometrie van de wolk vierkant verondersteld met afmetingen L x L. De entrainmentrelatie voor een turbulente jet in een niet-stagnant medium gebruikt om de hoeveelheid ingemengde lucht Q_{lucht} te bepalen:

$$Q_{\text{lucht}} = k_1 \cdot (\rho_a \cdot I_0)^{0.5} (v - u_w/v)$$

Q_{lucht}	hoeveelheid ingemengde lucht
I_0	impuls flux in de jet
k_1	0.282
v	snellheid jet
u_w	windsnelheid
ρ_a	atmosferische dichtheid

Voor instantane uitstroming vormt het spray-releasemodel [15] de kern van de modellering van de initiële fase. Uitgegaan wordt een symetrisch uitdijende en zich verplaatsende cilindervormige wolk met een hoogte H gelijk aan 2/3 van de straal R van de wolk. De ingemengde hoeveelheid lucht Q per tijdseenheid

$$Q = \frac{9}{8} \cdot \rho_a \cdot V^{1/9} \cdot V_{\text{fac}}^{8/9}$$

$$V_{\text{fac}} = \frac{2}{3} \pi \cdot R_{\text{fac}}^3$$

$$R_{\text{fac}} = k_3 \cdot E_{\text{exp}}^{3/16} \cdot V_{\text{go}}^{5/24}$$

Q	ingemengde hoeveelheid lucht	[kg/s]
ρ_a	atmosferische dichtheid	[kg/m ³]
V	volume wolk	[m ³]
V_{go}	twee maal het initieel volume bij 273 K en 1 bar	
k_3	0,4	

E_{exp} is de expansie energie, te berekenen uit de thermodynamische toestandsverandering bij uitstroming, De advectiesnelheid van de instantane wolk wordt bepaald met een impulsbalans.

Via de tweede tussenfase wordt de initiële fase gekoppeld aan een zwaargasfase. De eerste fase wordt afgeloten als de verandering van de straal van de wolk door turbulente opmenging gelijk is aan de verandering in de straal door de zwaartekrachtspreading.

De opmenging in de tussenfase verloopt als in de initiële fase. De toename van de straal wordt gegeven door de zwaartekrachtspreading [16].

$$dR/dt, dL/dt = (k_2 \cdot g \cdot H \cdot (\rho_a - \rho_c) / \rho_c)^{0.5}$$

ρ_a	atmosferische dichtheid	[kg/m ³]
ρ_c	dichtheid wolk	[kg/m ³]
H	hoogte wolk	[m]
g	9,81	[m/s ²]
R, L	straal, breedte wolk	[m]
k_2	1	

In tegenstelling tot de eerste fase neemt de wolk niet meer symmetrisch in omvang toe. De tweede fase wordt afgesloten als de hoeveelheid ingemengde lucht

volgens de vergelijkingen uit de eerste fase kleiner wordt dan de hoeveelheid bijgemengde lucht volgens de zwaargasfase.

In de derde, zwaargas, fase wordt de verdere opmenging van de wolk gemodelleerd volgens het oorspronkelijke boxmodel van Cox en Carpenter [16]. In het boxmodel wordt uitgegaan van een uniform concentratieprofiel

De hoeveelheid bijgemengde lucht dm/dt wordt bepaald met behulp van de entrainmentsnelheden u_t en u_e via de top respectievelijk de rand van de wolk. Voor een instantane wolk geldt bijvoorbeeld:

$$dm/dt = \rho_a \cdot (2\pi R H \cdot u_e + \pi R^2 \cdot u_t)$$

Relaties voor de entrainmentsnelheden u_t en u_e en de entrainmentrelaties in geval van een continue wolk zijn gegeven in [16], [10].

Een overgang naar een gaussisch dispersiemodel wordt gemaakt indien de snelheid van de zwaartekrachtspreading dR/dt kleiner wordt dan de snelheid van spreading bij Gaussische dispersie of als de dichtheid van de wolk minus de dichtheid van lucht kleiner is dan 0.001.

In deze vierde fase wordt in de dispersieberekening uitgegaan van een virtuele lijnbron [17]. De locatie en afmeting van de virtuele lijnbron wordt bepaald middels een match van de concentratie op de as van de wolk op het overgangspunt. Bij instantane uitstromingen wordt tijdsafhankelijk gemodelleerd. De standaarddeviaties σ bij gaussische dispersie zijn een functie van de atmosferische stabiliteit, terreinruwheid z_0 en de afstand x tot de bron. De correlaties uit [15] worden gebruikt.

Ter bepaling van de wolkcondities (dichtheid, temperatuur, etc.) worden in het model de thermodynamische effecten van de opmenging met vochtige lucht en de warmteoverdracht vanaf de (warme) bodem naar de (koude) wolk beschouwd. Voor de warmteoverdracht van de bodem wordt het maximum van gedwongen en vrije convectie genomen.

Verwezen wordt naar de beschrijving in bijvoorbeeld [18], [16].

3.4 Effectmodellen

Wanneer een gaswolk een ontstekingsbron tegenkomt, kan de wolk vlam vatten en verbranden. Na de vertraagde ontsteking van de gevormde gaswolk treedt een voorval op met de kenmerken van zowel een wolkbrand als een explosie. Dit wordt gemodelleerd als twee afzonderlijke gebeurtenissen, namelijk als een zuivere wolkbrand en een zuivere explosie.

3.4.1 Wolkbrand

De potentiële gevaren van een wolkbrand zijn directe blootstelling aan de vlammen en hete verbrandingsgassen, warmtestraling, rook en toxische bijproducten. Bepaal met de dispersiemodellen de grootte van het brandbare gebied van de gaswolk. Dit is het gebied waar een wolkbrand op enig moment nog kan ontstaan

na het vrijkomen van het gas uit de tank. Het brandbare gebied is begrensd door de laagste explosiegrens (LFL) op grondniveau.

3.4.2 Gaswolkexplosie

De snelheid waarmee de wolk verbrandt, bepaalt het effect. In sommige situaties, zal de wolk zo snel verbranden dat dit tot een drukgolf leidt. De omvang en intensiteit van de explosie hangt onder andere af van het type brandbare stof, de wijze van vrijkomen, de grootte van de wolk bij ontsteking en de mate van opsluiting van de gaswolk en de wijze van ontsteking. De primaire gevaren zijn overdruk. De mogelijk bij de explosie gevormde secundaire fragmenten worden niet beschouwd. Bereken de overdrukeffecten met het correlatiemodel 10].

Met het correlatiemodel en de numeriek berekende massa M in de wolk boven de LFL-contour, worden de cirkelvormige effectgebieden berekend waar de inkomende drukgolf 0.3 bar en 0.1 bar bedraagt. Het middelpunt van deze effectgebieden is gelegen op een zekere afstand van het uitstroompunt. Deze afstand volgt uit het dispersiemodel. Veronderstel voor continue bronnen dat het centrum van de explosie gelegen is op de helft van de afstand tot de LFL-contour in de windrichting. Veronderstel voor instantane bronnen dat het centrum van de explosie gelijk is aan het centrum van de gaswolk wanneer deze zijn grootste omvang heeft bereikt (het grootst mogelijke grondoppervlak van de LFL-contour).

$$R_{0.3 \text{ bar}} = 0.03 \cdot (0.1 M \cdot H_c)^{1/3}$$

$$R_{0.1 \text{ bar}} = 0.06 \cdot (0.1 M \cdot H_c)^{1/3}$$

$R_{0.3 \text{ bar}}$	=	afstand tot overdruk van 0.3 bar	[m]
$R_{0.1 \text{ bar}}$	=	afstand tot overdruk van 0.1 bar	[m]
M	=	massa in de wolk boven de LFL	[kg]
H_c	=	verbrandingsenthalpie	[J/kg]

Het correlatiemodel is gebaseerd op een evaluatie van een drietal gaswolkexplosies waar de gaswolk voor explosie als gedeeltelijk omsloten gekenschetst kan worden⁸.

3.4.3 Plasbrand

Een plasbrand ontstaat wanneer een plas brandbare vloeistof in brand geraakt. Warmtestraling is het grootste gevaar van een plasbrand buiten de brandende plas. Overige effecten van een plasbrand zoals rook, toxische bijproducten en secundaire branden of explosies in de omringende omgeving worden niet gemodelleerd. In sommige gevallen kan de plasbrand nabijgelegen tanks zodanig doen verzwakken dat deze volledig bezwijken. Een warme BLEVE kan het gevolg zijn. Dit scenario wordt alleen bij de modaliteit spoor meegenomen

De warmtestraling in de omgeving wordt berekend met het "solid flame" model voor een schuinstaande cilinder 11]. Hierbij wordt de vlam voorgesteld door een schuinstaande cilinder met een constante stralingssterkte E aan het oppervlak.

⁸ Dit model levert identieke resultaten als de Multi Energie Methode [7] indien in dat model wordt uitgegaan van de curve met de hoogste blast sterkte 10 en een waarde 0.08 voor de obstructiefactor.

De warmtestraling q (kW/m^2) op een bepaalde plaats x wordt gegeven door:

$$q = \tau \cdot E \cdot F$$

Bereken de stralingsterkte E [kW/m^2] voor een roetende koolwaterstofbrand [11]. Deze is een functie van de diameter D van de plas:

$$E = 140 \cdot e^{-0.12 \cdot D} + 20 \cdot (1 - e^{-0.12 \cdot D})$$

De atmosferische transmissie τ brengt de vermindering van de warmtestraling door absorptie aan H_2O in de atmosfeer in rekening en is dus afhankelijk van de afstand tussen vlam en object en de concentraties H_2O in de lucht. Bereken de atmosferische transmissie τ conform figuur 6.4 in [11].

De zichtfactor F tussen vlam en aangestraald object wordt door de geometrie bepaald: diameter D van de plas, lengte vlam H , afbuighoek Φ van de vlam, afstand vlam en object, en oriëntatie object t.o.v. de vlam. De berekening van de zichtfactor wijkt af van het Gele Boek en is in het navolgende toegelicht.

Voor de lengte H van de vlam geldt:

$$H = 55 D \left[\frac{m}{\rho_a \sqrt{g D}} \right]^{0.67} (u_*)^{-0.21}$$

$$u_* = u_a \left[\frac{g m D}{\rho_v} \right]^{-1/3}$$

Voor de brandsnelheid m [$\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$] geldt:

$$m = 10^{-3} \cdot H_C \cdot [C_p \cdot (T_k - T_a) + H_v]^{-1}$$

De afbuighoek Φ volgt uit:

$$\frac{\tan \varphi}{\cos \varphi} = 0.666 (\text{Re})^{0.117} (\text{Fr})^{0.333}$$

Met

$$\text{Re} = \frac{u_a D}{\nu_a}, \quad \text{Fr} = \frac{u_a^2}{g D}$$

D	diameter plas	[m]
H	lengte vlam	[m]
ρ_a, ρ_v	dichtheid lucht, damp	$[\text{kg/m}^3] = 1.20 [\text{kg/m}^3]$
u_a	windsnelheid	[m/s]
ν_a	kinematische viscositeit	$= 1.31 \cdot 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$
g		$9.81 [\text{m/s}^2]$

Veronderstel bij de berekening van de plasdiameter op water een evenwicht tussen het constante uitstroomdebiet M_{rel} en het verbrandingsdebiet m :

$$\pi \cdot R_{plas}^2 \cdot m = M_{rel}$$

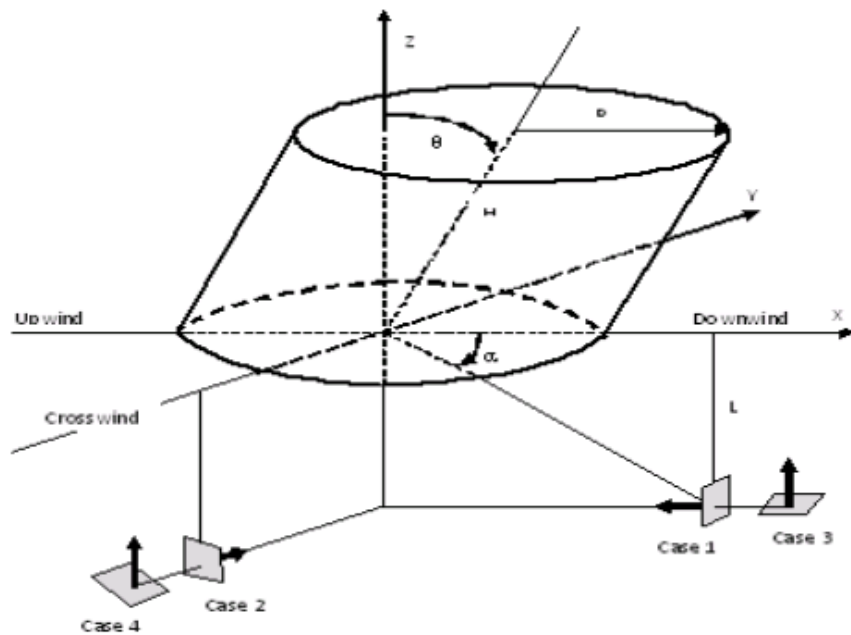
Berekening van de zichtfactor voor schuine cylinder

Warmtestralingseffecten van een plasbrand worden berekend met het schuine cylindermodel. In onderstaande figuur is het model schematisch afgebeeld. In het navolgende is de berekening van de zichtfactor toegelicht voor het geval zonder liftoff (in dit geval is de de hoogte van de plas op grondniveau, dus $L=0$).

De viewfactor wordt voor een horizontaal en verticaal receptorvlak zowel in de windrichting als loodrecht op de windrichting bepaald.

$$F = (F_v^2 + F_h^2)^{0.5}$$

Figuur 3-1 Afbeelding schuine cylindermodel.



Definities

$$a = h/r,$$

$$b = x/r,$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cdot \sin \theta}$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cdot \sin \theta}$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)}$$

$$D = \sqrt{(b-1) / (b+1)}$$

$$E = (a \cdot \cos \theta) / (b - a \cdot \sin \theta)$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}$$

$$G = \sqrt{(a^2 + b^2 + 1)^2 - 4(b^2 + a^2 \cdot \sin^2 \theta)}$$

$$H = a^2 + (b+1)^2$$

$$I = \sqrt{(b^2 - \sin^2 \theta)}$$

case 1

$$\pi F_v = -E \tan^{-1} D + E \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1+a \cdot \sin \theta)}{AB} \right] \tan^{-1} \left(\frac{AD}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \left[\tan^{-1} \left(\frac{ab - F^2 \sin \theta}{FC} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{F \sin \theta}{C} \right) \right]$$

case 2

$$2\pi F_v = - \left(\frac{a^2 \sin \theta \cdot \cos \theta}{2(a^2 \sin^2 \theta + b^2)} \right) \ln \left[\frac{a^2 + b^2 - 1 - 2a \frac{F}{b} \sin \theta}{a^2 + b^2 - 1 + 2a \frac{F}{b} \sin \theta} \right] + \left(\frac{\cos \theta}{I} \right) \left[\tan^{-1} \left(\frac{\frac{ab}{F} + \sin \theta}{I} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\frac{ab}{F} - \sin \theta}{I} \right) \right] + \left(\frac{ab \cdot \cos \theta}{b^2 + a^2 \sin^2 \theta} \right) \left(\frac{a^2 + b^2 + 1}{G} \right) \left[\tan^{-1} \left(\frac{HD - 2a \cdot \sin \theta}{G} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{HD + 2a \cdot \sin \theta}{G} \right) \right] - \left(\frac{2ab \cdot \cos \theta}{b^2 + a^2 \sin^2 \theta} \right) \tan^{-1} D$$

case 3

$$\pi F_h = \tan^{-1} \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \left[\tan^{-1} \left(\frac{ab - F^2 \sin \theta}{FC} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{F \sin \theta}{C} \right) \right] - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1 + ab \cdot \sin \theta)}{AB} \right] \tan^{-1} \left(\frac{AD}{B} \right)$$

case 4

$$2\pi F_h = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1}{D} \right) + \left(\frac{F \sin \theta}{I} \right) \left[\tan^{-1} \left(\frac{\frac{ab}{F} + \sin \theta}{I} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\frac{ab}{F} - \sin \theta}{I} \right) - 2 \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta}{I} \right) \right] - \left(\frac{a^2 + b^2 - 1}{G} \right) \left[\tan^{-1} \left(\frac{HD - 2a \cdot \sin \theta}{G} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{HD + 2a \cdot \sin \theta}{G} \right) \right]$$

3.4.4 *Fakkel*

Een fakkelbrand ontstaat wanneer brandbaar tot vloeistof verdicht gas met hoge snelheid ontsnapt uit een opening in de tank en vrijwel direct ontsteekt. Andere gevaren van een fakkelbrand zijn rook, toxische bijproducten van de brand en de mogelijkheid dat de fakkel secundaire branden en explosies in het omringende gebied veroorzaakt. Deze effecten worden niet gemodelleerd.

Veronderstelt wordt dat de fakkelbrand horizontaal uitstroomt en dat warmtestraling het grootste gevaar vormt. Gebruik de correlatie uit LPG Integraal [19] voor de fakkellengte L. De fakkel wordt gerepresenteerd door een horizontale cilinder met een lengte L en een diameter D gelijk aan de lengte gedeeld door 8

$$\begin{aligned} L &= 18.8 \cdot m^{1/3} && [m] \\ L/D &= 8 \\ m & \text{ de bronsterkte zonder uitregenen [kg/s]} \end{aligned}$$

Voor de warmtestralingssterkte E wordt standaard uitgegaan van 180 kW/m² onafhankelijk van de grootte van de fakkel of de soort gas.

De berekeningswijze van de warmtebelasting q in de omgeving ($q = \tau \cdot E \cdot F$) gebeurt op dezelfde wijze als beschreven voor het plasbrandmodel.

3.4.5 *BLEVE*

BLEVE staat voor Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (kokende vloeistof-gasexpansie-explosie). Een BLEVE treedt op wanneer een tank met onder druk tot vloeistof verdicht gas, in één keer volledig bezwijkt. Zowel brandbare als niet-brandbare tot vloeistof verdichte gassen kunnen een BLEVE veroorzaken. Bij een BLEVE ontstaat dan een snel expanderende wolk van damp en vloeistofdruppeltjes. Er worden een beperkt aantal fragmenten gevormd die tot enkele honderden meters in de omgeving terecht kunnen komen. Bij onmiddellijke ontsteking van een brandbaar gas brandt de wolk van buitenaf af in de vorm van een uitdeinende en opstijgende vuurbal. Naast de warmtestraling treden ook drukgolven op vanwege de drukontlasting van de dampruimte van het reservoir, vanwege de explosieve verdamping van de vloeistof en de verbranding van de gaswolk.

Beschouw bij brandbare gassen alleen het risicobepalende warmtestralingseffect en gebruik hiertoe een vuurbalmodel [11]. De warmtestraling omvat een groter effectgebied dan het overdrukeffect en is daarmee bepalend voor het risico. Bij toxische gassen wordt de BLEVE gemodelleerd als een instantane uitstroming bij de faaldruk.

Bij de berekening van de warmtestraling van de vuurbal wordt een bolvormige warmtestraler met constante straal R verondersteld die gedurende een effectieve brandduur t warmte uitstraalt. Het centrum van de vuurbal bevindt zich op hoogte $h = 2R$.

$$\begin{aligned} R &= 3.24 \cdot M^{0.325} && [m] \\ t &= 0.852 \cdot M^{0.26} && [s] \end{aligned}$$

Hierbij is M de massa [kg] in de vuurbal. De fractie van de in de tank aanwezige massa die in de vuurbal terecht komt wordt gelijk gesteld aan 3 maal de adiabatische flash bij de faaldruk. De maximale fractie bedraagt 1/20].

De warmstraling q op een bepaalde afstand wordt berekend met:

$$q = \tau \cdot E \cdot F \quad [\text{kW/m}^2]$$

De viewfactor F op afstand r van het centrum van de vuurbal met straal R is:

$$F = R^2/r^2 \quad [-]$$

Bereken de atmosferische transmissie τ conform figuur 6.- 4 in 11].

Bereken de stralingssterkte E op het vuurbaloppervlak uit de fractie F_s van de verbrandingsenergie $M \cdot H_c$ die als warmstraling vrijkomt.

$$n \cdot D^2 \cdot E \cdot t = F_s \cdot M \cdot H_c$$

De stralingsfractie F_s is gerelateerd aan de dampspanning P [Pa] van de stof bij falen.

$$F_s = 0.00325 \cdot P^{0.32}$$

Bij een "standaard" BLEVE ("koude" BLEVE) wordt uitgegaan van de dampspanning bij de standaard gehanteerde omgevingstemperatuur. Bereken bij de "domino" BLEVE ("warme" BLEVE) de faaldruk P [bar] door vermenigvuldiging van de overdruk bij 308 K + 1.7 bar met een factor 1.4.

$$P = 1.4 * [P_v(T= 308 K) + 1.7] \quad [\text{bar}]$$

Opmerking

Met betrekking tot de BLEVE moet een goed onderscheid gemaakt worden tussen de oorzaken. De BLEVE kan warm (vertraagd falen als gevolg van een externe brand) of koud (direct falen bijvoorbeeld als gevolg van impact) zijn. Uit de casuïstiek is duidelijk dat beide scenario's bijdragen aan het risico. De vraag is echter in hoeverre de druk in het reservoir zal oplopen bij een warme BLEVE, dit omdat de stralingssterkte van de vuurbal afhankelijk is van de druk in de tank op het moment van falen. Hoe hoger de druk bij falen des te "heter" de BLEVE wordt en dientengevolge des te groter de effectafstanden en dus ongevalgevolgen zullen zijn. De druk bij falen kan helaas niet uit de ongevallencasuïstiek worden afgeleid. Bij de weg wordt aangenomen dat de kans op een significante drukopbouw gering is. Bij het spoor wordt aangenomen dat elke "domino BLEVE" veroorzaakt wordt door een drukopbouw tot de faaldruk van de tank.

3.5 Schademodellering

Het aantal slachtoffers als gevolg van blootstelling aan de vrijgekomen toxische stof, directe brand, warmtestraling of overdruk, wordt berekend met dosis-effect-relaties die een verband leggen tussen de blootstelling en de overlijdenskans.

Hierbij zijn de volgende effecten van belang:

- Toxische effecten
- Directe brand (wolkbrand, fakkel, brandende plas, of de projectie van de BLEVE vuurbal) en warmtestralingseffecten (plasbrand, fakkel, BLEVE)
- Drukeffecten (gaswolkexplosie)

Bij de berekening van het plaatsgebonden risico wordt geen rekening gehouden met beschermende factoren, voor het GR wordt hier wel rekening mee gehouden.

3.5.1 Toxische schade

Voor de kans op overlijden P_{letal} als functie van de concentratie C en de blootstellingstijd t wordt gebruik gemaakt van probitrelaties. Deze hebben de vorm

$$Pr = a + b \left(\frac{Ct}{c} \right)^n$$

Pr	probit behorende bij de overlijdenskans	(-)
a, b, n	constanten voor de toxiciteit van een stof	(-)
C	concentratie op tijdstip t	(mg m ⁻³)
t	blootstellingstijd	(minuten)

De relatie tussen de overlijdenskans P_{letal} en de corresponderende probit Pr wordt gegeven door:

$$P_{\text{letal}} = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{Pr - a}{b \sqrt{2}} \right) \right]$$

waarbij erf is:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

De probitconstanten a, b en n zijn voor de voorbeeldstoffen van de toxische stof-categorieën opgenomen in module B.

Voor personen die zich in een gebouw bevinden is de kans op overlijden 10% van de kans op overlijden buiten een gebouw. Tabel 3-3 toont de overlijdenskansen voor de twee onderscheiden situaties bij toxische stoffen. Overlijdenskansen kleiner dan 1% worden niet beschouwd.

Tabel 3-3 Overlijdenskans voor de twee onderscheiden situaties bij toxische effecten.

Gebied	Overlijdenskans	
	Binnen	Buiten
In gebied met $P_{\text{letaal}} > 0.01$	$0.1 * P_{\text{letaal}}$	P_{letaal}
In gebied met $P_{\text{letaal}} < 0.01$	0	0

Effectieve breedte

Met het dispersiemodel wordt de concentratie C als functie van de afstand x van het uitstroompunt en de afstand y in de breedte tot de wolkas bepaald. In combinatie met de blootstellingsduur wordt hieruit wordt de overlijdenskans P_{letaal} berekend. Bij continue uitstromingen is de concentratie op plaats (x, y) niet afhankelijk van de tijd. De blootstellingsduur t_b overeen met de uitstroomduur met een maximum van 1800 seconden (30 min.). Bij instantane uitstromingen is de concentratie op plaats (x, y) tijdsafhankelijk tengevolge van het uitdijen en het passeren van de wolk. De blootstellingsduur op plaats (x, y) komt overeen met de passage-tijd van de wolk op plaats (x, y) .

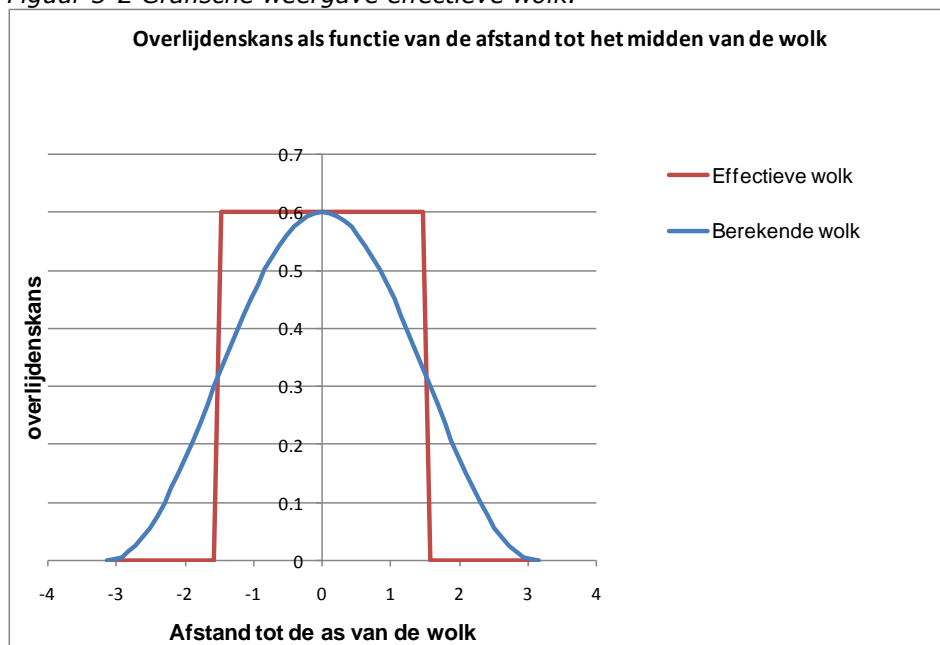
Ter vereenvoudiging van de risicoberekeningen wordt een effectieve breedte bepaald.

Voor continue uitstromingen geldt:

$$P_{di}(x,0) \times \text{Effectieve Breedte} = \int P_t(x,y) \cdot dy$$

Hierbij is $P_{di}(x,0)$ de overlijdenskans op de as van de wolk op afstand x van de bron.

Figuur 3-2 Grafische weergave effectieve wolk.



In Figuur 3-2 is de overlijdenskans van de berekende wolk als functie van de afstand tot de as van de wolk weergegeven. De effectieve wolkbreedte wordt bepaald waarbij de overlijdenskans gelijk is aan de overlijdenskans op de as van de wolk (hier 0,6) en het oppervlak onder de blauwe curve gelijk is aan het oppervlak onder de rode curve.

Bij instantane uitstromingen is de concentratie niet constant, maar tijdsafhankelijk. Bij de bepaling van de effectieve breedte moet derhalve ook rekening gehouden met de passagetijd van de uitzakkende en groter wordende wolk op plaats (x, y). Deze passagetijd is een functie van de afstand x tot het uitstroompunt en de afstand y in de breedte tot de wolkas en wordt numeriek bepaald.

3.5.2 Schade bij wolkbrand

Bij een wolkbrand geldt dat 100% van de aanwezigen binnen de omvang van de wolk bepaald door de LFL-concentratie zal overlijden. Buiten dit gebied vallen er geen slachtoffers. Bij een wolkbrand worden derhalve twee situaties onderscheiden namelijk, in en buiten de wolk. Tabel 3-4 toont de overlijdenskansen voor beide situaties.

Tabel 3-4 Overlijdenskansen bij wolkbrand.

Gebied	Overlijdenskans	
	Binnen	Buiten
In de brandbare wolk	1	1
Buiten de brandbare wolk	0	0

3.5.3 Schade bij BLEVE, plasbrand, fakkel

Voor een brand geldt dat 100% van de aanwezigen binnen de directe brand (fakkel, brandende plas, of de projectie van de BLEVE vuurbal) of binnen de contour van 35 kW/m² zal overlijden. Buiten de brand of de contour van 35 kW/m² vallen er alleen slachtoffers onder personen die zich buiten gebouwen bevinden.

Voor het plaatsgebonden risico (PR) wordt de kans op overlijden door warmtestraling P_{metaal} zonder bescherming bepaald met onderstaande probitrelatie voor de warmtebelasting q in W/m² en de blootstellingstijd t in seconden.

$$Pr = -36.48 + 2.56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t)$$

Bij een plasbrand en fakkel wordt uitgegaan van een blootstellingstijd van 20 seconden. Bij een BLEVE wordt de blootstellingstijd gelijk gesteld aan de brandtijd van de vuurbal met een maximum van 20 seconden.

Voor het groepsrisico (GR) wordt rekening gehouden met de beschermende werking van kleding. De kans op overlijden is 14% van de berekende kans op overlijden zonder bescherming.

Bij de berekening worden er drie gebieden beschouwd. In Tabel 3-5 zijn de overlijdenskansen per gebied gegeven⁹.

Tabel 3-5 Overlijdenskansen voor de drie onderscheiden situaties bij plasbrand.

Gebied	Overlijdenskansen		
	GR		PR
	Binnen	Buiten	
In de brand (plas, fakkel, projectie BLEVE-vuurbal)	1	1	1
In het gebied met een warmtestraling > 35 kW/m ²	1	1	1
In het gebied met warmtestraling < 35 kW/m ²	0	0.14 * P _r	P _b

3.5.4 Schade bij explosie

Bij een explosie geldt dat 100% van de aanwezigen binnen de 0.3 bar overdruk contour zal overlijden en dat 2.5% van de aanwezigen binnen een gebouw in het gebied tussen de 0.3 en 0.1 bar overdruk contour zal overlijden. Buiten de 0.1 bar contour vallen er geen slachtoffers.

Bij een gaswolkexplosie worden derhalve drie gebieden gedefinieerd.

- Een gebied met een overdruk van 0.3 bar. overdruk of meer;
- Een gebied tussen 0.3 en 0.1 bar. overdruk;

⁹ Merk op dat de overlijdenskansen bij een BLEVE direct onder de vuurbal gelijk is aan 1 (binnen projectie van de vuurbal). Als de afstand tot de 35 kW/m²-contour kleiner is dan de straal van de vuurbal, dan zal er ter plaatse van de rand van de projectie van de vuurbal een sprong optreden in de overlijdenskansen, van 1 naar een lagere waarde. De warmtestraling is immers al gedaald beneden de 35 kW/m².

- Een gebied met een overdruk kleiner dan 0.1 bar.
De bijbehorende overlijdenskansen per gebied staan in Tabel 3-6.

Tabel 3-6 Overlijdenskansen bij gaswolkexplosie.

Gebied	Overlijdenskans	
	Binnen	Buiten
Overdruk > 0.3 bar	1	1
Overdruk > 0.1 bar < 0.3 bar	0.025	0
Overdruk < 0.1 bar	0	0

4 Bijlage: Berekening verhouding warme/koude BLEVE

In het concept-rekenprotocol spoor 21] is de berekening van de verhouding van de warme/koude BLEVE $F_{\text{warme bleve}}/F_{\text{koude bleve}}$ toegelicht. De verhouding is afhankelijk van de baanvaksnelheid.

4.1 Wijze van berekenen voor brandbaar gas (stofcategorie A)

Lage snelheid (< 40 km/uur):

$$\begin{aligned} F_{\text{warme bleve}}/F_{\text{koude bleve}} &= 19,5 * (N_{\text{bvl}}/N_{\text{g}}) * P_{\text{contact}} \\ &= 1,95 * N_{\text{bvl}} \text{ (bij } N_{\text{bvl}}, N_{\text{g}} < 3) \end{aligned}$$

Hoge snelheid (>40 km/uur):

$$\begin{aligned} F_{\text{warme bleve}}/F_{\text{koude bleve}} &= 39,0 * (N_{\text{bvl}}/N_{\text{g}}) * P_{\text{contact}} \\ &= 3,9 * N_{\text{bvl}} \text{ (bij } N_{\text{bvl}}, N_{\text{g}} < 3) \end{aligned}$$

N_{bvl} = gemiddeld aantal wagens met zeer brandbare vloeistof in een bonte trein

N_{g} = gemiddeld aantal wagens met brandbaar gas in een bonte trein

$$N_{\text{bvl}} = \frac{N_{\text{bvl(bont)}}}{N_{\text{bont}} * (100/GS)} * N_{\text{tot}}$$

$$N_{\text{g}} = \frac{N_{\text{bg(bont)}}}{N_{\text{bont}} * (100/GS)} * N_{\text{tot}}$$

$N_{\text{bv(bont)}}$ = totaal aantal wagens zeer brandbare vloeistof in bonte treinen

$$= NC3 + 0.1 * ND3$$

N_{C3} = totaal aantal wagens C3 in bonte treinen

N_{D3} = totaal aantal wagens D3 in bonte treinen

$N_{\text{bg(bont)}}$ = totaal aantal wagens brandbare gas A in bonte treinen

N_{bont} = totaal aantal wagens (A t/m D4) in bonte treinen

N_{tot} = gemiddelde treinlengte

$$= 20 \text{ wagens 21]}$$

GS = percentage voor externe veiligheid relevante gevaarlijke stoffen ¹⁰

$$= 5\% \text{ 25]}$$

P_{contact} is de kans dat wagens met zeer brandbare vloeistof en brandbaar gas naast elkaar zitten.

¹⁰ Waar mogelijk moet gebruik gemaakt worden van baanvak specifieke informatie.

De kans P_{contact} is:

$$\left\{ \frac{2}{N_{\text{tot}}} \times \frac{N_g}{(N_{\text{tot}} - 1)} \right\} + \left\{ \frac{(N_{\text{tot}} - 2)}{N_{\text{tot}}} \times \left[\frac{N_g}{(N_{\text{tot}} - 1)} + \frac{(N_{\text{tot}} - N_g - 1)}{(N_{\text{tot}} - 1)} \times \frac{N_g}{(N_{\text{tot}} - 2)} \right] \right\}.$$

Merk op dat 10% van de wagens D3 in bonte treinen opgeteld worden bij de wagens C3 in bonte treinen bij de bepaling van $N_{\text{bv(bont)}}$ (het aantal wagens zeer brandbare vloeistof) [21].

4.2 Wijze van berekenen voor toxisch gas (stofcategorie B2)

De verhouding warme/koude BLEVE toxisch gas (B2) is op identieke wijze te bepalen. In de kans P_{contact} dient voor N_g nu het gemiddeld aantal wagens B2 in een bonte trein te worden ingevuld.

N_g = gemiddeld aantal wagens met toxisch gas B2 in een bonte trein

$$N_g = \frac{N_{\text{tg(bont)}}}{N_{\text{bont}}} * \frac{100}{GS} * N_{\text{tot}}$$

$N_{\text{tg(bont)}}$ = totaal aantal wagens toxisch gas B2 in bonte treinen

Verder dient te worden vermenigvuldigd met een factor 0,8¹¹ [21]

Lage snelheid (< 40 km/uur):

$$\begin{aligned} F_{\text{warme bleve}} / F_{\text{koude bleve}} &= 0,8 * 19,5 * (N_{\text{bvl}} / N_g) * P_{\text{contact}} \\ &= 0,8 * 1,95 * N_{\text{bvl}} \text{ (bij } N_{\text{bvl}}, N_g < 3) \end{aligned}$$

Hoge snelheid (>40 km/uur):

$$\begin{aligned} F_{\text{warme bleve}} / F_{\text{koude bleve}} &= 0,8 * 39,0 * (N_{\text{bvl}} / N_g) * P_{\text{contact}} \\ &= 0,8 * 3,9 * N_{\text{bvl}} \text{ (bij } N_{\text{bvl}}, N_g < 3) \end{aligned}$$

4.3 Toelichting op verhoudingen warme bleve/koude bleve

De verhoudingen $F_{\text{warme BLEVE}} / F_{\text{koude BLEVE}}$ voor brandbare en toxische gassen is per spoortraject tesamen met vervoershoeveelheden vastgelegd in de Regeling Basisnet.

De verhouding warme/koude BLEVE brandbaar gas is daarbij eerst per transportpad op de aangegeven wijze bepaald. Vervolgens is door middeling over alle transportpaden een nauwkeuriger warme/koude Bleve verhouding per spoortraject vastgesteld. Nauwkeuriger omdat gebruik gemaakt is van alle gegevens van de transportpaden (herkomsten-bestemmingen) die aan een bepaald traject bijdragen, zoals de richting informatie en de informatie over de wijze van vervoer (blok

¹¹ De factor 0.8 is de kans op directe ontsteking bij instantaan vrijkomen brandbaar gas. Voor toxisch gas geldt dat deze factor in de afleiding ontbreekt [22].

vs bont. Verder zijn aannames gehanteerd met betrekking tot het "warme BLEVE-vrij samenstellen" van de treinen.

5 Bijlage: Scheepsschadefrequenties

Deze bijlage geeft de te hanteren locatiespecifieke scheepsschadefrequenties. Deze zijn gegeven per verkeersvak. Tabel 5-1 geeft de indeling van de verkeersvakken naar vaarweg en kilometer 23].

5.1 Beschrijving Verkeersvakken

De hoofdtransportassen en hoofdvaarwegen zijn in het NWB-vaarwegen onderverdeeld in vaarwegvakken. Door het samenvoegen van deze vaarwegvakken zijn verkeersvakken gedefinieerd. De kilometrering, de begin- en eindkilometers zijn overgenomen uit het NWB-vaarwegen. De breedte van de vaarweg is voor kanalen de breedte op kanaalpeil. Voor de rivieren is de breedte aangehouden zoals die op topografische kaarten wordt weergegeven.

Tabel 5-1 Beschrijving verkeersvakken 23.]

Nr.	Verkeersvak naam	Vaar wegnr.	Breedte [m]	Begin km	Eind km	Van	Tot
1	ARK_1	225	105	73.3	61.3	Waal	Neder-Rijn
2	ARK_2	225	95	61.3	43.1	Neder-Rijn	Lekkanaal
3	ARK_3	225	87	43.1	35.2	Lekkanaal	Uranium kanaal Utrecht
4	ARK_4	225	88	35.2	0	Uranium kanaal Utrecht	Afgesloten IJ
5	Brabantsche Vaarwater	139	500	0	24.0	Schelde Rijnverbinding	Oosterschelde
10	Eemskanaal	1	48	0	26.5	Zeehavenkanaal	Van Starckenborghkanaal
11	Geldersche IJssel_1	84	125	0	43.6	Neder-Rijn	Kanaal Zutphen Enschede
12	Geldersche IJssel_2	84	125	43.6	56.3	Kanaal Zutphen Enschede	Binnenhaven te Deventer
13	Geldersche IJssel_3	84	125	56.3	93.0	Binnenhaven te Deventer	Zwolle IJsselkanaal/ Zwarte water
14	Geldersche IJssel_4	84	125	93.0	128.0	Zwolle IJsselkanaal	Ketelbrug
15	Gouwe	270	50	0	15.0	Kruising Oude Rijn	Hollandsche IJssel
16	Hartelkanaal_1	115	166	0	8.1	Oude Maas	Calandkanaal
17	Hartelkanaal_2	115	145	8.1	23.7	Calandkanaal	Hartelhaven
18	Hollandsch Diep	108	1500	0	36.9	Volkerak	Nieuwe Merwede
19	Hollandsche IJssel_1	211	100	3.4	20.3	Voorhaven Julianasluis	Nieuwe Maas
20	Hollandsche IJssel_2	211	100	0	3.4	Gekanaliseerde Hollandsche IJssel	Voorhaven Julianasluis
21	IJsselmeer_1	230	500	0	34.5	Afgesloten IJ	Houtribsluizen
22	IJsselmeer_2	230	500	34.5	74.1	Houtribsluizen	Lemmer

Nr.	Verkeersvak naam	Vaar wegnr.	Breedte [m]	Begin km	Eind km	Van	Tot
26	Kanaal van Sint Andries	101a	65	0	2.1	Maas	Waal
27	kanaal Wessem-Nederweert	123	28	0	16.1	Gekanaliseerde Maas	Zuid Willemsvaart
28	Kanaal Zuid-Beveland	137	126	0	10.5	Oosterschelde	Westerschelde
29	Ketelbrug Houtrib	303	500	0	5.6	Ketelbrug	IJsselmeer
30	Lekkanaal	225e	63	0	4.1	Amsterdam Rijnkanaal	Lek
31	Maas_1	150	150	0	5.7	Sluizen van Ternaaien	Verbindingskanaal in het Bossche veld
32	Maas_10	150	450	217.7	229.8	Amertak	Hollandsch Diep
33	Maas_2	150	49	5.7	19.7	Verbindingskanaal in het Bossche veld	Stein
34	Maas_3	150	49	19.7	44.7	Stein	Roermond
35	Maas_4	150	90	44.7	52.2	Roermond	Maascentrale te Buggenum
36	Maas_5	150	91	52.2	131.2	Maascentrale te Buggenum	Maas-Waalkanaal
37	Maas_6	150	109	131.2	158.7	Maas-Waalkanaal	Burgemeester Delenkanaal
38	Maas_7	150	110	158.7	174.6	Burgemeester Delenkanaal	Kanaal van Sint Andries
39	Maas_8	150	110	174.6	186.7	Kanaal van Sint Andries	Gekanaliseerde Dieze
40	Maas_9	150	110	186.7	217.7	Gekanaliseerde Dieze	Amertak
41	Maas-Waalkanaal	119	69	0	13.3	Gekanaliseerde Maas	Waal
42	Margrietkanaal_1	21	53	0	24.4	Van Starckenborghkanaal	Van Harinxmakanaal
43	Margrietkanaal_2	21	100	24.4	66.2	Van Harinxmakanaal	Lemmer
44	Meppelerdiep	88	62	0	11.0	Zwarte Water	Drentsche Hoofdvaart
45	Nieuwe Merwede	108	500	0	23.5	Beneden Merwede	Hollandsch Diep
46	Nieuwe Maas_1	102	365	0	5.0	Lek	Hollandsche IJssel
47	Nieuwe Maas_2	102	365	5.0	20.0	Hollandsche IJssel	2e Petroleumhaven
48	Nieuwe Maas_3	102	365	20.0	22.3	2e Petroleumhaven	1e Petroleumhaven
56	Noordzeekanaal_5	233	270	19.2	22.4	Mercuriushaven	Noordhollandsch Kanaal
57	Noordzeekanaal_6	233	270	22.4	25.9	Noordhollandsch Kanaal	Amsterdam Rijnkanaal
58	Oosterschelde	138	800	10.5	11.3	Brabantsch Vaarwater	Kanaal door Zuid-Beveland
59	Oude Maas_1	111	300	0	4.3	Noord	Dordtsche Kil

Nr.	Verkeersvak naam	Vaar wegnr.	Breedte [m]	Begin km	Eind km	Van	Tot
64	Rijn_1	103	104	0	11.1	Waal	Geldersche IJssel
65	Rijn_2	103	101	11.1	59.8	Geldersche IJssel	Amsterdam Rijnkanaal
66	Rijn_3	103	135	59.8	80.3	Amsterdam Rijnkanaal	Lekkanaal
67	Rijn_4	103	136	80.3	119.6	Lekkanaal	Noord / Nieuwe Maas
68	Schelde-Rijnverbinding_1	129	187	19.4	38.5	Havens Bergen op Zoom	Zandvlietsluis
69	Schelde-Rijnverbinding_2	129	201	0	19.4	Zuid Vlije	Havens Bergen op Zoom
70	Twentekanaal_1	81	55	0	34.2	Geldersche IJssel	Zijkanaal Almelo
71	Twentekanaal_2	81	55	34.2	43.7	Zijkanaal Almelo	Hengelo
72	Twentekanaal_3	81	50	43.7	49.8	Hengelo	Enschede
74	Volkerak	143	500	0.5	14.9	Volkeraksluizen	Schelde-Rijn verbinding
73	Van Starckenborghkanaal	3	54	0	27.4	Eemskanaal	Prinses Margrietkanaal
75	Waal_1	101	375	0	9.2	Grens	Pannerdensch kanaal
76	Waal_2	101	375	9.2	28.6	Pannerdensch kanaal	Maas Waalkanaal
77	Waal_3	101	375	28.6	54.8	Maas Waalkanaal	Amsterdam Rijnkanaal
78	Waal_4	101	375	54.8	67.5	Amsterdam Rijnkanaal	Kanaal van Sint Andries
79	Waal_5	101	375	67.5	96.2	Kanaal van Sint Andries	Merwedekanaal
80	Waal_6	101	375	96.2	101.3	Merwedekanaal	Nieuwe Merwede
81	Waal_7	101	375	101.3	116.8	Nieuwe Merwede	Oude Maas
82	Waal_8	101	375	116.8	125.5	Oude Maas	Nieuwe Maas
90	Willemsvaart_1	121	26	0	6.0	Maas	s Hertogenbosch
91	Willemsvaart_2	121	28	6.0	24.6	s Hertogenbosch	Nieuwe Haven te Veghel
92	Willemsvaart_3	121	39	24.6	37.8	Nieuwe Haven te Veghel	Wilhelminakanaal
93	Willemsvaart_4	121	39	67.3	78.9	Kanaal Wessem-Nederweert	Billiton Zink bv. Budel
95	Zijkanaal Almelo	82	50	0	17.4	Kanaal Zutphen Enschede	Almelo
96	Zwarte Water	86	75	17.2	48.6	Geldersche IJssel	Ketelmeer

5.2 Scheepsschadefrequentie verkeersvakken

In Tabel 5-2 zijn de te hanteren locatiespecifieke scheepsschadefrequenties gegeven. Wanneer een verkeersvak cursief is opgenomen in deze tabel, betekent dit dat er één of meer uitzonderingskilometers op dit verkeersvak zijn. Dit zijn kilometers met een significant hogere of lagere locatiespecifieke scheepsschadefrequentie. De locatiespecifieke scheepsschadefrequenties voor de uitzonderingskilometers zijn opgenomen in Tabel 5-3 [23].

Tabel 5-2 Scheepsschadefrequentie per verkeersvak [23].

Nr.	Verkeersvak	zware schade [1/vtghkm]	Nr.	Verkeersvak	zware schade [1/vtghkm]
1	ARK_1	2.1E-07	46	Nieuwe Maas_1	3.8E-07
2	ARK_2	2.8E-07	47	Nieuwe Maas_2	2.7E-07
3	ARK_3	1.5E-07	48	Nieuwe Maas_3	2.2E-07
4	<i>ARK_4</i>	<i>1.9E-07</i>	56	Noordzeekanaal_5	1.2E-06
5	Brabantsche Vaarwater	2.4E-07	57	Noordzeekanaal_6	3.5E-07
10	<i>Eemskanaal</i>	<i>1.7E-07</i>	58	Oosterschelde	1.3E-07
11	<i>Gelderse IJssel_1</i>	<i>1.6E-07</i>	59	Oude Maas_1	7.0E-07
12	Gelderse IJssel_2	6.7E-08	64	<i>Rijn_1</i>	<i>9.8E-07</i>
13	Gelderse IJssel_3	9.8E-08	65	<i>Rijn_2</i>	<i>1.3E-07</i>
14	<i>Gelderse IJssel_4</i>	<i>4.7E-07</i>	66	<i>Rijn_3</i>	<i>3.0E-07</i>
15	Gouwe	4.6E-07	67	<i>Rijn_4</i>	<i>1.4E-07</i>
16	Hartelkanaal_1	2.9E-08	68	Schelde-Rijnverbinding_1	5.5E-08
17	Hartelkanaal_2	1.7E-07	69	Schelde-Rijnverbinding_2	2.9E-07
18	Hollandsch Diep	8.0E-08	70	<i>Twentekanaal_1</i>	<i>4.9E-07</i>
19	Hollandsche IJssel_1	1.4E-07	71	Twentekanaal_2	2.3E-07
20	Hollandsche IJssel_2	1.8E-07	72	Twentekanaal_3	2.8E-07
21	<i>IJsselmeer_1</i>	<i>2.6E-07</i>	73	<i>Van Starckenborghkanaal</i>	<i>2.7E-07</i>
22	IJsselmeer_2	3.5E-08	74	Volkerak	1.6E-07
26	Kanaal van Sint Andries	2.0E-07	75	<i>Waal_1</i>	<i>7.3E-08</i>
27	Kanaal Wessem-Nederweert	3.6E-07	76	<i>Waal_2</i>	<i>1.8E-07</i>
28	<i>Kanaal Zuid-Beveland</i>	<i>5.2E-07</i>	77	<i>Waal_3</i>	<i>1.8E-07</i>
29	Ketelbrug Houtrib	3.6E-08	78	Waal_4	5.4E-08
30	Lekkanaal	1.0E-06	79	<i>Waal_5</i>	<i>8.8E-08</i>

Nr.	Verkeersvak	zware schade [1/vtgkm]	Nr.	Verkeersvak	zware schade [1/vtgkm]
31	Maas_1	4.5E-07	80	Waal_6	1.4E-07
33	Maas_2	3.4E-07	81	Waal_7	3.2E-07
34	Maas_3	1.1E-06	82	Waal_8	2.6E-07
35	Maas_4	4.1E-07	90	Willemsvaart_1	3.7E-07
36	Maas_5	7.3E-08	91	Willemsvaart_2	1.9E-07
37	Maas_6	6.0E-08	92	Willemsvaart_3	6.6E-08
38	Maas_7	1.6E-07	93	Willemsvaart_4	1.5E-07
39	Maas_8	7.2E-08	96	Zwarte Water	9.8E-08
40	Maas_9	1.4E-07			
32	Maas_10	2.2E-07			
41	Maas-Waalkanaal	1.7E-07			
42	Margrietkanaal_1	2.6E-07			
43	Margrietkanaal_2	1.3E-07			
44	Meppelerdiep	1.0E-05 ²⁾			
45	Nieuwe Merwede	3.3E-07			

Tabel 5-3 Scheepsschade frequentie per uitzonderingskilometer [23].

Nr.	Verkeersvak	Subkm	zware schade [1/vtgkm]
4	ARK_4	1	2.3E-06
4	ARK_4	12	2.3E-06
4	ARK_4	19	7.1E-07
4	ARK_4	20	6.3E-07
4	ARK_4	31	2.3E-06
10	Eemskanaal	2	1.4E-06
14	Geldersche IJssel_4	108	4.4E-06
19	Hollandsche IJssel_1	19	2.0E-05
21	IJsselmeer_1	26	1.7E-06
28	Kanaal Zuid-Beveland	2	1.0E-06
41	Maas-Waalkanaal	11	6.5E-07
42	Margrietkanaal_1	10	1.6E-06
43	Margrietkanaal_2	33	1.5E-06
43	Margrietkanaal_2	36	1.5E-06
43	Margrietkanaal_2	46	1.2E-06
43	Margrietkanaal_2	53	1.2E-06
64	Rijn_1	9	3.5E-06
65	Rijn_2	14	2.1E-07
65	Rijn_2	17	2.1E-07

Nr.	Verkeersvak	Subkm	zware schade [1/vtgkm]
66	Rijn_3	69	2.2E-06
67	Rijn_4	93	5.2E-07
70	Twentekanaal_1	15	1.5E-06
70	Twentekanaal_1	28	1.9E-06
73	Van Starckenborghkanaal	2	1.7E-06
73	Van Starckenborghkanaal	7	6.8E-06
75	Waal_1	7	5.0E-07
75	Waal_1	8	7.1E-07
76	Waal_2	14	5.9E-07
77	Waal_3	45	5.0E-07
77	Waal_3	48	1.4E-06
77	Waal_3	53	4.6E-07
79	Waal_5	69	6.9E-07
79	Waal_5	75	3.8E-07
79	Waal_5	77	3.8E-07
82	Waal_8	120	1.0E-06
96	Zwarte Water	19	3.7E-06

6 Bijlage: Bepaling locatiespecifieke sloopschadefrequentie (alleen binnenvaart)

6.1 Inleiding

De frequenties van uitstroming, mogelijk gevolgd door ontsteking en/of verspreiding van de gevaarlijke stof, worden berekend m.b.v. een gebeurtenissenboom, zie Figuur 11.3, Figuur 11.4 en Figuur 11.5.

Aan het begin van die gebeurtenissenboom staat een initiële frequentie, de frequentie van een gebeurtenis die mogelijk aanleiding geeft tot de genoemde gevolgen. De vervolgschans op uitstroming hangen samen met de keuze van deze begingebuurtenis. Zo zal de initiële frequentie van de begingebuurtenis <een aanvaring tussen alle sloopvaart> hoger zijn dan de initiële frequentie van de begingebuurtenis <een aanvaring tussen alle sloopvaart exclusief de recreatievaart>, terwijl de vervolgschans op een uitstroming van een gevaarlijke stof gegeven de eerste begingebuurtenis lager zal zijn dan bij de tweede.

Niet elke sloopsschade zal leiden tot uitstroming van een deel van een ladingtank. Lakschade, een deuk in de romp, een verwoest stuurhuis door een brugaanvaring zijn voorbeelden van soms zeer zware d.w.z. kostbare schades zonder impact op de lading. We zijn dus op zoek naar een deelverzameling van alle sloopsschades. Voor een mogelijke uitstroming wordt als begingebuurtenis een sloopsongeval met een gat in de romp en/of een gat in de laadruimte gebruikt. Sloopongevallen worden centraal geregistreerd in het Sloopsongevallensysteem (SOS), onder beheer van Rijkswaterstaat.

Naast de ongevallen is het aantal passerende schepen van belang. Immers hoe meer schepen passeren, hoe groter de kans op een ongeval. De verkeersintensiteit moet betrekking hebben op schepen die de potentie hebben om bij aanvaring met een schip dat gevaarlijke lading vervoert tenminste een gat in de romp te veroorzaken. Kort aangeduid: het gaat om de beroepsvaart, niet om plezierjachten, zeilschepen, roeiboten e.d. (vergelijk bij het transport over de weg het niet beschouwen van motor(fietsen) in de ongevalstatistiek). De verkeersintensiteit van de beroepsvaart wordt geregistreerd in het IVS-90, het informatie en volgsysteem van Rijkswaterstaat.

Tenslotte is de lengte die over het vaarwegdeel wordt afgelegd van belang. Immers hoe langer de vaarweg, hoe groter de kans op een sloopsongeval. De lengte en andere vaarwegkenmerken (breedte, kunstwerken, loswallen e.d.) worden geregistreerd in het VIN, het bestand van Vaarwegkenmerken in Nederland.

Uit deze drie gegevens, het aantal gaten in de romp en/of in de laadruimte, het aantal passages van beroepsschepen en de lengte van het vaarwegdeel wordt de initiële frequentie in de gebeurtenissenbomen afgeleid: de kans op een "zware" sloopsschade per vaartuigkilometer.

In de rest van deze bijlage wordt stapsgewijs beschreven hoe de gegevens worden verzameld en bewerkt.

Stap 1 Kenmerken vaarweg

Inventariseer de kenmerken van de vaarweg in het studiegebied:

- Lengte
- hectometrerings (raaien)

- Breedte
- Bevaarbaarheidsklasse
- Belangrijke herkomsten/bestemmingen langs de vaarweg, en mogelijke locaties waarbij een afwijkende frequentie kan gelden zoals splitsingen, kunstwerken

Deze zijn opgenomen in het ViN en kunnen via CIV Servicedesk data (servicedesk-data@rws.nl) worden verkregen. Stel u op de hoogte van de infrastructuurwijzigingen gedurende de laatste 10 jaar. Deze kunnen maken dat de representatieve periode voor de analyse van scheepsongevallen korter wordt. Bv. het vervallen van een sluis of brug kan een belangrijke wijziging in het ongevallenbeeld betekenen.

Stap 2 Indelen vaarweg in vaarwegdelen

De vaarweg wordt ingedeeld in nautisch homogene vaarwegdelen of verkeersvakken. Nautisch homogeen betekent

- Een min of meer constante verkeersintensiteit en samenstelling;
- Een min of meer constante breedte;
- Een min of meer constant vaarwegbeeld (stroom, wind, zijvaarten, kruisingsmanoeuvres)

Een indeling in verkeersvakken is te vinden in [23]. Voor een specifiek project kan met behulp van nautische expertise een eigen indeling worden gemaakt. Dit kan bijvoorbeeld van belang zijn bij sluzen en voorhavens en bij bruggen met vaste pijlers in de vaarweg.

De volgende stappen worden per verkeersvak uitgevoerd.

Stap 3 Scheepsschades

Verzamel de scheepsschades over de recentste periode van 10 jaar uit de SOS database via CIV Servicedesk data (servicedesk-data@rws.nl). Bij belangrijke wijzigingen in de infrastructuur kan het noodzakelijk zijn om uit te gaan van een kortere periode. Het gaat om de scheepsschades aan beroepsschepen in de schade klassen 2 t/m 5. Uit de SOS database dienen voor elk ongeval ook de geografische positie en de raai te worden overgenomen.

Stap 4 Verkeersintensiteiten

Verzamel de verkeersintensiteit van de beroepsvaart (zie Tabel 6-1) over een recente periode van 10 jaar uit het IVS-90 via CIV Servicedesk data (servicedesk-data@rws.nl). Bij belangrijke wijzigingen in de infrastructuur kan het noodzakelijk zijn om uit te gaan van een kortere periode.

Tabel 6-1 Definitie beroepsvaart

Attribuutnaam in IVS90	Waarde	Scheepstype groep
<ste_cod>	1-49	Binnenvaart
<ste_cod>	50-69	Zeevaart

Stap 5 Check afwijkende kilometers

Het verkeersvak wordt ingedeeld in kilometerraaien. Per kilometer wordt het aantal scheepsschades in de schadeklassen 2 t/m 5 opgeteld. Voor het gehele verkeersvak bedraagt het aantal scheepsschades N_{tot} . Onder de veronderstelling dat

er geen kilometerraaien zijn met een afwijkende schadefrequentie is de kans op een schade uniform over de kilometerraaien verdeeld:

$$p = \frac{1}{L}, \text{ waarin}$$

p Kans op een sloopsschade per km
L Lengte in km

Nu kan het aantal schades op een kilometerraai worden beschreven met een binomiale verdeling $B(p, N_{tot})$. Met een overschrijdingskans van 0.025 kan nu worden getoetst of een kilometerraai in aanmerking komt voor een van het gemiddelde afwijkende sloopsschadefrequentie.

Het gemiddeld aantal sloopsschades per km bedraagt:

$$\bar{N} = \frac{N_{2t/m5}}{L}, \text{ waarin}$$

\bar{N} Gemiddeld aantal ongevallen per km over de waarnemingsperiode
 $N_{2t/m5}$ Aantal sloopsschades in de schadeklassen 2 t/m 5 voor het gehele verkeersvak
L Lengte in km

Met andere woorden: we zoeken een aantal sloopsschades waarvoor

Bovengrens (bij meer sloopsschades is de raai uitzonderlijk):

$$N_{2t/m5,i} = \text{Invbinomdist}(0.975, N_{tot}, p)$$

Ondergrens (bij minder sloopsschades is de raai uitzonderlijk):

$$N_{2t/m5,i} = \text{Invbinomdist}(0.025, N_{tot}, p)$$

waarin

N_{tot} Totaal aantal sloopsschades in de schadeklassen 2 t/m 5 op het verkeersvak
 $N_{2t/m5,i}$ Aantal sloopsschades in de schadeklassen 2 t/m 5 voor kmraai i
p 1/L (per km)
Invbinomdist De inverse van de cumulatieve binomiale verdeling

Stap 6 Bereken de sloopsschadefrequenties

A. Voor de gevonden afwijkende kilometerraaien:

$$f_i = \frac{N_{4,5,i}}{T * I} \text{ per vtgkm, waarin}$$

$N_{4,5,i}$	Aantal sloopsschades in de schadeklassen 4 of 5 op het kilometer- vak
T	Aantal beschouwde jaren
I	Verkeersintensiteit beroepsvaart (/jaar)

Als $N_{4,5,i}=0$ wordt de volgende schatting toegepast:

$$f_i = \frac{0.061 * N_{2t/m5,i}}{T * I} \text{ per vtgkm, waarin}$$

0.061	De over de Nederlandse hoofdvaarwegen gemiddelde verhouding tussen het aantal sloopsschades in de schadeklassen 4, 5 en de schadeklassen 2 t/m 5 24]
$N_{2t/m5,i}$	Aantal sloopsschades in de schadeklassen 2, 3, 4 of 5 op het kilo- metervak
T	Aantal beschouwde jaren
I	Verkeersintensiteit beroepsvaart (/jaar)

Als ook $N_{2t/m5,i}=0$ geldt:

$$f_i = \frac{0.061 * 0.69}{T * I} \text{ per vtgkm, waarin}$$

0.061	De over de Nederlandse hoofdvaarwegen gemiddelde verhouding tussen het aantal sloopsschades in de schadeklassen 4, 5 en de schadeklassen 2 t/m 5 24]
0.69	Het geschat aantal sloopsschades in de schadeklassen 2 t/m 5. Dit is gebaseerd op de veronderstelling dat het optreden van sloopss- chades in de tijd kan worden beschreven met een Poisson- verdeling. Wanneer de kans op het optreden van 0 sloopsschades in de beschouwde periode gelijk is aan 0.5 (geen a priori informatie beschikbaar) geldt: $P(N = 0) = \frac{\lambda^0 e^{-\lambda}}{0!} = 0.5$ waarin λ de verwachtingswaarde is voor het aantal schades. Hieruit volgt $\lambda=0.69$
T	Aantal beschouwde jaren
I	Verkeersintensiteit beroepsvaart (/jaar)

B. Voor de resterende kilometerraaien:

$$f = \frac{N_{4,5,tot} - \sum N_{4,5,i}}{T * I * (L - N_u)} \text{ per vtgkm, waarin}$$

$\sum N_{4,5,i}$	De som van alle sloopsschades in de schadeklassen 4 of 5 op de uitzonderingskilometers
------------------	---

$N_{4,5,tot}$	Totaal aantal scheepsschades in de schadeklassen 4 of 5 op het verkeersvak
T	Aantal beschouwde jaren
I	Verkeersintensiteit beroepsvaart (/jaar)
N_u	Aantal uitzonderingskilometers
L	Lengte verkeersvak (km)

Als $N_{4,5,tot} = 0$ wordt de volgende schatting toegepast:

$$f = \frac{0.061 * (N_{2t/m5,tot} - \sum N_{2t/m5,i})}{T * I * (L - N_u)} \text{ per vtgkm, waarin}$$

0.061	De over de Nederlandse hoofdvaarwegen gemiddelde verhouding tussen het aantal scheepsschades in de schadeklassen 4, 5 en de schadeklassen 2 t/m 5 [24]
$\sum N_{2t/m5,i}$	De som van alle scheepsschades in de schadeklassen 2 t/m 5 op de uitzonderingskilometers
$N_{2t/m5,tot}$	Totaal aantal scheepsschades in de schadeklassen 2 t/m 5 op het verkeersvak
T	Aantal beschouwde jaren
I	Verkeersintensiteit beroepsvaart (/jaar)
N_u	Aantal uitzonderingskilometers
L	Lengte verkeersvak (km)

Als ook $N_{2t/m5} = 0$ geldt:

$$f = \frac{0.061 * 0.69}{T * I * L} \text{ per vtgkm, waarin}$$

0.061	De over de Nederlandse hoofdvaarwegen gemiddelde verhouding tussen het aantal scheepsschades in de schadeklassen 4, 5 en de schadeklassen 2 t/m 5 [24]
0.69	Het geschat aantal scheepsschades in de schadeklassen 2 t/m 5. Dit is gebaseerd op de veronderstelling dat het optreden van scheepsschades in de tijd kan worden beschreven met een Poisson-verdeling. Wanneer de kans op het optreden van 0 scheepsschades in de beschouwde periode gelijk is aan 0,5 (geen a priori informatie beschikbaar) geldt: $P(\underline{N} = 0) = \frac{\lambda^0 e^{-\lambda}}{0!} = 0.5$ waarin λ de verwachtingswaarde is voor het aantal schades. Hieruit volgt $\lambda = 0.69$
T	Aantal beschouwde jaren
I	Verkeersintensiteit beroepsvaart (/jaar)
L	Lengte verkeersvak (km)

Stap 7 Correctie voor "gecreëerde" sloopsschades

Wanneer gebruik wordt gemaakt van de schatting van het aantal zware sloopsschades op grond van de aantallen in de klassen 2 t/m 5, vanwege het ontbreken van sloopsschades in de klassen 4 en 5, worden met de berekende sloopsschadefrequenties op het verkeersvak meer zware sloopsschades voorspeld dan in de casuïstiek periode zijn gebeurd.

De hiervoor berekende frequenties van alle kilometerradien worden vermenigvuldigd met een factor, zodat de verwachtingswaarde van het aantal sloopsschades in de schadeklassen 4 en 5 op het verkeersvak in de beschouwde casuïstiek periode overeenkomt met het daadwerkelijk opgetreden aantal.

De vermenigvuldigingsfactor bedraagt:

$$CF = \frac{N_{4,5,tot}}{\sum f_i * T * I + f * T * I * (L - N_u)} \text{ waarin}$$

$N_{4,5,tot}$	Totaal aantal sloopsschades in de schadeklassen 4 of 5 op het verkeersvak
$\sum f_i * T * I$	Voorspeld aantal sloopsschades in de klassen 4 of 5 op de uitzonderingskilometers
$f * T * I * (L - N_u)$	Voorspeld aantal sloopsschades in de klassen 4 of 5 op de overige kilometers

6.2 Toepassingsvoorbeeld**Stap 1**

Voor dit voorbeeld is alleen de vaarweglengte van belang. Deze bedraagt 35.19 km.

Stap 2

Er blijken geen nautische redenen om de vaarweg verder op te splitsen. Deze lengte wordt als verkeersvak beschouwd.

Stap 3

Uit de SOS database blijken de volgende cijfers.

Tabel 6-2 Schepen per schadeklasse

Schadeklasse	Aantal sloopsschades in periode
2	110
3	24
4	5
5	6

Stap 4

De beschouwde periode is 10 jaar. Er zijn geen belangrijke wijzigingen in de infrastructuur geweest. De verkeersintensiteit van de beroepsvaart is gemiddeld over deze 10 jaar 86483 passages per jaar.

Stap 5

Het gemiddeld aantal sloopschades per km bedraagt:

$$\bar{N} = \frac{N_{2t/m5}}{L} = \frac{145}{35.19} = 4.12$$

$$p = \frac{1}{L} = \frac{1}{35.19} = 0.028$$

Een kilometerraai wordt als afwijkend beschouwd als

$$N_{2t/m5,i} = \text{Invbinomdist}(0.975, 145, 0.028) = 8 \text{ of groter}$$

En als

$$N_{2t/m5,i} = \text{Invbinomdist}(0.025, N_{tot}, p) = 1 \text{ of minder}$$

Dit blijkt het geval voor de volgende kilometerraaien:

Kmraai	Aantal sloopschades	
	Schadeklassen 2 t/m 5	Schadeklassen 4 en 5
1	12	2
12	11	2
19	10	0
20	9	0
31	10	2

Stap 6

Km raai	Aantal scheepsschades		Frequentie /vtgkm	PRED 4,5
	Schade- klassen 2 t/m 5	Schade- klassen 4 en 5		
1	12	2	$f_i = \frac{N_{4,5,i}}{T * I} = \frac{2}{10 * 86843} = 2.3 \cdot 10^{-6}$	2
12	11	2	$f_i = \frac{N_{4,5,i}}{T * I} = \frac{2}{10 * 86843} = 2.3 \cdot 10^{-6}$	2
19	10	0	$f_i = \frac{0.061 * N_{2t/m5,i}}{T * I} = \frac{0.061 * 10}{10 * 86843} = 7.1 \cdot 10^{-7}$	0.6
20	9	0	$f_i = \frac{0.061 * N_{2t/m5,i}}{T * I} = \frac{0.061 * 9}{10 * 86843} = 6.4 \cdot 10^{-7}$	0.5
31	10	2	$f_i = \frac{N_{4,5,i}}{T * I} = \frac{2}{10 * 86843} = 2.3 \cdot 10^{-6}$	2
overige	93	5	$f = \frac{N_{4,5,tot} - \sum N_{4,5,i}}{T * I * (L - N_u)} = \frac{145 - 53}{10 * 86843 * (35.19 - 5)} = 1.9 \cdot 10^{-7}$	5
Totaal		11		12.2

Stap 7 Correctiefactor

De correctiefactor bedraagt:

$$CF = \frac{11}{12.2} = 0.9$$

De resulterende scheepsschadefrequenties zijn:

$$\text{Kmraai 1: } f_i = 0.9 \times 2.3 \times 10^{-6} = 2.1 \times 10^{-6}$$

$$\text{Kmraai 12: } f_i = 0.9 \times 2.3 \times 10^{-6} = 2.1 \times 10^{-6}$$

$$\text{Kmraai 19: } f_i = 0.9 \times 7.1 \times 10^{-7} = 6.4 \times 10^{-7}$$

$$\text{Kmraai 20: } f_i = 0.9 \times 6.4 \times 10^{-7} = 5.7 \times 10^{-7}$$

$$\text{Kmraai 31: } f_i = 0.9 \times 2.3 \times 10^{-6} = 2.1 \times 10^{-6}$$

$$\text{Overig: } f_i = 0.9 \times 1.9 \times 10^{-7} = 1.7 \times 10^{-7}$$

7 Bibliografie

- 1 Ministerie I&M, *Besluit houdende milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid in verband met het vervoer van gevaarlijke stoffen over transportroutes (Besluit externe veiligheid transportroutes)*, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2013, nummer 465.
- 2 Golbach, G.A.M., Amelsfort, D.H. van, Bus, L.M., *Actualisatie uitstroomfrequenties wegtransport*, projectnummer 05860, AVIV/Goudappel Coffeng, 2005.
- 3 AVIV, *Vuistregels externe risico's transport gevaarlijke stoffen*, 1997.
- 4 Prorail, *Realisatiecijfers 2007*, 2008.
- 5 Prorail, *Beleidsvrije marktverwachting vervoer gevaarlijke stoffen per spoor voor de middellange termijn*, 2007.
- 6 DVS, *Aantal schepen per sluis per stofcategorie per jaar*, 2009.
- 7 Ministeries VROM, BZK, SZW en V&W, 2005 PGS 3, *Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book)*, december 2005 (voorheen CPR18E)
- 8 KNMI (Royal Dutch Meteorological Institute), *Climatological data of Netherlands stations. No. 8 Frequency tables of atmospheric stability*, De Bilt, 1972.
- 9 AVIV, *Systematiek voor indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen*, 2^e editie, Enschede, 1999.
- 10 COVO study, *Risk Analyses of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study*, D. Reidel Publishing Company, 1982.
- 11 Ministerie VROM, BZK, SZW en V&W, *Methods for the calculation of physical effects: Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) (Yellow Book)*, Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 2 (PGS 2), third edition, Den Haag, 2005.
- 12 D. Mackay, R.S. Matsugu, *Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 51, 1973, p.434-439.
- 13 R.C. Reid, J.M. Prausnitz, B.E. Poling, *The properties of gases en liquids*, 1977.
- 14 *Methoden voor het berekenen van de fysische effecten van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Gele Boek)*, eerste druk 1979.
- 15 Commissie Preventie van rampen door Gevaarlijke stoffen. *Methoden voor het berekenen van fysische effecten (CPR-14*, Tweede druk, 1988.
- 16 C.A. Cox, R. J. Carpenter, *Further development of a dense vapour cloud model for hazard analysis*, in: S. Hartwig (ed), *Heavy gas and risk assessment*, 1980.
- 17 M.C. Emerson, *Dense cloud behaviour in momentum jet dispersion*, IMA Conference Mathematics in major accident risk assessment, 1986.
- 18 AVIV, *De onzekerheid van effectberekeningen in risicostudies*, 1986.
- [19 VROM, *LPG Integraal, Rapport 1225, Schadebepaling transport van LPG over de binnenwateren*, Apeldoorn, mei 1983.
- 20 RIVM, *Handleiding Risicoberekeningen Bevi (HRB)*, versie 3.3, 1 juli 2015.

- 21 *SAVE, Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per Spoor, Concept Rapport 060333-Q53, april 2006.*
- 22 *SAVE, Basisfaalfrequenties voor het transport van gevaarlijke stof over de vrije baan, rapport 95675-556, Apeldoorn, mei 1995*
- 23 *AVIV, Risicoatlas Hoofdvaarwegen Nederland, Enschede, 2003.*
- 24 *AVIV, Default sloopsschadefrequenties RBMII, kenmerk RBM II-010706, Enschede, 19 juli 2006.*
- 25 *AVIV, Uitgangspunten Risicoberekeningen Basisnet Spoor per 1 juni 2008, kenmerk 081313_7 versie 10, Enschede, 17 juli 2008*