



Adviesgroep AVIV BV
Langestraat 11
7511 HA Enschede

Externe veiligheid Noordhollandsch Kanaal

Project : 01415
Datum : 27 november 2002
Auteur : ir. G.A.M. Golbach

Opdrachtgever:
Provincie Noord-Holland
t.a.v. drs. J. Pijning
Postbus 3007
2001 DA Haarlem

Inhoudsopgave

1. Inleiding	2
2. Gegevens	3
2.1. Vaarweg	3
2.2. Intensiteit scheepsverkeer	3
2.3. Incidenten	3
2.4. Transport gevaarlijke stoffen	7
3. Risico	9
3.1. Scenario's	9
3.2. Effect bij directe ontsteking	9
3.3. Spreiding van aardgascondensaat op water	10
3.4. Spreiding en verdamping van condensaat op water	12
3.5. Effect bij vertraagde ontsteking	14
3.6. Individueel en groepsrisico	15
4. Conclusie	16
Referenties	17
Bijlage 1. IPORBM	

1. Inleiding

Over het Noordhollandsch Kanaal vindt in beperkte mate transport van gevaarlijke stoffen plaats. Het extern veiligheidsrisico veroorzaakt door dit transport wordt in dit onderzoek geëvalueerd.

In hoofdstuk 2 worden de benodigde gegevens voor een risicobeoordeling van het transport van gevaarlijke stoffen over het Noordhollandsch Kanaal samengevat. Het betreft een overzicht van de scheepsintensiteit, scheepsongevallen geregistreerd in de periode 1991 t/m 2000 en de aard en omvang van het transport van gevaarlijke stoffen. In hoofdstuk 3 worden de risico's verbonden aan het transport beoordeeld. De effecten van de uitstroombesonderheden worden tevens beschreven. Hoofdstuk 4 tenslotte bevat de conclusie.

2. Gegevens

2.1. Vaarweg

Het Noordhollandsch Kanaal loopt van Amsterdam (Willemsluis) via Purmerend en Alkmaar naar Den Helder (Koopvaardersschutsluis). Het traject Amsterdam tot Purmerend heeft een bevaarbaarheidsklasse CEMT II, de trajecten Purmerend tot Alkmaardermeer en Alkmaardermeer tot Den Helder hebben een bevaarbaarheidsklasse CEMT IV. Binnenvaartschepen over het Noordhollandsch Kanaal zullen veelal tevens gebruik maken van de vaarweg over het Alkmaardermeer en de Zaan naar en van het Noordzeekanaal.

2.2. Intensiteit scheepsverkeer

In 1998 varieerde het aantal passages van binnenvaartschepen op het Noordhollandsch Kanaal van 1090 bij de Schutsluis in Purmerend tot 5930 bij de Koopvaardersschutsluis in Den Helder. In de gemeenten langs het Noordhollandsch Kanaal wordt hoofdzakelijk zand en grind geladen en gelost [1]. Recentere gegevens lijken niet beschikbaar. In de gezamenlijke publicaties van het CBS en AVV over de scheepvaart over de binnenwateren jaren 1999 en 2000 zijn geen gegevens over het Noordhollandsch Kanaal opgenomen [2, 3]. Tabel 1 toont het aantal passages van binnenvaartschepen voor 1998.

Het aantal passages in 1998 van binnenvaartschepen bij de Wilhelminasluis in Zaandam bedroeg 13350. Er is onvoldoende informatie beschikbaar over de herkomst en bestemming van de schepen, met name ook voor de registratie bij de Koopvaardersschutsluis in Den Helder. Door het ontbreken van deze gegevens van de schepen die gebruik maken van de Koopvaardersschutsluis is niet bekend welke scheepsbewegingen beperkt blijven tot het havengebied van Den Helder en welke gebruik maken van het Noordhollandsch Kanaal.

Telpunt Noordhollandsch Kanaal	Aantal passages 1998
Koopvaardersschutsluis Den Helder	5930
Vlotbrug 't Zand	2670
Koedijkervlotbrug	1790
Schutsluis Purmerend	1090
Willemsluis Amsterdam	1860

Tabel 1. Aantal passages binnenvaartschepen

2.3. Incidenten

Het databestand ONOVIS van Rijkswaterstaat is gebruikt om de scheepsongevallen op het Noordhollandsch Kanaal te evalueren. In de periode 1991 t/m 2000 zijn er in ONOVIS 69 scheepsongevallen op het Noordhollandsch Kanaal geregistreerd. Tabel 2 toont het

aantal geregistreerde ongevallen per jaar. Bij de beheerder van het bestand bestaat het vermoeden dat er de afgelopen jaren sprake is van een lagere registratiegraad van ongevallen dan daarvoor gebruikelijk.

Jaar	Aantal
1991	10
1992	10
1993	9
1994	17
1995	4
1996	9
1997	5
1998	2
1999	1
2000	2

Tabel 2. Aantal geregistreerde scheepsongevallen Noordhollandsch Kanaal

Tabel 3 toont het onderscheid naar de aard van het ongeval. Onderscheiden worden aanvaringen van een schip met een object (bijvoorbeeld een brug of sluis), aanvaringen tussen schepen en niet-aanvaringen (bijvoorbeeld brand aan boord of hinder veroorzaakt door te hard varen).

Aard van het ongeval	Aantal
Aanvaring met object	25
Aanvaring met schip	25
Niet-aanvaring	19

Tabel 3. Aard van het ongeval

De tabellen 4 t/m 6 tonen voor elk type ongeval een aantal kenmerken. Het betreft een aanduiding van de situatie op de vaarweg en de mogelijke oorzaak. Voor de ongevallen aanvaring met schip zijn tevens twee kenmerken van de aanvaring opgenomen.

Vaarwegsituatie primair	Vaarwegsituatie secundair	Aard	Sub	Oorzaak
Bocht	Brug	Gemeerd vaartuig	Kop-flank	Wind
Bocht	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-flank	Wind en weigerende motor
Haven		Gemeerd vaartuig		Weigering keerkoppeling
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig		Aanvaring met gemeerd schip
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-flank	Onoplettendheid
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-flank	Tijdens afmeren door wind gegrepen
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-hek	Gebroken tros.
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-flank	Wind
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-hek	Defect aan hulpmotor
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-hek	Geen startlucht genoeg om

Vaarwegsituatie primair	Vaarwegsituatie secundair	Aard	Sub	Oorzaak
				motor om te keren
Haven	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-hek	Onbekend
Haven	Overige			Breken ketting
Overige	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-flank	Onjuiste manoeuvre van de schipper van 1
Recht vaarweggedeelte		Gemeerd vaartuig	Kop-hek	Onoplettendheid
Recht vaarweggedeelte		Koerskruiser	Kop-flank	
Recht vaarweggedeelte		Tegenligger	Kop-flank	Niet duidelijk geworden ,tegenstr verklaring.
Recht vaarweggedeelte		Tegenligger	Kop-kop	Loslopende bout van stuurwerk.
Recht vaarweggedeelte	Brug	Gemeerd vaartuig		Teveel stuurboord gevaren
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-flank	Defect roerwerk en wind
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-flank	Wind??
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Meeligger	Kop-flank	Menselijk falen
Sluis		Gemeerd vaartuig	Hek-hek	Onoplettendheid
Sluis	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Flank-flank	Defecte kopschroef.
Sluis	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-flank	Schepen niet goed afgemeerd.
Splitsing	Meerplaats	Gemeerd vaartuig	Kop-flank	Op een verboden ligplaats afgemeerde jachten

Tabel 4. Aanvaring met schip

Vaarwegsituatie primair	Vaarwegsituatie secundair	Oorzaak
Bocht		Te wild gedraaid,
Bocht	Brug	
Bocht	Oever	
Bocht haveningang	Brug	Inschattingsfout
Haven		Weigerende koppeling.
Haven	Brug	Onachtzaamheid.
Haven	Brug	Onbekend
Haveningang		
Kruising		Manoeuvrefout
Recht vaarweggedeelte	Brug	
Recht vaarweggedeelte	Brug	Door rood licht varen
Recht vaarweggedeelte	Brug	Giek niet binnen gehaald
Recht vaarweggedeelte	Brug	Haperende brug.
Recht vaarweggedeelte	Brug	Misverstand en onoplettendheid
Recht vaarweggedeelte	Brug	Onbekend
Recht vaarweggedeelte	Brug	Onbekend.
Recht vaarweggedeelte	Brug	Onoplettendheid van de sluismeester.
Recht vaarweggedeelte	Brug	Wind
Recht vaarweggedeelte	Oever	
Recht vaarweggedeelte	Oever	Stuurfout
Sluis		Weigerende keerkoppeling
Sluis		wind
Sluis	Oever	Weigerende koppeling.
Sluis	Overige	Samenloop van omstandigheden

Tabel 5. Aanvaring met object

Vaarwegsituatie primair	Vaarwegsituatie secundair	Oorzaak
		Brand aan boord schip
Bocht	Brug	Zuiging en golfslag.
Haven	Meerplaats	Smeulende las-slak die als ontstekingsbron diende
Onbekend	Onbekend	Brand aan boord schip
Recht vaarweggedeelte		Hekgolf passerend schip
Recht vaarweggedeelte	Brug	Onvoorzichtigheid
Recht vaarweggedeelte	Brug	Oververhitting
Recht vaarweggedeelte	Brug	Zuiging
Recht vaarweggedeelte	Losplaats	Zuiging
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Hinderlijke golfslag
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Hinderlijke waterbeweging
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Te snel passerend schip
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Vaartuig niet goed afgemeerd
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Zuiging
Recht vaarweggedeelte	Meerplaats	Zuiging/golfslag passerend schip
Recht vaarweggedeelte	Oever	Onoplettendheid
Recht vaarweggedeelte	Overige	Hinderlijke waterbeweging

Tabel 6. Niet-aanvaring

De ernst van de ongevallen is veelal beperkt tot geen of lichte schade aan de bij het ongeval betrokken schepen. In vijf ongevallen is de schade aan een bij het ongeval betrokken schip als zwaar gekarakteriseerd. De anoniem gemaakte beschrijving van deze ongevallen wordt getoond in tabel 7.

Het geregistreerde aantal scheepsongevallen met zware schade kan in principe worden gebruikt om een ongevalsfrequentie af te leiden, die maatgevend is voor de risicoberekening. Voor een vaarweg met bevaarbaarheidsklasse IV geldt een standaard ongevalsfrequentie van $6.7 \cdot 10^{-7}$ /vtgkm. Gelet op het geringe aantal ongevallen zal deze standaard frequentie worden gebruikt.

Beschrijving ongevallen met zware scheepsschade
Schip 1 werd gesleept door schip 2 in de richting van de Havenmond, toen t.h.v. de Paleiskade de tros brak, op de ingekort lange tros kon de kade vrijgevaren worden, maar het aan steiger 10 afgemeerde schip 3 niet.
Schip 1 en 2 naderden elkaar uit tegenovergestelde richting t.h.v. de Schooridammerbrug. Beide schepen hebben een geringe vaarsnelheid en willen elkaar b.b.-b.b. passeren. Doordat er bij schip 1 een moer van het stuurwerk afloopt is
Schip 1 voer met dusdanige snelheid door het Noordhollandsch Kanaal, dat hij zoveel zuiging veroorzaakte, dat bij schip 2 een spring brak, waardoor hij bij de voor hem afgemeerde schip 3 in het achterschip liep.
Het motorjacht 1 kwam vanuit de richting Amsterdam en voer door rood licht terwijl de brug reeds aan het zakken was. Hierdoor kwam het jacht klem te zitten onder de klap. De brugwachter had wel middels camera's kunnen zien of de opening geheel vrij was.
Aan stuurboordzijde gat van 40 centimeter in de midscheeps mogelijk door uitstekende delen van ponton waarlangs de bak heeft gelegen.

Tabel 7. Beschrijving ongevallen met zware scheepsschade

2.4. Transport gevaarlijke stoffen

De aard en omvang van het transport van gevaarlijke stoffen over het Noordhollandsch Kanaal wordt niet op een telpunt geregistreerd. Het grootste aandeel in het transport betreft de afvoer van gestabiliseerd aardgascondensaat van de NAM gasbehandelingsinstallatie Den Helder via het Noordhollandsch Kanaal naar het zuiden over de Zaan richting Noordzeekanaal. Er is aangenomen dat er over de trajecten Alkmaardermeer – Purmerend en Purmerend – Amsterdam (Willemsluis) geen relevant transport van gevaarlijke stoffen plaatsvindt.

Het jaarlijks aantal transporten van aardgascondensaat is afgeleid uit data geleverd door de NAM aan het Bureau Vaarwegen Noord-Holland. Het betreft de maanden januari t/m oktober 2000 en maart t/m oktober 2001. Gedurende deze 18 maanden zijn er 238 tankers geladen. Gemiddeld over deze perioden is het aantal tankers 160 per jaar.

De Regionale Brandweer Zaanstreek is bezig met een onderzoek naar de risico's in en om de Zaan [4]. De Zaan loopt vanaf het Alkmaardermeer door het centrum van Zaanstad en via de Wilhelminasluis naar het Noordzeekanaal. Door de Havendienst van de gemeente Zaanstad worden alle scheepvaartbewegingen door de Wilhelminasluis verwerkt in een bestand. Tabel 8 toont het aantal beladen schepen per jaar gemiddeld over 1999 en 2000. Hierbij wordt opgemerkt dat de tonnage van de containers vloeibare gassen (en andere aard van de lading) waarschijnlijk foutief zijn afgeleid uit de basisgegevens. De inhoud van een container is 10 tot 20 ton.

De havendienst van Den Helder beschikt niet over gegevens betreffende de aard van de lading van schepen die gebruik maken van de Koopvaardersschutsluis.

Code	Aard lading	Aantal	Tonnage [1000 ton]
1	Zand	1980	1822
3	Bulktransport granen	1077	1271
2	Getankte plantaardige oliën	526	425
34	Getankt aardgascondensaat	106	92
13	Getankte gasolie	96	67
17	Containers ruwe grondstoffen	56	43
7	Bulktransport cacaobonen	45	36
14	Containers vloeibare gassen	24	23
32	Getankte minerale oliën	21	19
12	Getankte benzine	16	8
6	Bagger vervuilde grond	9	5
31	Gestorte steenkool	2	3
5	Vliegas	2	2
15	Containers vloeistoffen	2	1
4	Veevoeders	1	0
16	Containers groenten en fruit	1	0
8	Afval	0	0

Tabel 8. Gegevens beladen schepen Wilhelminasluis Zaanstad 1999/2000 gemiddeld

Gebaseerd op bovenstaande gegevens kan worden gesteld dat de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen over het Noordhollandsch Kanaal worden veroorzaakt door het transport van aardgascondensaat. Voor de risicoberekening zal worden uitgegaan van 160 beladen transporten per jaar.

3. Risico

3.1. Scenario's

De grootte van een enkelwandige binnenvaarttanker die voor het transport van aardgascondensaat wordt gebruikt is ongeveer 2000 m³. De gemiddelde lading van een tanker is 1000 ton. De tanker is gecompartmenteerd. Elk compartiment heeft een grootte van ongeveer 200 m³. Bij lekkage boven de waterlijn zal naar verwachting slechts een klein gedeelte van de inhoud van een compartiment kunnen vrijkomen. Bij lekkages onder de waterlijn is de uitstroming afhankelijk van de plaats (hoever onder de waterlijn) en van de gatgrootte. Het volledig vrijkomen van de inhoud van een compartiment wordt niet reëel geacht. De uitstroombenamingen voor vloeistofuitstroming bij een enkelwandig schip gegeven een ongeval met zware schade zijn samengevat in tabel 9. De frequentie op een scheepsongeval met zware schade op een vaarweg met bevaarbaarheidsklasse IV is $6.7 \cdot 10^{-7}$ /vtgkm. Bijlage 1 toont de overige kenmerken van de berekening met IPORBM.

Scenario	Kans	Volume [m ³]	Duur [s]	Debiet [m ³ /s]
Kleine uitstroming	0.2	30	1800	0.017
Grote uitstroming	0.1	75	1800	0.042

Tabel 9. Uitstroombenamingen

Hierna wordt het optredende effect bij directe en vertraagde ontsteking beschreven. Voor vertraagde ontsteking wordt gebruik gemaakt van effectmodellen die rekening houden met gelijktijdige spreiding en verdamping van een vloeistof bestaande uit verschillende componenten. Deze modellen zijn vanwege hun complexiteit niet gebruikt in IPORBM, maar ze zijn uitvoerig in de wetenschappelijke literatuur beschreven en gevalideerd. Het gebruik van deze modellen voldoet daarmee aan de thans geldende voorschriften. In IPORBM wordt vanwege de eenvoud gewerkt met een zuivere voorbeeldstof (voor de stofcategorie LF2 betreft dit pentaan) en met de veronderstelling dat het effect voor vertraagde ontsteking niet relevant afwijkt van het effect bij directe ontsteking. Vertraagde ontsteking wordt dus in IPORBM niet gemodelleerd (zie ook de gebeurtenisboom afgebeeld als figuur 2 in bijlage 1).

3.2. Effect bij directe ontsteking

Bij directe ontsteking ontstaat een plasbrand. Het maximaal oppervlak van de plasbrand voor de aanvaringsszenario's wordt bepaald met de brandsnelheid voor koolwaterstoffen van 0.06 kg/m²s. Tabel 10 toont het oppervlak van de plasbrand voor de massastroom vrijgekomen condensaat.

Scenario	Massastroom [kg/s]	Oppervlak [m ²]	Diameter [m]
Kleine uitstroming	11.3	188	15.5
Grote uitstroming	28.3	472	24.6

Tabel 10. Maximaal oppervlak van een plasbrand bij directe ontsteking

Voor deze scenario's is de maximale afstand vanaf het centrum van de brand tot een warmtebelasting van 10.0 kW/m² berekend. Deze waarde van 10.0 kW/m² voor de warmtebelasting leidt bij onbeschermd blootstelling gedurende 20 s tot een kans op overlijden van 1%. De berekening is voor verschillende windsnelheden uitgevoerd met Riskcalc 2.3 (op grondniveau in de richting waarnaar de wind staat). Het resultaat is samengevat in tabel 11.

Scenario	1 m/s	5 m/s	9 m/s
Kleine uitstroming	22	25	25
Grote uitstroming	25	30	32

Tabel 11. Maximale afstand tot 10.0 kW/m² bij een plasbrand

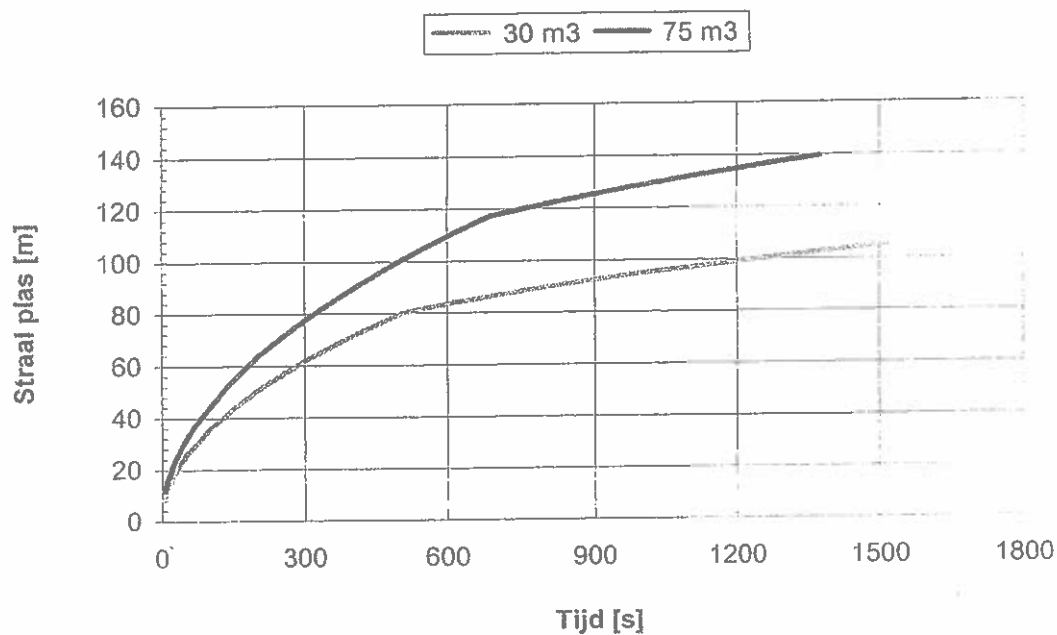
3.3. Spreiding van aardgascondensaat op water

De spreiding van op water vrijgekomen condensaat is te onderscheiden in drie fasen. In de beginfase wordt de spreiding veroorzaakt door het zwaartekrachtseffect en de invloed van traagheidskrachten. Gedurende de tweede fase treden voornamelijk de zwaartekracht en visceuse krachten op, terwijl in de derde fase de spreiding wordt beheerst door de oppervlaktespanning van de spreidende vloeistof en de visceuse krachten.

Figuur 1 toont de straal van de plas voor de spreiding van condensaat op een onbegrensd wateroppervlak volgens vergelijkingen gegeven in [5] en [6]. De dichtheid van het condensaat is hier 680 kg/m³. Figuur 2 toont de lengte van de plas voor de spreiding van condensaat in een kanaal volgens vergelijkingen gegeven in [5]. De breedte van het kanaal is hier 50 m. In vergelijking met een onbegrensd spreidende plas is het plasoppervlakte als functie van de tijd aanmerkelijk kleiner. Na een grote tijdsperiode geldt ongeveer dat de lengte van een plas spreidend in een kanaal gelijk is aan de diameter van een onbegrensd spreidende plas. Voor een uitstroming van 30 m³ condensaat is de lengte van de plas na 30 min ongeveer 170 m, voor 75 m³ condensaat 280 m.

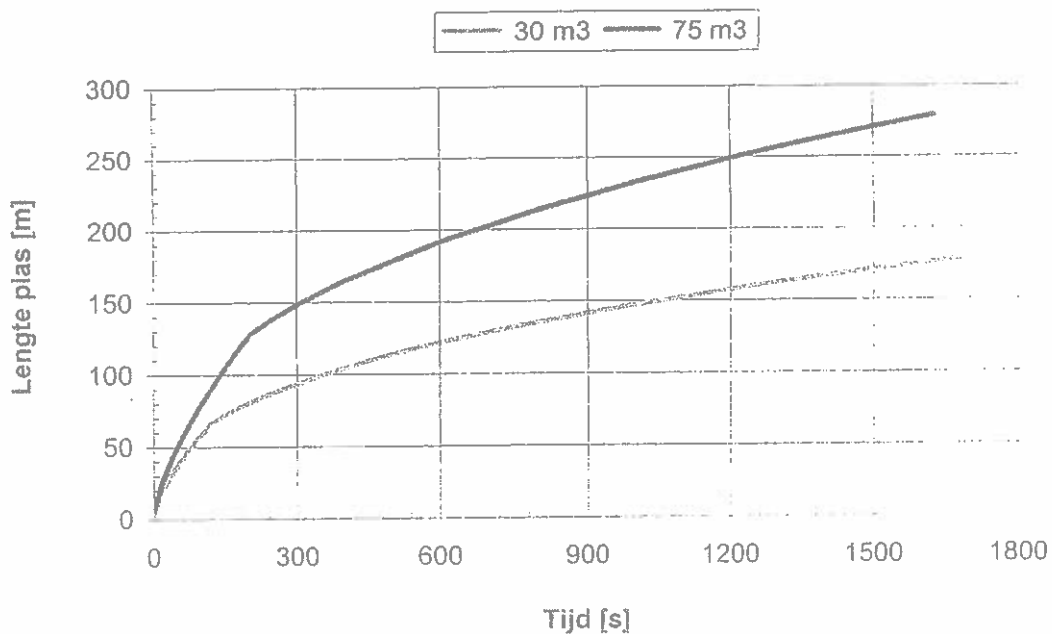
In beide modellen wordt de invloed op de spreiding van de verdamping van componenten uit het condensaat verwaarloosd. Tevens wordt verondersteld dat het condensaat instantaan vrijkomt. Deze vereenvoudigingen leiden tot een te groot geschat plasoppervlak als functie van de tijd.

Cirkelvormige spreiding van condensaat



Figuur 1. Straal van de plas bij onbegrensde spreiding op water

Kanaalvormige spreiding van condensaat



Figuur 2. Lengte van de plas bij kanaalvormige spreiding op water

3.4. Spreiding en verdamping van condensaat op water

De gelijktijdige spreiding en verdamping van condensaat op water is berekend met het model LPOOL uit HGSYSTEM [7, 8]. In dit model wordt verondersteld dat de plas zich onbegrensd kan spreiden. In het verdampingsmodel kan de vloeistof maximaal acht componenten bevatten. De samenstelling van het condensaat voor het verdampingsmodel is gegeven in tabel 12. Het model geeft de volgende resultaten als functie van de tijd:

- Het oppervlak van de plas
- De massastroom gas die verdampt
- De samenstelling van het gas
- De samenstelling van de vloeistof in de plas

Het model maakt voor de verdamping gebruik van dezelfde basisvergelijkingen als het eenvoudige verdampingsmodel beschreven in het Gele Boek.

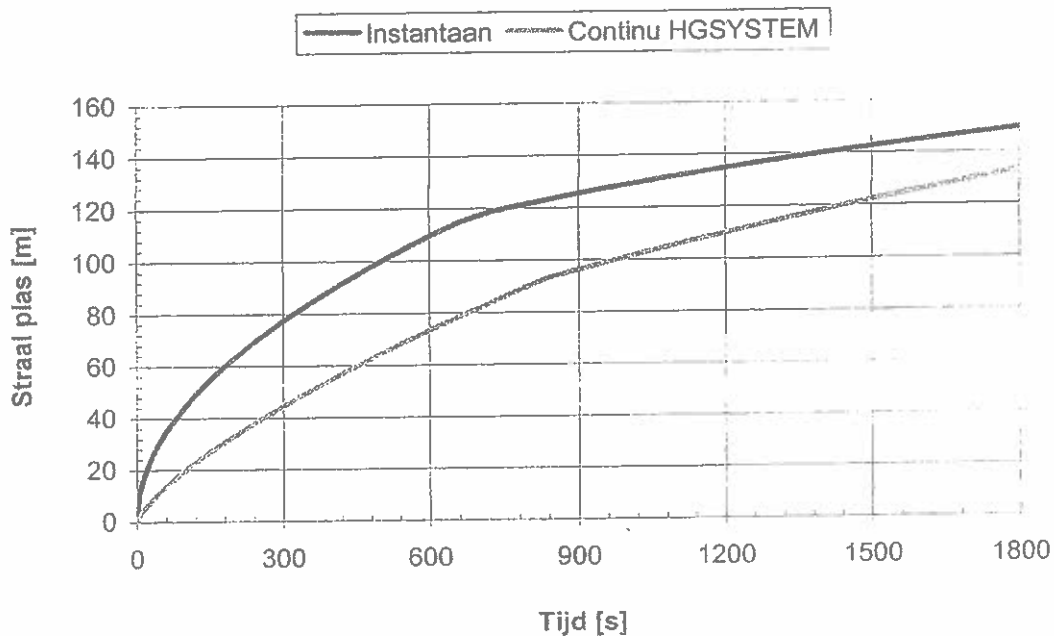
Component	Massa-%	Mol-%
C2	0.098	0.381
C3	0.692	1.835
I-C4	0.903	1.817
C4	2.396	4.821
C5	6.339	10.291
C6	8.030	10.961
Benzeen	7.792	11.665
C10	73.751	58.230

Tabel 12. Samenstelling condensaat voor het verdampingsmodel

Figuur 3 toont de straal van de plas voor het instantane spreidingsmodel uit paragraaf 3.3 en het continue spreidings- en verdampingsmodel uit HGSYSTEM. Vlak na het begin van de uitstroming geven beide modellen een groot verschil in de straal, maar naarmate de tijdsperiode groter wordt neemt het verschil af.

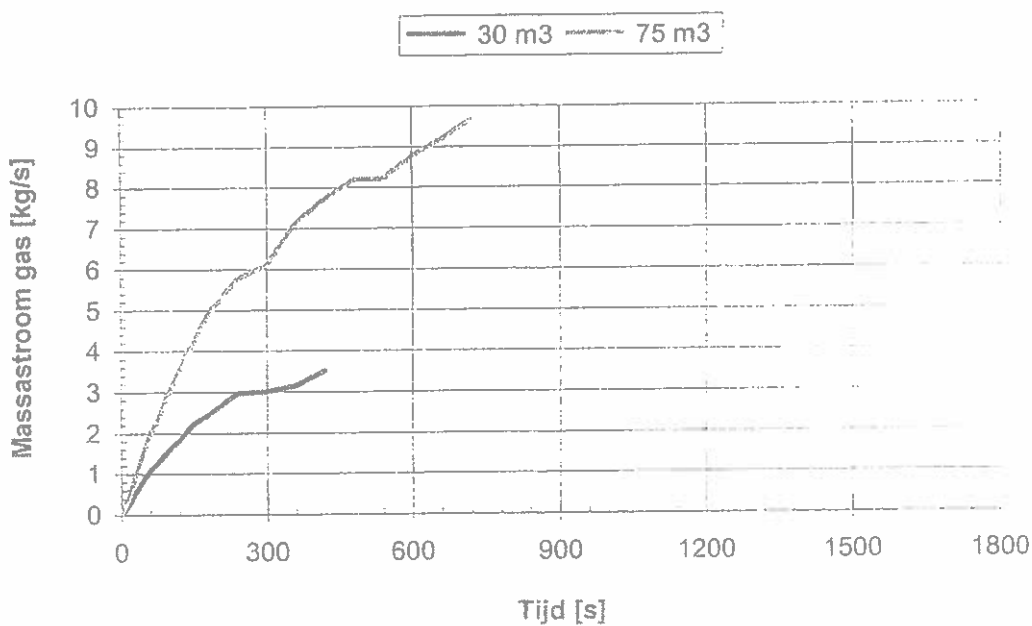
Figuur 4 toont de massastroom gas die verdampt. Waar de lijnen in deze figuur ophouden is de massastroom gas nagenoeg constant tot 1800 s. Deze constante waarde is voor het ongevalsscenario aanvaring klein ongeveer 3.8 kg/s en voor aanvaring groot 10.0 kg/s. De verdampte hoeveelheid is ongeveer 35 massa-% van de vrijgekomen hoeveelheid en bevat alle vluchtige componenten en een gering percentage decaan. Na 1800 s, als de uitstroming ophoudt, neemt de massastroom gas zeer snel af tot kleine waarden. Doordat uitstroming plaatsvindt over een grote tijdsperiode zijn op het tijdstip 1800 s de vluchtige componenten reeds verdampt uit het overgrote deel van de vrijgekomen massa condensaat. Hierdoor is ook de veronderstelling van een onbegrensd spreidende plas niet van invloed op de berekende massastroom gas. Ook bij een begrensde spreiding is het oppervlak van de plas voldoende groot om de berekende constante massastroom gas te bereiken.

Cirkelvormige spreiding van 75 m³ condensaat



Figuur 3. Straal van de plas bij onbegrense spreiding en verdamping op water

Cirkelvormige spreiding van condensaat op water



Figuur 4. Massastroom verdamppt gas bij onbegrense spreiding

3.5. Effect bij vertraagde ontsteking

Voor de verspreiding van het verdampte gas in de lucht is gebruik gemaakt van het model HEGADAS opgenomen in HGSYSTEM [8]. HEGADAS is een zwaar gas dispersiemodel, waarin de bronterm voor plasverdamping uit een rechthoekig oppervlak bestaat. De grootte van het beginoppervlak bepaalt de concentratie gas aan de rand van het oppervlak. In de aanvaringsscenario's wordt een grote plas gevormd. De verdamping van de vluchtige componenten zal echter voornamelijk plaatsvinden uit een beperkt oppervlak dicht bij de uitstroomopening. Met dit model is het mogelijk de verspreiding van een gas bestaande uit meerdere componenten te berekenen.

Zowel de bronsterkte als de samenstelling van het gas zijn tijdsafhankelijk. Voor de berekening van de verspreiding is een gemiddelde waarde gekozen. De bronsterkte voor het ongevalsscenario aanvaring klein is 3.2 kg/s en voor aanvaring groot is 7.8 kg/s (gemiddelde waarden over 1800 s). De samenstelling van het gas volgt uit het verdampingsmodel. Een samenstelling representatief voor de gekozen gemiddelde bronsterkte is gegeven in tabel 13.

Component	Mol-%
C2	11.1
C3	10.1
I-C4	5.0
C4	11.7
C5	19.6
C6	19.8
Benzeen	20.2
C10	2.5

Tabel 13. Samenstelling gas gevormd tijdens verdamping

Tabel 14 toont het resultaat van de verspreidingsberekening met als belangrijkste modelparameters stabiliteit D (neutraal weer), windsnelheid 5 m/s en terreinruwheid 0.1 m. De tabel bevat de omvang van de wolk voor een gas concentratie van 1 vol%, ongeveer de LFL-concentratie (de minimale concentratie waarbij de gaswolk nog kan worden ontstoken). Het beginoppervlak is gekozen als een vierkant, in de tabel gegeven in de kolom lengte bron.

Scenario	Lengte bron [m]	Afstand [m]	Breedte maximaal [m]	Hoogte maximaal [m]
Kleine uitstroming	10	30	21	1.3
	5	35	21	0.93
Grote uitstroming	20	50	33	1.7
	10	55	38	1.4
	5.7	65	34	1.35

Tabel 14. Omvang van de gevormde gaswolk voor een concentratie van 1 vol%

De aannames voor de initiële omvang van de gaswolk hebben een geringe invloed op het resultaat van de dispersieberekening.

De hoogte van de wolk tot de LFL-concentratie is gering, ongeveer 1.5 m voor de berekende situaties. Aangezien verspreiding plaatsvindt vanaf het waterniveau zal het gas zich accumuleren in het kanaal. Indien de wind in de richting van het kanaal staat zal het gas zich dicht bij het wateroppervlak over de breedte van het kanaal verspreiden. Indien de wind loodrecht op het kanaal staat dan zal het gas accumuleren bij de oever. De wolk zal daarbij extra sterk zijdelings spreiden en na verloop van tijd kan gas met een concentratie hoger dan LFL over de oever gaan stromen. Het gevaar van vertraagde ontsteking door ontstekingsbronnen op de oever is aanwezig geruime tijd na de uitstroming.

Door de uitstroming van condensaat op water ontstaat er een vloeistofplas. Verdamping uit deze plas leidt tot een relatief kleine gaswolk, waarvan de concentraties waarbij nog ontsteking mogelijk is zich grotendeels bevinden boven de plas. De omvang van het oppervlak van de wolk tot de LFL-contour is niet veel groter dan het oppervlak van de plas. Aangezien de massa gas in de wolk gering is zal vertraagde ontsteking veelal niet leiden tot een explosie. De afmetingen van de resulterende wolkbrand zullen niet veel groter zijn dan de afmetingen van de vloeistofplas. Het effect van vertraagde ontsteking zal veelal groter zijn dan bij directe ontsteking, omdat de spreidende plas op het moment van ontsteking een groter oppervlak inneemt. De vloeistof spreidt zich echter vooral in de lengterichting van het kanaal. Het verschil in het effect op de oever tussen directe en vertraagde ontsteking zal daarom niet groot zijn.

3.6. Individueel en groepsrisico

Met IPORBM is het risico berekend van het jaarlijkse transport van 160 enkelwandige tankers geladen met brandbare vloeistof categorie LF2 op een vaarweg met een breedte van 20 m en een standaard ongevalsfrequentie voor een vaarweg met een bevaarbaarheidsklasse IV. Het individueel (plaatsgebonden) risico op de oever is kleiner dan $1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr. Het groepsrisico is exemplarisch berekend voor tweezijdige bebouwing met een dichtheid van 100 personen per hectare op 5 m afstand van de rand van de vaarweg. Er is geen relevant groepsrisico berekend.

4. Conclusie

De externe veiligheidsrisico's veroorzaakt door het transport van gevaarlijke stoffen over het Noordhollandsch Kanaal zijn beoordeeld. De beschikbare gegevens over de aard en omvang van het transport van gevaarlijke stoffen zijn verzameld. De risico's worden bepaald door het transport van aardgascondensaat, dat geladen wordt bij de NAM gasbehandelingsinstallatie Den Helder. Jaarlijks vinden over het noordelijk deel van het Noordhollandsch Kanaal vanaf het NAM terrein tot het Alkmaardermeer en daarna over de Zaan ongeveer 160 transporten plaats van deze brandbare vloeistof. Voor het gedeelte van het Noordhollandsch Kanaal tussen het Alkmaardermeer via Purmerend naar de Willemsluizen in Amsterdam zijn geen gegevens over het vervoer van gevaarlijke stoffen per binnenvaartschip bekend.

In de risico analyse is voor het transport van aardgascondensaat uitgegaan van het lekragen van een compartiment van de binnenvaarttanker, waardoor 30 tot 75 m³ in 30 min uitstroomt. Ontsteking leidt tot een brandende vloeistofplas met een geschatte maximale diameter van 25 m. De afstand tot waarop een kans op overlijden van 1% bestaat bij onbeschermd blootstelling aan deze brand gedurende 20 s is ongeveer 35 m vanaf het midden van de brand. Uitgaande van het transport van aardgascondensaat is er geen relevant individueel (plaatsgebonden) risico en groepsrisico te verwachten.

Referenties

1. Policy Research Corporation 2001 Economische betekenis Noordhollandsch Kanaal Quick scan – eindrapport
2. AVV/CBS 2000 Nederland en de scheepvaart op de binnenwateren 1999
3. AVV/CBS 2001 Nederland en de scheepvaart op de binnenwateren 2000
4. Regionale Brandweer Zaanstreek 2002 Risico's in en om de Zaan Conceptversie 1.0 van 12 maart 2002
5. Raj, P.K. 1974 Assessment models in support of the hazard assessment handbook
6. Wingerden, A. van 1983 De spreiding van olie op zee Afstudeerverslag Rijkswaterstaat Directie Noordzee
7. Cavanaugh, T.A. 1994 Simulation of vapor emissions from liquid spills e.a. J. of Hazardous Materials, 38, blz. 41-63
8. TRC 1994 HGSYSTEM 3.0. Technical Reference Manual TNER.94.059 User's Manual TNER.94.058

Bijlage 1. IPORBM

1. Inleiding

Door AVIV is voor evaluatie van de externe veiligheid van het transport van gevaarlijke stoffen de standaard rekenmethodiek IPORBM ontwikkeld. Hiermee kan het individueel risico en groepsrisico veroorzaakt door het transport berekend worden.

2. Beschrijving IPORBM

2.1. Overzicht

In IPORBM bestaat de systeembeschrijving uit de typering van de vaarweg, de lengte van het vaarwegdeel, en de aantallen transporten per jaar in 8 stofcategorieën. De fractie van het transport die overdag plaatsvindt kan worden opgegeven. De ongevalskansen worden per deeltraject van een vaarwegdeel opgegeven en hebben betrekking op de kans op een ongeval in schadeklasse 3 of hoger. Het programma berekent zelf hieruit, afhankelijk van het vaarwegtype, de kans op uitstroming van een bepaalde omvang. De bevolkingsdichtheden worden aangegeven in rechthoeken langs de route met een uniforme dichtheid per rechthoek. Zowel de grootte van de rechthoeken, de afstand ten opzichte van het midden van de vaarweg, alsmede de dichtheid zijn invoerparameters. Er kan voor de dag en nacht een aanwezigheidsfractie worden opgegeven. De zes weertypes waarvoor de berekening kan worden uitgevoerd liggen vast, er is geen onderscheid naar windrichting. De kans op een bepaald weertype kan voor de dag- en de nachtsituatie worden opgegeven. Voor brandbare stoffen kan een directe en een vertraagde ontstekingskans worden opgegeven voor grote en kleine uitstromingen van gassen en vloeistoffen. Voor de vertraagde ontstekingskans zijn twee berekeningswijzen mogelijk, de gebruiker kan kiezen tussen een kans die wel of niet afhankelijk is van de passagetijd. De ongevalsscenario's en de effectberekeningen zijn niet door de gebruiker te beïnvloeden. Na het invoeren van de basisgegevens en het starten van de berekeningen worden de resultaten gepresenteerd in de vorm van risico-contouren langs de route en groepsrisico-curves per kilometer.

2.2. Ongevalsequentie en kans op uitstroming

IPORBM bevat defaultwaarden voor de ongevalsrequentie (schadeklasse 3 t/m 6) voor de onderscheiden vaarwegtypes. Gemiddelde waarden worden getoond in tabel 1. Voor druktankers is de kans op uitstroming afhankelijk van de bevaarbaarheidsklasse. Hiervoor is de factor F4 in de tabel opgenomen (zie ook de gebeurtenisboom in figuur 1).

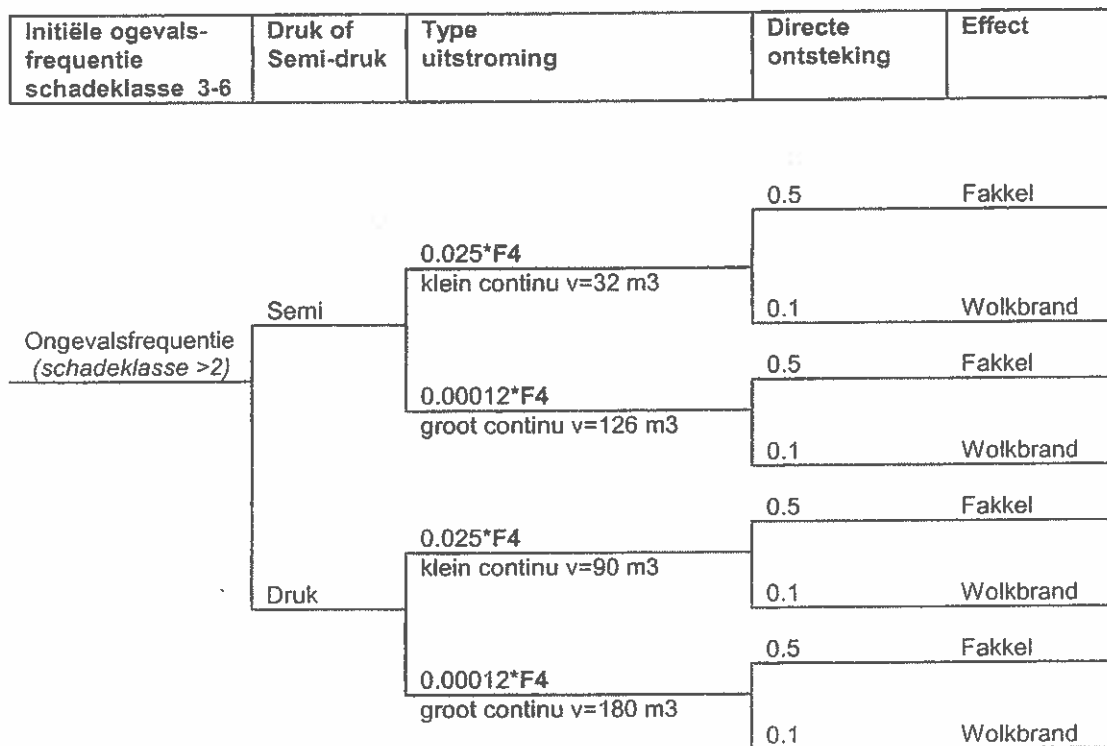
Vaarwegtype	Ongevalsefrequentie [vtgkm]	Druktanker factor F4
Bevaarbaarheidsklasse 4	$6.7 \cdot 10^{-7}$	0.14
Bevaarbaarheidsklasse 5	$7.5 \cdot 10^{-7}$	0.19
Bevaarbaarheidsklasse 6	$1.4 \cdot 10^{-6}$	0.32

Tabel 1. Ongevalsefrequentie IPORBM voor verschillende vaarwegtypen

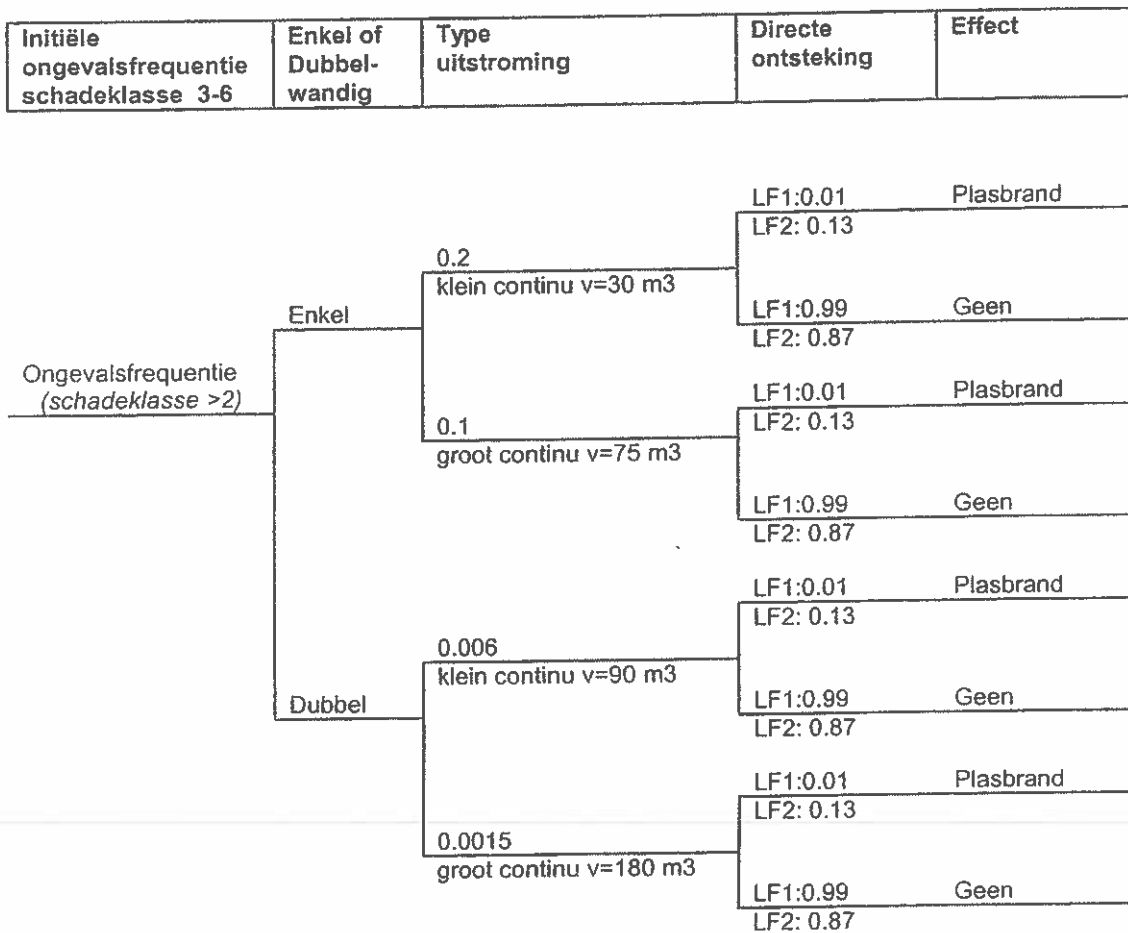
2.3. Gebeurtenisbomen

Figuur 1 toont de gebeurtenisboom voor een ongeval met een gastanker geladen met brandbaar tot vloeistof verdicht gas. Voor de berekening van het individueel risico wordt verondersteld dat het gas altijd ontsteekt. Voor de berekening van het groepsrisico wordt vertraagde ontsteking gemodelleerd afhankelijk van de omgeving. Voor een toxisch tot vloeistof verdicht gas wordt dezelfde gebeurtenisboom gebruikt tot en met de tak type uitstroming. Het effect is een toxische gaswolk.

Figuur 2 toont de gebeurtenisboom voor een ongeval met een vloeistoftanker geladen met brandbare vloeistof. De kans op directe ontsteking geldt voor de stofcategorie LF2. Voor de stofcategorie LF1 wordt een 13 maal kleinere waarde gebruikt. Er wordt geen rekening gehouden met vertraagde ontsteking. Voor een toxische vloeistof wordt dezelfde gebeurtenisboom gebruikt tot en met de tak type uitstroming. Het effect is een toxische gaswolk.



Figuur 1. IPORBM gebeurtenisboom uitstroming brandbaar gas uit gastanker



Figuur 2. IPORBM gebeurtenisboom uitstroming brandbare vloeistof uit vloeistoftanker

2.4. Voorbeeldstoffen

In IPORBM zijn standaardscenario's opgenomen voor de verschillende stofcategorieën. De scenario's zijn ontleend aan "Handleiding risicobepalingsmethodiek en doorrekenen maatregelen" (AEA 1995). De effectberekeningen worden door IPORBM uitgevoerd. De voorbeeldstoffen worden getoond in tabel 2.

Hoofdcategorie	Categorie	VN-nummer	Stofnaam
Brandbare gassen	GF3	1978	Propaan
Toxische gassen	GT3	1015	Ammoniak
Brandbare vloeistoffen	LF1	1206	Heptaan
	LF2	1207	Pentaaan
Toxische vloeistoffen	LT1	1093	Acrylnitril
	LT2	1277	Propylamine
	LT3	1092	Acroleïne
	LT4	2480	Methylisocyanaat
	LT5		(Niet beschouwd)
	LT6		(Niet beschouwd)
Explosieven	EX1		(Niet beschouwd)
	EX2		(Niet beschouwd)
	EX3		(Niet beschouwd)

Tabel 2. Voorbeeldstoffen IPORBM

2.5. Meteorologische omstandigheden

De beschouwde weerklassen zijn over Nederland gemiddelde waarden. Er is gebruik gemaakt van een uniform windrooster. Het vervoer over water vindt voor 50% gedurende de dag en voor 50% gedurende de nacht plaats. Tabel 3 toont de kans op de weerklassen.

Weerklasse (Pasquill-klasse: windsnelheid)	Kans dag	Kans nacht
B-3.0	0.220	0.000
D-1.5	0.122	0.149
D-5.0	0.299	0.262
D-9.0	0.359	0.261
E-5.0	0.000	0.112
F-1.5	0.000	0.216

Tabel 3. IPORBM meteorologische omstandigheden

