

Achtergronddocument RBM II

Versie 2.0

Project : 091552
Datum : November 2011

© Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2002, 2007, 2011
Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgevers. Samenstellers en opdrachtgevers zijn zich volledig bewust van hun taak een zo betrouwbaar mogelijk rekenprogramma, incl. documentatie te verzorgen. Niettemin kunnen zij geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele onjuistheden in de resultaten en de daarop gebaseerde besluitvorming.

Deze pagina is onbeschreven

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| 1. Inleiding | 6 |
| 2. Kennismaken met kwantitatieve risicoberekeningen | 7 |
| 2.1. Inleiding | 7 |
| 2.2. Risiconorm (PR) en risicomaat (GR)..... | 7 |
| 2.2.1. Plaatsgebonden Risico..... | 7 |
| 2.2.2. Groepsrisico | 8 |
| 2.3. Berekening van het plaatsgebonden risico | 8 |
| 2.4. Berekening van het groepsrisico..... | 9 |
| 2.5. Scenario's..... | 10 |
| 3. Hoe rekt RBM II | 12 |
| 3.1. Inleiding | 12 |
| 3.2. Scenario's en ontwikkelingen..... | 12 |
| 3.3. Uitstroompunten | 12 |
| 3.4. Ontwikkelingen | 14 |
| 3.4.1. Brandbare vloeistof..... | 14 |
| 3.4.2. Brandbaar gas | 14 |
| 3.4.3. Toxische vloeistof | 16 |
| 3.4.4. Toxisch gas | 16 |
| 3.5. Plaatsgebonden risico's | 17 |
| 3.5.1. PR berekening..... | 17 |
| 3.5.2. PR-grid..... | 17 |
| 3.6. Groepsrisico's..... | 17 |
| 3.6.1. Groepsrisico berekening..... | 17 |
| 3.6.2. Bebouwing | 18 |
| 4. Kans en scenario | 20 |
| 4.1. Inleiding | 20 |
| 4.2. Spoor | 20 |
| 4.2.1. Inleiding | 20 |
| 4.2.2. Eigenschappen..... | 21 |
| 4.2.3. Vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Loss Of Containments) | 24 |
| 4.2.4. Uitstroomkansen..... | 25 |
| 4.2.5. Ontwikkelingen | 25 |
| 4.3. Vaarweg | 28 |
| 4.3.1. Inleiding | 28 |
| 4.3.2. Eigenschappen..... | 29 |
| 4.3.3. Vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Loss of containments)..... | 30 |
| 4.3.4. Uitstroomkansen..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.5. Ontwikkelingen | 32 |
| 4.4. Weg | 34 |
| 4.4.1. Inleiding | 34 |
| 4.4.2. Eigenschappen | 35 |
| 4.4.3. Vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Loss Of Containments) | 36 |
| 4.4.4. Uitstroomkansen..... | 37 |
| 4.4.5. Ontwikkelingen | 38 |
| 5. Uitstroming, effect- en schadeberekeningen..... | 40 |
| 5.1. Inleiding | 40 |
| 5.2. Uitstroommodellen | 40 |
| 5.2.1. Spoor en Weg..... | 41 |
| 5.2.2. Vaarwegen | 42 |
| 5.2.3. Plasverdamping niet kokende vloeistoffen | 43 |
| 5.3. Dispersie en Effectmodellen | 44 |
| 5.3.1. Dispersie van gassen en dampen | 44 |
| 5.3.2. Plasverdamping Gaussisch continue | 45 |
| 5.3.3. Zwaargasdispersiemodel..... | 45 |
| 5.4. Effectmodellen..... | 47 |
| 5.4.1. Wolkbrand, vertraagde ontsteking..... | 47 |
| 5.4.2. Gaswolkexplosie..... | 47 |
| 5.4.3. Plasbrand..... | 48 |
| 5.4.4. Fakkels | 49 |
| 5.4.5. BLEVE | 50 |
| 5.5. Schademodellering..... | 52 |
| Toxische effecten..... | 52 |
| 6. Plaatsgebonden risico en groepsrisicoberekening | 56 |
| 6.1. Algemeen | 56 |
| 6.2. Uitstroompunten | 56 |
| 6.3. Berekening van het plaatsgebondenrisico | 58 |
| 6.3.1. Grid | 58 |
| 6.3.2. Berekeningsschema | 59 |
| 6.3.3. Contouren | 60 |
| 6.4. Groepsrisicoberekening | 60 |
| 6.4.1. Berekening van de GR-curve per uitstroompunt..... | 60 |
| 6.4.2. Berekening van de maatgevende kilometer | 61 |
| 6.4.3. Berekening van het groepsrisico van de totale curve | 62 |
| 6.4.4. Presentatiewijzen van het groepsrisico | 62 |
| 7. Referenties | 64 |
| Begrippenlijst | 66 |

| | |
|--|-----------|
| Bijlage 1. Stofgegevens | 64 |
| Bijlage 2. Omgevingsfactoren en weergegevens | 77 |
| Bijlage 3. Conditionele uitstroomkansen en default-ongevalsfrequenties vaarwegen | 78 |
| Bijlage 4. Berekening view factor schuine cylinder | 90 |
| Bijlage 5. Beschrijving berekening frequentie warme BLEVE spoor | 92 |
| Bijlage 6. Afleiding probitrelaties | 96 |

1. Inleiding

Het programma RBM II is ontwikkeld, in opdracht van het ministerie van het voormalige Verkeer en Waterstaat, voor de berekening van de risico's en effectafstanden als gevolg van het transport van gevaarlijke stoffen over het spoor, over vaarwegen en over de weg.

RBM II is ontworpen in overeenstemming met de afspraken die zijn vastgelegd in de "gekleurde boeken". De scenario's en overige uitgangspunten voor de berekening van de risico's met RBM II sluiten aan bij de rekenprotocollen die in het Hart [11] zijn gedefinieerd voor een gedetailleerde kwantitatieve risicoanalyse. De effectmodellen zijn ontleend aan het Gele boek [10]. De daarbij gemaakte keuzes voor de werking van het programma worden in deze achtergronddocumentatie uitgelegd. Deze achtergronddocumentatie wordt met regelmaat geactualiseerd op basis van terugkoppeling die ontvangen wordt via onder andere de helpdesk RBM II.

Het programma is tevens gebruikt voor de risicoberekeningen ten behoeve van het Basisnet spoor, water en weg voor de vaststelling van knelpunten en aandachtspunten tussen de ruimtelijke ordening en het transport van gevaarlijke stoffen. Er is, hieraan voorafgaand, uitgebreid onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van RBM II bij het Basisnet [13].

De informatie in dit achtergronddocument loopt uiteen van algemene informatie over risicoberekeningen tot specifieke eigenschappen van het risicoberekeningsprogramma RBM II. Het achtergronddocument is ook in deze volgorde opgebouwd.

2. Kennismaken met kwantitatieve risicoberekeningen

2.1. Inleiding

RBM II is een programma voor het uitvoeren van kwantitatieve risicoanalyses voor transport van gevaarlijke stoffen over spoorwegen, vaarwegen en wegen.

Een risicoanalyse is een methode waarbij nader benoemde risico's worden gekwantificeerd door het bepalen van de kans dat een dreiging zich voordoet en de effecten daarvan. Een risicoanalyse voor het in beeld brengen van de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen op de omgeving noemt men een QRA (Quantative Risk Analysis of Quantative Risk Assessment). In een QRA zet men de effecten van een ongeval met gevaarlijke stoffen (bv. fakkel of wolkbrand) af tegen de eigenschappen van de omgeving (aantal personen in bv. woningen en bedrijven in de dag- en nachtsituatie). Het risico in een QRA wordt uitgedrukt in de termen plaatsgebonden risico en groepsrisico.

Ter verduidelijking van dit achtergronddocument wordt in dit hoofdstuk informatie gegeven over de veelvuldig gebruikte begrippen plaatsgebonden risico en groepsrisico. Er wordt in het kort geschetst hoe deze waarden worden berekend in RBM II en hoe de scenario's en gebeurtenissenbomen die hiermee gepaard gaan moeten worden geïnterpreteerd.

2.2. Risiconorm (PR) en risicomaat (GR)

Afhankelijk van de omvang van de vervoersstromen en de specifieke gevaren voor de omgeving, kan een zekere scheiding tussen transportroutes en werk- en woongebieden gewenst zijn. Bij deze vraagstelling wordt de wettelijk, in de Circulaire Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen, vastgestelde risiconorm gehanteerd ofwel het plaatsgebonden risico. Tevens vindt er een afweging van het groepsrisico plaats. Voor het groepsrisico is een oriëntatiewaarde vastgesteld waar de hoogte van het groepsrisico aan wordt getoetst.

2.2.1. Plaatsgebonden Risico

Het plaatsgebonden risico (hierna PR) is de kans per jaar dat een persoon, die zich continu en onbeschermd op een bepaalde plaats in de omgeving van een transportroute bevindt, overlijdt door een ongeval met het transport van gevaarlijke stoffen op die route. Plaatsen met een gelijk risico kunnen door zogenaamde Iso-risicocontouren op een kaart worden weergegeven. Het PR leent zich daarmee goed voor het vaststellen van een veiligheidszone tussen een route met gevaarlijke stoffen en kwetsbare objecten, zoals woningen. De norm voor het plaatsgebonden risico ligt op 10^{-6} per jaar (een kans van 1 op 1.000.000 per jaar). Deze norm houdt in dat bepaalde type objecten niet binnen deze zone mogen worden geplaatst. Voor nieuwe situaties (nieuwe routes, significante toename in transportstromen en nieuwe kwetsbare bestemmingen) geldt deze norm als grenswaarde. Voor bestaande situaties met een plaatsgebonden risico hoger dan 10^{-6}

per jaar geldt de norm als een streefwaarde. In dergelijke situaties geldt een stand-still beginsel totdat aan de norm van 10^{-6} wordt voldaan. Voor kwetsbare bestemmingen die zich binnen een gebied bevinden met een plaatsgebonden risico hoger dan 10^{-5} per jaar is sprake van een dringende sanering. Tabel 2.1 toont een overzicht.

| Situatie | | Vervoersbesluit | Omgevingsbesluit |
|----------|----------------------------|---|---|
| Bestaand | | Grenswaarde PR 10^{-5} Streven naar PR 10^{-6} | Grenswaarde PR 10^{-5} Streven naar PR 10^{-6} |
| Nieuw | Kwetsbare objecten | Grenswaarde PR 10^{-6} | Grenswaarde PR 10^{-6} |
| | Beperkt kwetsbare objecten | Richtwaarde PR 10^{-6} | Richtwaarde PR 10^{-6} |

Tabel 2.1. Grens- en richtwaarden voor het plaatsgebonden risico

2.2.2. Groepsrisico

Het groepsrisico (hierna GR) geeft aan wat de kans is op een ongeval met tien of meer dodelijke slachtoffers in de omgeving van de risicovolle activiteit. Het aantal personen dat in de omgeving van de route verblijft, bepaalt daardoor mede de hoogte van het GR. Het GR wordt weergegeven in een zogenaamde fN-curve. Op de verticale as staat de kans per jaar f op een ongeval met N of meer slachtoffers en op de horizontale as het aantal slachtoffers. Het GR wordt bijvoorbeeld gebruikt om vast te stellen of de woningdichtheid in een bepaald gebied nog kan worden vergroot.

De oriëntatiewaarde voor het groepsrisico is per km-route of –tracé bepaald op $10^{-2} / N^2$, dat wil zeggen een frequentie van 10^{-4} /jr voor 10 slachtoffers, 10^{-6} /jr voor 100 slachtoffers, etc. en geldt vanaf het punt met 10 slachtoffers.

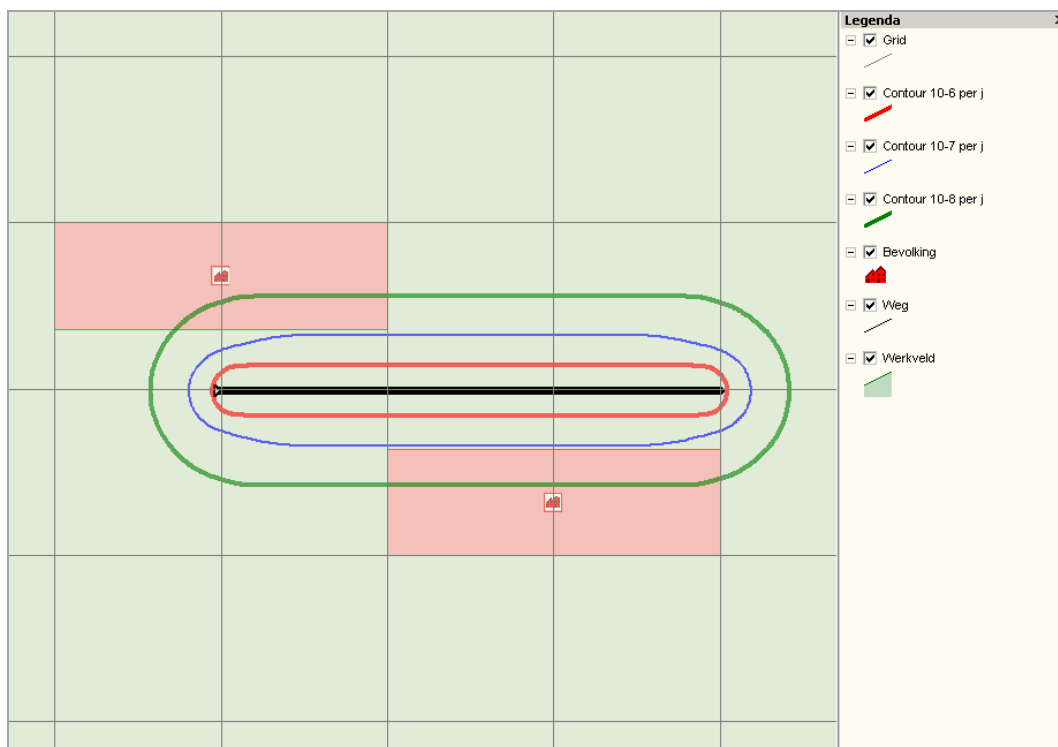
Over elke overschrijding van de oriëntatiewaarde van het groepsrisico of toename van het groepsrisico moet verantwoording worden afgelegd. Het betrokken bestuursorgaan moet, al dan niet in verband met de totstandkoming van een besluit, expliciet aangeven hoe de diverse factoren zijn beoordeeld en eventuele in aanmerking komende maatregelen, zijn afgewogen.

Het PR en GR vullen elkaar aan: ze maken het mogelijk om vanuit verschillende invalshoeken situaties op risico's te beoordelen. Met het PR wordt de aan te houden afstand geëvalueerd tussen de risicovolle activiteit en kwetsbare functies, zoals woonbebouwing, in de omgeving. Met het GR wordt geëvalueerd of gegeven deze afstand tussen de activiteit en kwetsbare functies er als gevolg van een ongeval een groot aantal slachtoffers kan vallen, doordat er een grote groep personen blootgesteld wordt.

2.3. Berekening van het plaatsgebonden risico

Met het plaatsgebonden risico bereken je de kans op overlijden op een bepaalde afstand van de transportroute en is onafhankelijk van de bevolkingsverdeling in de buurt van de transportroute. Het PR wordt verkregen door voor ieder scenario het resultaat van de effectberekeningen te combineren met de kans van optreden, en vervolgens te sommeren over alle scenario's. Het plaatsgebonden risico wordt weergegeven in de vorm van iso-risicocontouren. De effectmodellen, waarop het plaatsgebonden risico mede

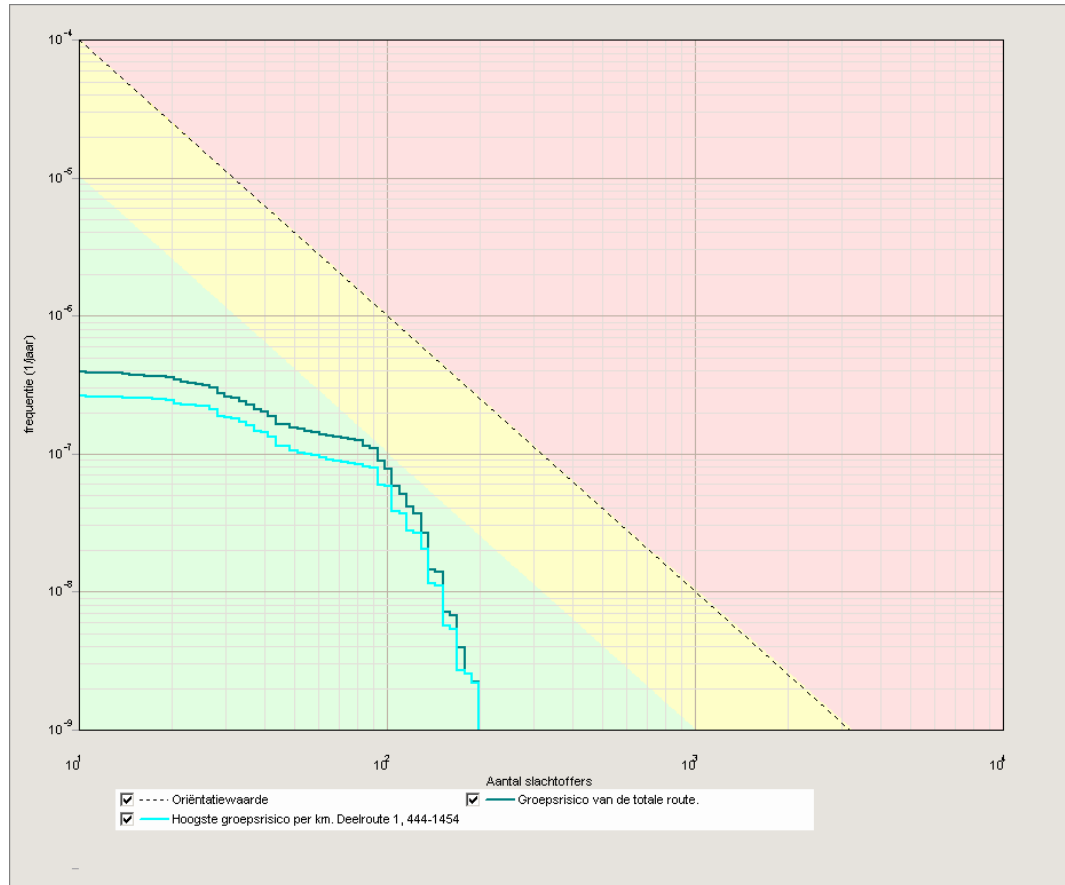
gebaseerd is, worden in paragraaf 5.3 van dit achtergronddocument nader toegelicht. De omvang van de effecten is mede afhankelijk van de meteorologische gegevens, zoals stabiliteit, windsnelheid en windrichting. De meteorologische gegevens die door RBM II worden gebruikt staan in de bijlage 2. Een grafische weergave van een PR-contour is te zien in Figuur 2.1. In hoofdstuk 6 van dit achtergronddocument wordt nader ingegaan op de berekening van het plaatsgebonden risico.



Figuur 2.1. Voorbeeld PR-contour

2.4. Berekening van het groepsrisico

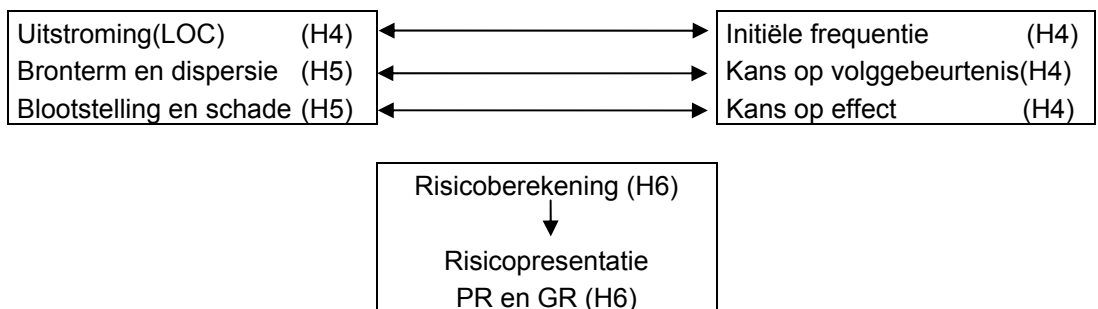
Het GR wordt verkregen door effectberekeningen te combineren met de bevolkingsverdeling in de buurt van de transportroute. Hierbij moet rekening gehouden worden met de dag/nacht situatie en met het feit of de bevolking zich binnenshuis dan wel buitenshuis bevindt. Het groepsrisico wordt gepresenteerd als een fN-curve. Voor de berekening van het GR wordt van dezelfde effectmodellen en meteorologische gegevens gebruik gemaakt als bij de berekening van het PR. Een afbeelding van een fN-curve is te zien in figuur 2.2.



Figuur 2.2. Voorbeeld fN-curve

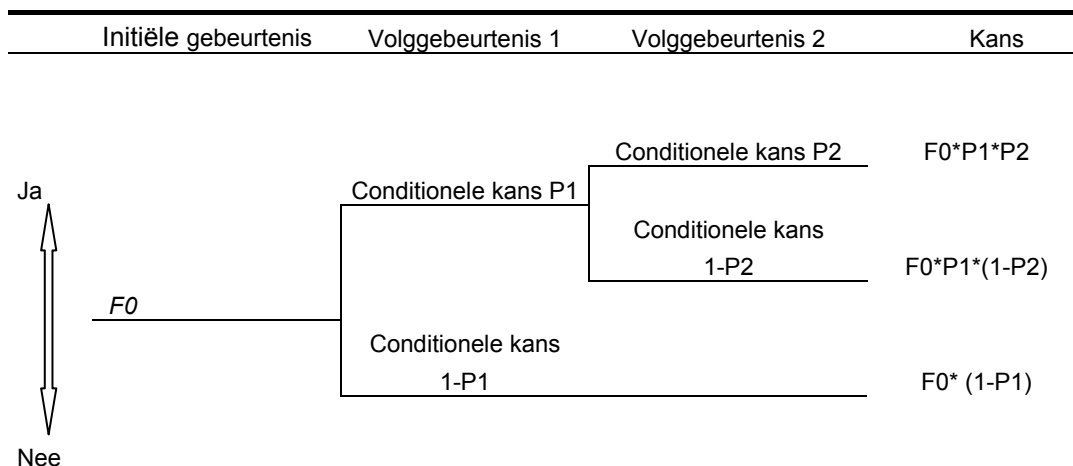
2.5. Scenario's

Een kwantitatieve risicoanalyse is eenvoudig samen te vatten in een aantal stappen die in Figuur 2.3 zijn afgebeeld. Aan de linkerkant staan de effecten en aan de rechterkant staan de kansen op deze effecten. De aspecten aan de linkerkant en de rechterkant worden afzonderlijk van elkaar bepaald. In de risicoberekening worden de kansen en effecten met elkaar gecombineerd en resulteren daarmee in een risicobeoordeling. Tussen haakjes staan steeds de hoofdstukken van dit achtergronddocument waarin meer informatie wordt gegeven over de onderwerpen.



Figuur 2.3. Standaard risicoanalyse

Een uitstroming van gevaarlijke stoffen (Loss Of Containment, LOC) kan meerdere volgebeurtenissen hebben met ieder hun eigen kans op het ontstaan ervan. Dit kan worden gepresenteerd in een gebeurtenissenboom. In Figuur 2.4 wordt een dergelijke vereenvoudigde gebeurtenissenboom getoond.



Figuur 2.4. Standaard gebeurtenissenboom

Een gebeurtenissenboom is een hulpmiddel bij het analyseren van de gevolgen van een bepaalde begingebuurtenis. Het risico wordt in dit geval de begingebuurtenis genoemd. Een gebeurtenissenboom laat zien hoe deze begingebuurtenis in combinatie met het al dan niet optreden van volgebeurtenissen tot bepaalde gevolgen kan leiden. Een gebeurtenissenboom begint met de begingebuurtenis, die geheel links wordt weergegeven. De gebeurtenissen die daarop volgen heten volgebeurtenissen en worden rechts van de voorgaande gebeurtenis weergegeven. Bij elke volgebeurtenis worden de mogelijke opties als vertakkingen weergegeven (bijvoorbeeld de opties: 'gebeurtenis treedt wel op' en 'gebeurtenis treedt niet op'). Door systematisch iedere tak te doorlopen, komt aan het einde van de gebeurtenissenboom het gevolg van de betreffende combinatie van gebeurtenissen te staan.

Een gebeurtenissenboom kan worden gebruikt om de kansen op de verschillende gevolgen te kwantificeren. Hiervoor wordt de kans op de begingebuurtenis bepaald, evenals de kansen op het wel en niet optreden van elke volgebeurtenis. Voor elke volledige tak in de gebeurtenissenboom kan de kans bepaald worden door vermenigvuldiging van de kansen bij elke vertakking.

Iedere gebeurtenis kan in een ander effect resulteren. De effecten die bij transport van gevaarlijke stoffen op kunnen treden zijn een plasbrand, een BLEVE, een fakkel, een wolkbrand, (gaswolk)explosie en een toxische plas/wolk. Deze effecten worden berekend met effectmodellen zoals een BLEVE-model en een plasbrandmodel. Deze modellen komen terug in hoofdstuk 5 van dit achtergronddocument.

3. Hoe rekent RBM II

3.1. Inleiding

RBM II berekent de risico's langs transportroutes door ongevallen met gevaarlijke stoffen op de transportroute te evalueren. In principe kan op elk punt van de route een ongeval plaatsvinden waarbij gevaarlijke stoffen kunnen uitstromen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe deze uitstroompunten in RBM II worden bepaald. Hierna worden de vervolgontwikkelingen van elk type stof beschreven aan de hand van gebeurtenissenbomen. Tot slot worden de gevolgen van de uitstroming en effecten van de gevaarlijke stoffen beschreven. Dit hoofdstuk is algemeen van aard en gaat niet in op de afzonderlijke modaliteiten. Per modaliteit verschillen de kansen van optreden en de omvang van de effecten.

3.2. Scenario's en ontwikkelingen

Er zijn verschillende oorzaken die kunnen leiden tot het vrijkomen van een gevaarlijke stof met elk hun eigen kans van optreden. De effecten die kunnen optreden, door het vrijkomen van de stof, zijn verschillend en afhankelijk van de stof (giftig, brandbaar etc.), de condities waaronder de stof aanwezig is (gasfase, vloeistoffase, druk, temperatuur etc.) en de omgeving waarin de stof vrijkomt. Het vrijkomen van de stof kan instantaan (onmiddellijk) of continu (tijdafhankelijk) plaatsvinden. Eenmaal vrijgekomen, zullen de stoffen zich verdelen in de omgevingslucht. De snelheid waarmee dit gebeurt, is sterk afhankelijk van de omgevings- en weersomstandigheden. De vrijgekomen stoffen worden met de wind meegevoerd waarbij verdere menging en/of verdunning van het gas/dampmengsel optreedt. Dit wordt dispersie genoemd. Afhankelijk van het type ontsteking (geen, directe of vertraagde ontsteking) kan worden bepaald welke impact de uitstroming op de omgeving heeft.

3.3. Uitstroompunten

Het risico langs een transportroute wordt berekend, uitgaande van een beperkt aantal uitstroompunten verdeeld over de transportroute.

De uitstromingen worden zowel over de breedte als over de lengte van de route verdeeld. De afstand tussen de uitstroompunten verschilt per modaliteit. De achterliggende reden hiervan is het optimaliseren van de rekentijd. Het kost namelijk veel (reken)tijd om voor elke meter transportroute alle mogelijke effecten en daarbij horende aantallen slachtoffers uit te rekenen. Daarom heeft er een optimalisatieslag plaatsgevonden van de verschillende grids die RBM II gebruikt (bv. PR-grid en bevolkingsgrid) waardoor de rekentijd beperkt blijft en de resultaten nog betrouwbaar zijn.

Bij spoor en weg bedraagt de afstand tussen de uitstroompunten bij de berekening van het plaatsgebonden risico maximaal 10 meter. Bij de berekening van het groepsrisico wordt gebruik gemaakt van uitstroompunten met een onderlinge afstand van maximaal 25

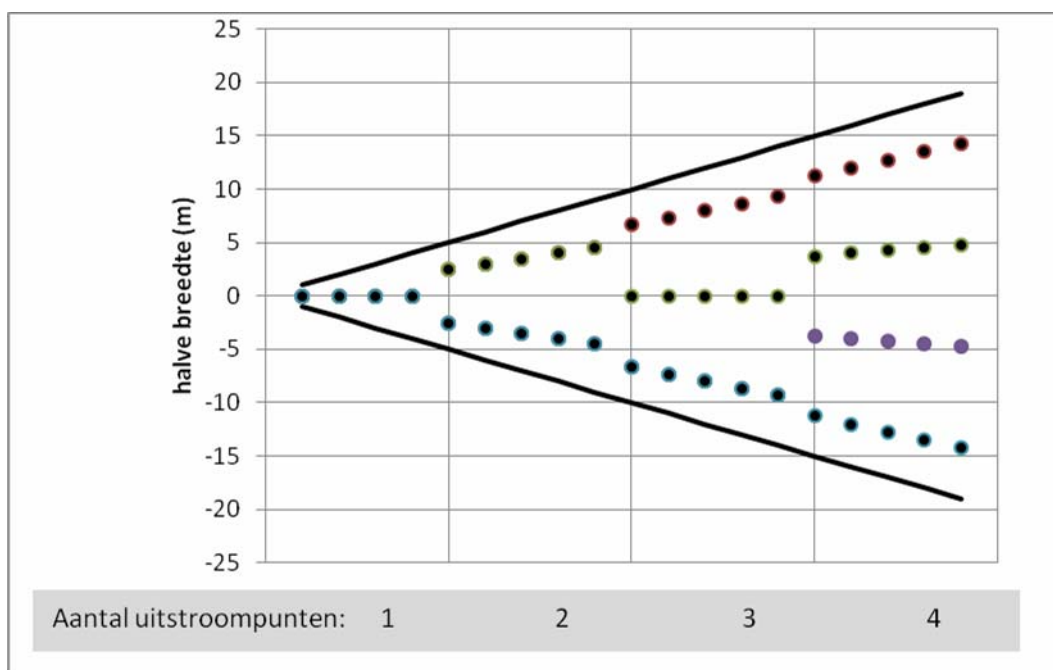
meter. Bij vaarwegen wordt voor de berekening van het plaatsgebonden risico gerekend met een afstand tussen de uitstroompunten van 25 meter, voor de berekening van het groepsrisico wordt gerekend met een afstand tussen de uitstroompunten van 50 meter. Voor ieder uitstroompunt moet het groepsrisico en plaatsgebonden risico worden vastgesteld zoals in hoofdstuk 2 uiteen is gezet.

De ongevalsfrequentie die aan een uitstroompunt wordt toegekend is gelijk aan de frequentie die behoort bij het gekozen type traject, vermenigvuldigd met de lengte van het ongevaltraject. De lengte van het ongevaltraject is gelijk aan de afstand tussen de uitstroompunten. Voor ieder uitstroompunt wordt het risico berekend op basis van de uitstromingen (LOC's) en ontwikkelingen.

De verdeling over de breedte van een traject verschilt tussen het GR en PR. In de onderstaande lijst zijn de waarden voor het PR gegeven. De waarden voor het GR zijn tussen haakjes vermeld:

- Indien de breedte van het beschouwde traject kleiner of gelijk is aan 10 (25) m, dan geldt één uitstroomlocatie op het hart van het traject.
- Indien de hart-op-hartafstand ligt tussen 10 (25) m en 20 (50) m, dan gelden twee uitstroomlocaties, gelijk verdeeld over de breedte van het traject, met een onderlinge afstand van 25 m.
- Indien de hart-op-hartafstand ligt tussen 50 en 75 m, dan gelden 3 uitstroomlocaties, wederom gelijk verdeeld over de breedte van het traject, met een onderlinge afstand van 25 m.
- Etc.

In Figuur 3.1 is de indeling voor PR grafisch weergegeven.



Figuur 3.1. Verdeling van uitstroompunten over de breedte van een traject

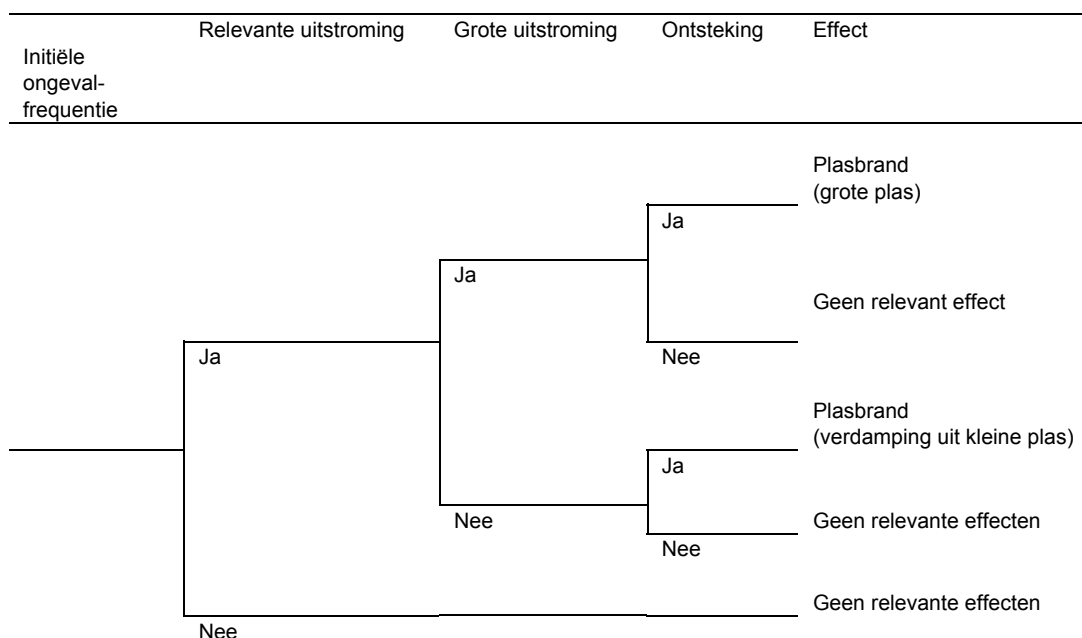
3.4. Ontwikkelingen

Deze paragraaf beschrijft de verschillende uitstromingen van een gevaarlijke stof na een ongeval en de daarop volgende dispersie van de stof. Bij brandbare stoffen wordt tevens aandacht besteed aan de wijze van ontsteking. Per stoftype wordt ook een gebeurtenissenboom getoond.

3.4.1. Brandbare vloeistof

De uitstroming van een brandbare vloeistof leidt tot de vorming van een plas op de grond. Wanneer er een ontstekingsbron aanwezig is, ontstaat een plasbrand die leidt tot warmtestraling in de omgeving.

Bij vertraagde ontsteking kan een wolkbrand (flash fire) ontstaan. De effectafstanden van beide scenario's zijn vergelijkbaar. In het Hart [11] zijn deze scenario's gecombineerd tot een scenario waarbij de effecten als een plasbrand worden berekend.



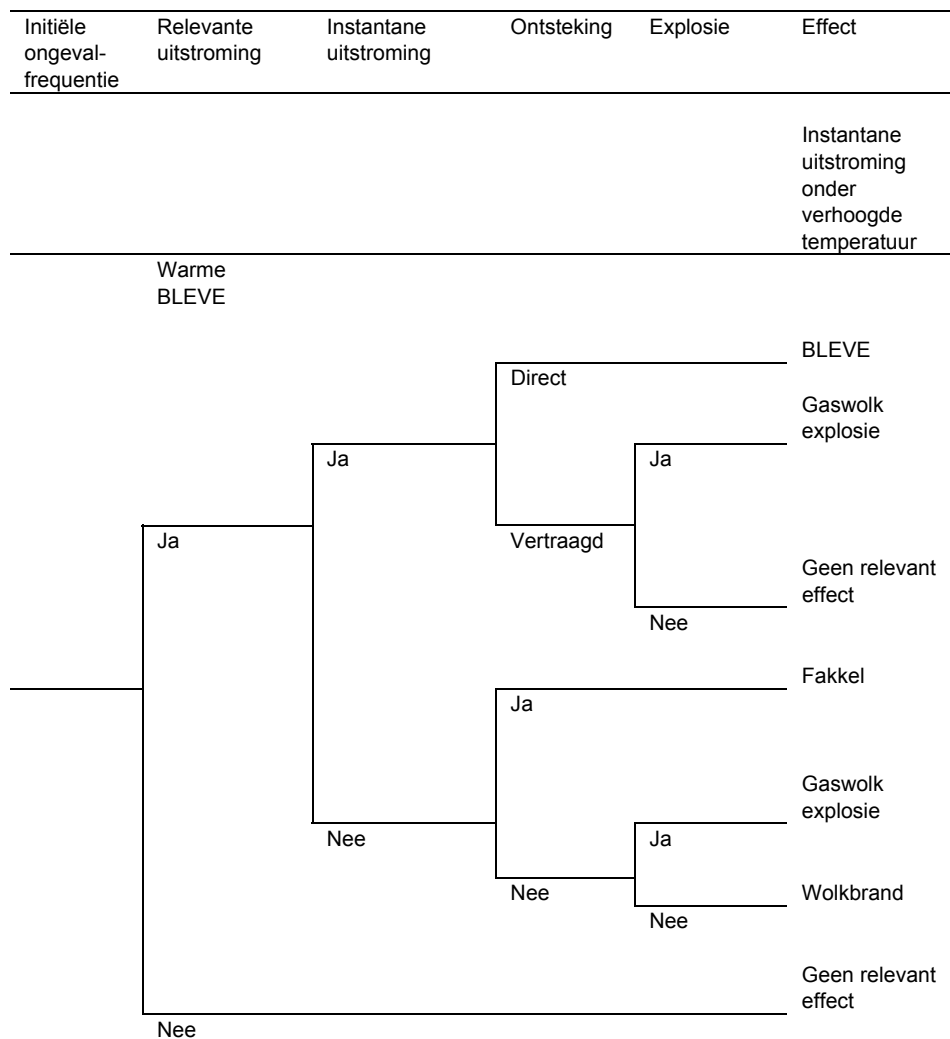
Figuur 3.2. Gebeurtenissenboom brandbare vloeistoffen

3.4.2. Brandbaar gas

Bij brandbaar gas zijn diverse effectscenario's mogelijk. Bij het optreden van een gat in een tank kan brandbaar gas met hoge snelheid uitstromen (continu). Als er directe ontsteking plaatsvindt, ontstaat een zogenaamde fakkelbrand met als effect warmtestraling. Wanneer het uitstromende gas niet direct wordt ontstoken, verspreidt zich een brandbare wolk in de omgeving. Afhankelijk van de stoffeigenschappen kan de uitstroming uitregenen in een vloeistofplas.

Op het moment dat de wolk nog binnen de explosiegrenzen is en een ontstekingsbron tegenkomt zal deze vlam vatten. Indien de verbrandingssnelheid laag blijft, spreekt men van een zogenaamde wolkbrand (flash fire). Het belangrijkste effect hiervan is

warmtestraling. De overdruk is verwaarloosbaar. RBM II rekent met een kans van het al dan niet onsteken van de wolk en gaat ervan uit dat de wolk altijd de maximale omvang heeft wanneer deze ontsteekt. Bij een hogere verbrandingssnelheid kan een zogenaamde gaswolkexplosie ontstaan. Een schokgolf is het gevolg. Deze hogere verbrandingssnelheid is veelal het gevolg van “obstakels” in de wolk. Hierdoor kan de verbrandingssnelheid zodanig toenemen dat er overdruk ontstaat (gaswolkexplosie). Een gastank kan dermate ernstig beschadigd worden dat de inhoud instantaan vrijkomt. Een specifiek scenario is de zogenaamde BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Een BLEVE treedt op wanneer een vat, met onder druk tot vloeistof verdicht gas, in één keer volledig bezwijkt. Er ontstaat dan een snel expanderende wolk van damp en vloeistofdruppeltjes. Bij onmiddellijke ontsteking brandt de wolk van buitenaf af, waarbij naast de enorme warmtestraling ook een schokgolf optreedt.

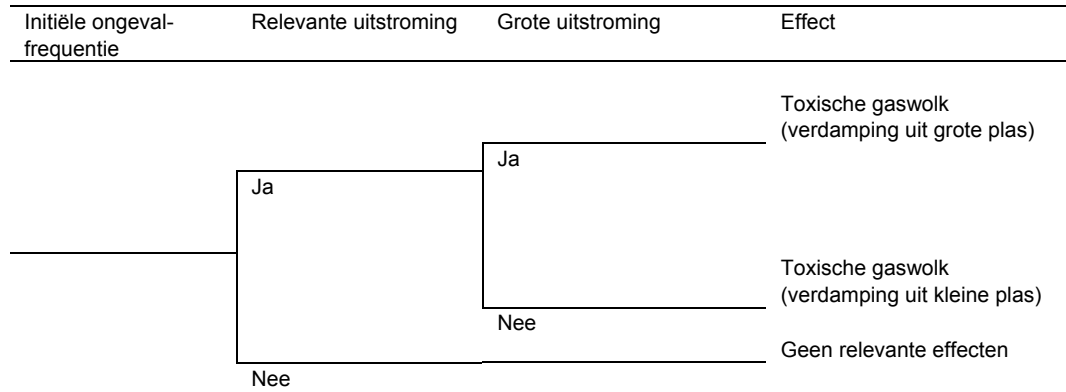


Figuur 3.3. Gebeurtenissenboom brandbare gassen

De kansen in de gebeurtenissenboom worden voor de modaliteiten verschillend ingevuld

3.4.3. Toxische vloeistof

Bij uitstroming van een toxische vloeistof ontstaat een toxische plas. Door verdamping ontstaat vervolgens een toxische wolk die zich door de wind verspreidt in de omgeving.

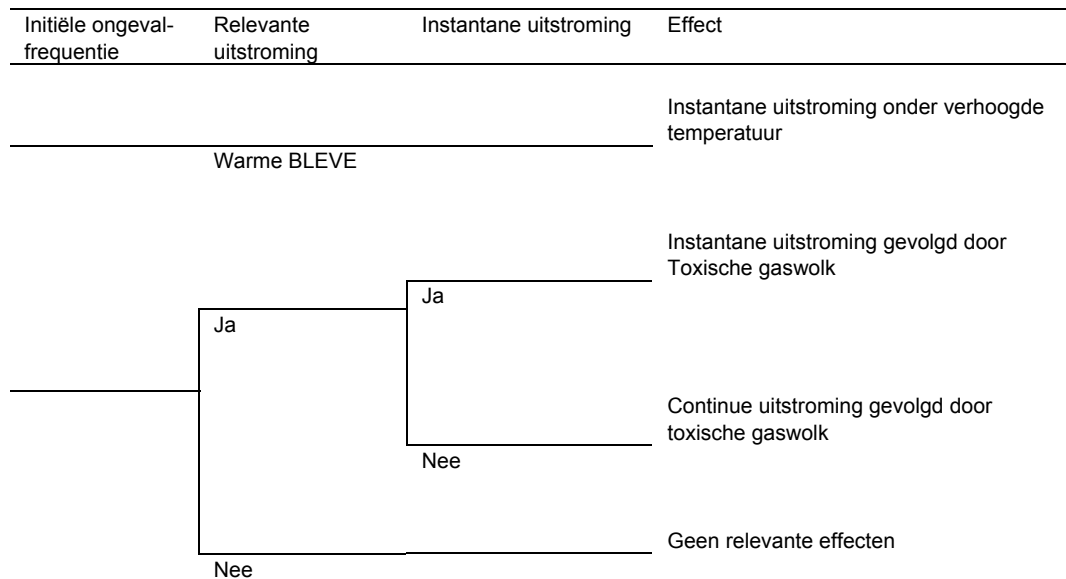


Figuur 3.4. Gebeurtenissenboom atmosferische toxische vloeistoffen

De kansen in de gebeurtenissenboom worden voor de modaliteiten verschillend ingevuld.

3.4.4. Toxisch gas

Binnen RBM II worden uitsluitend gassen beschouwd die tot vloeistof zijn verdicht. Hierbij ontstaat na uitstroming direct een toxische wolk die zich verspreidt in de omgeving. Afhankelijk van de stoffeigenschappen zal een deel van het gas condenseren en vervolgens uitregenen. In de effectberekeningen wordt de bijdrage van het uitregenen verwaarloosbaar geacht.



Figuur 3.5. Gebeurtenissenboom toxische gassen

De kansen in de gebeurtenissenboom worden voor de modaliteiten verschillend ingevuld.

3.5. Plaatsgebonden risico's

3.5.1. PR berekening

De berekening van het PR wordt voor de punten op het PR-grid (zie volgende paragraaf) de kans op overlijden vastgesteld. De kans wordt bepaald uit de trefkans (hoe groot is de trefkans dat het betreffende punt onder een effectgebied komt te liggen, gegeven een uitstroming op een bepaalde locatie en onder bepaalde condities), de overlijdenskans op die plaats, gegeven de heersende condities, de kans dat de gegeven condities (windrichting, stabiliteit etc) zich voordoen en als laatste de kans op het ontstaan van het betreffende effectgebied (ongevalskans, kans op de het scenario). Vervolgens worden punten met een gelijk plaatsgebonden risico met elkaar verbonden tot contouren. De contouren worden vastgesteld voor de PR-waarden 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} per jaar.

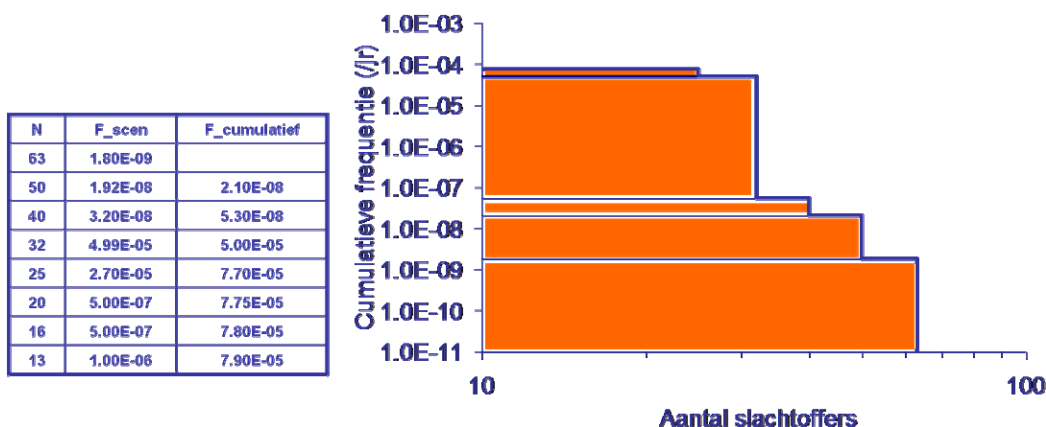
3.5.2. PR-grid

Per uitstroompunt wordt de bijdrage aan het plaatsgebonden risico berekend op geografische punten binnen de 1% overlijdenskans van het effectgebied. Dit zijn vaste geografische punten (onafhankelijk van de uitstroomlocatie). Op korte afstand van de route wordt met een fijn grid gerekend. Hoe groter de afstand tot de route, hoe groffer het grid. Voor spoor en weg wordt tussen 0 en 60 meter gerekend met een grid van 7 meter, tussen 60 en 250 meter wordt gerekend met een grid van 14 meter, tussen 250 en 2000 meter wordt gerekend met een grid van 28 meter en op afstanden groter dan 2000 meter wordt gerekend met een grid van 56 meter. In de modaliteit vaarweg wordt gerekend met een vast grid van 50 meter.

3.6. Groepsrisico's

3.6.1. Groepsrisico berekening

Het groepsrisico wordt berekend door op ieder uitstroompunt en voor iedere gebeurtenis het aantal slachtoffers te berekenen in combinatie met de kans op dit aantal slachtoffers. Op deze wijze wordt een lijst verkregen met slachtoffers en kansen. Voor het maken van een GR-curve moet de lijst met alle (slachtoffers,kans) combinaties aflopend gesorteerd worden op aantal slachtoffers. De FN-curve wordt uit deze lijst geconstrueerd door de frequentie van een volgend aantal te cumuleren op het voorgaande aantal. Zie onderstaande figuur.



3.6.2. Bebouwing

Het groepsrisico is een risicoparameter, waarbij de consequenties van het vervoer van gevaarlijke stoffen voor de omgeving van de transportroute wordt gekwantificeerd. Voor de berekening van het groepsrisico zijn de volgende typen bebouwing in RBM II gedefinieerd:

1. Woonbebouwing

Onder dit type bebouwing worden woningen verstaan. Er wordt onderscheid gemaakt in een dag- en nachtperiode per bebouwingspolygoon. De dagperiode in RBM II duurt van 8.00 uur 's morgens t/m 18.30 uur 's avonds. De nachtperiode duurt van 18.30 uur 's avonds t/m 8.00 uur 's morgens. Deze tijdsperiodes gelden voor alle typen bebouwing. Per bebouwingspolygoon kan tevens een fractie worden ingevuld voor de mensen die zich buitenshuis bevinden. De standaardfractie voor woonbebouwing is ingesteld op 0.07 overdag en 0.01 's nachts, in overeenstemming met het Hart [11]. Voor woonbebouwing wordt verondersteld dat er zowel op werkdagen als in het weekend mensen aanwezig zijn.

2. Bedrijven (dagdienst)

Bij dit type bebouwing zijn er alleen in de dagperiode (8.00-18.30 uur), op werkdagen, mensen aanwezig. 's Avonds en in het weekend worden hier dus geen mensen verondersteld. Deze (nacht)waarde staat dan ook standaard op 0 en is niet te wijzigen. Bij bedrijven wordt geen rekening gehouden met bedrijfsvakanties. Als voor een kantoorgebied bekend is dat een groot deel van de werknemers buiten de deur werkt dan moet het aantal werknemers hiervoor worden gecorrigeerd. Hetzelfde geldt voor bedrijven waar veel bezoekers aanwezig zijn. De fractie die zich "buitenshuis" bevindt, is voor bedrijven (dagdienst) 0.05. Deze waarde is bepaald op basis van expert judgement.

3. Bedrijven (continu dienst)

In dit type bebouwing zijn 24 uur per dag, 7 dagen in de week mensen aanwezig. De fractie "buitenshuis" staat standaard ingesteld op 0.05 voor de dagperiode en 0.01 voor de nachtperiode. Ook hiervoor geldt dat deze waarden bepaald zijn op basis van expert judgement.

4. Evenementen (op werkdagen)

Het invoeren van evenementen voor de aanwezigheid van personen vormt een aparte groep met meer invoeropties. Er wordt in RBM II onderscheid gemaakt in twee typen evenementen namelijk op werkdagen en in het weekend. Naast de invoer van het aantal personen in de dag- en nachtperiode, moet ook het aantal evenementen (per jaar, maand, week of dag,) en de tijdsduur van het evenement (per uur van de dag- en nachtperiode) worden ingevoerd. De fractie buitenshuis staat standaard op 0.25 voor de dagperiode en op 0.1 voor de avondperiode. Deze waarden zijn bepaald op basis van expert judgement.

5. Evenementen (in het weekend)

Hiervoor geldt hetzelfde als voorgaande paragraaf met als uitzondering dat deze alleen in het weekend plaatsvinden. RBM II houdt rekening met het eventueel overlappen van meerdere evenementen. Bij evenementen wordt de kans van aanwezigheid berekend. Er wordt uitgegaan van een uniforme kansverdeling over de betreffende tijdsperiode. Bij de aanwezigheid van meerdere evenementen wordt een kans bepaald van gelijktijdige aanwezigheid. Bij gelijktijdige aanwezigheid wordt een groepsrisico berekend waarbij het aantal slachtoffers wordt gesommeerd.

4. Kans en scenario

4.1. Inleiding

De te beschouwen modaliteiten in RBM II zijn Spoor, Vaarweg en Weg. Elke modaliteit heeft specifieke eigenschappen en zijn afzonderlijk in te voeren in RBM II. De stoffen zijn bij de modaliteit spoor in andere categorieën ingedeeld dan bij de modaliteiten vaarweg en weg. Deze indeling wordt in dit hoofdstuk per modaliteit apart genoemd. De risicoberekening beperkt zich tot het bulkvervoer van stoffen. Het vervoer van stukgoed (drums, vaten, gasflessen etc.), wordt niet beschouwd. Bij een ongeval met stukgoed zijn de afstanden tot waarop dodelijke effecten kunnen optreden klein. Het vervoer van stukgoed draagt daarom niet bij aan het risico op grotere afstand. Explosieven en radioactieve stoffen worden eveneens niet beschouwd. Van deze stofcategorieën wordt aangenomen dat de frequentie hiervan zo laag is dat de bijdrage aan het risico te verwaarlozen is. De eigenschappen van de modaliteiten worden in dit hoofdstuk verder toegelicht.

4.2. Spoor

4.2.1. Inleiding

RBM II is toepasbaar voor normale spoorconstructies. Specifieke constructies zoals tunnels, verdiepte ligging, overkappingen en geluidsbeschermende voorzieningen kunnen aanleiding geven tot een ander risicobeeld. Voor het spoor worden vrije baan situaties als standaard situaties opgevat. In RBM II zijn geen scenario's opgenomen voor rangeeremplacementen. Bij bonte treinen (goederentrein die op een rangeerterrein wordt samengesteld uit verschillende wagons met verschillende stoffen) wordt rekening gehouden met het domino-effect dat een wagon met brandbare vloeistof een wagon met brandbaar gas kan ontsteken (de warme BLEVE).

RBM II is gebaseerd op het Rekenprotocol Spoor [16], met daarbij de volgende opmerkingen:

1. Het protocol is nog niet vastgesteld voor het onderdeel betreffende de kans van optreden van warme BLEVE's (domino-BLEVE's). Met RBM II kan echter conform het rekenprotocol Spoor worden gerekend door het invoeren van de juiste verhouding warme/koude BLEVE. Deze is bepalend voor de frequentie van optreden van de domino-BLEVE [14].
2. De verschillen van RBM II met het Hart[11] betreffen de aannames over de faaldruk bij een warme BLEVE. In het Hart[11] wordt uitgegaan van de dampdruk (zie deel II, paragraaf 3.3.3.3), terwijl in RBM II een faaldruk wordt gehanteerd [14]. De hoogte van de faaldruk is stofafhankelijk.
3. RBM II houdt geen rekening met wachtsporen. Volgens het protocol behoren de risico's van een wachtspoor tot het risico van de vrije baan. Echter, in het hoofdstuk met betrekking tot de vrije baan vermeldt het protocol niet hoe met wachtsporen moet worden omgegaan.

4.2.2. Eigenschappen

De specifieke eigenschappen van (trajecten van) spoorwegen zijn:

1. Type traject
2. Ongevalsefrequentie
3. Transportgegevens
4. Aantal wissels

Deze eigenschappen worden nu afzonderlijk verder toegelicht.

1. Type traject

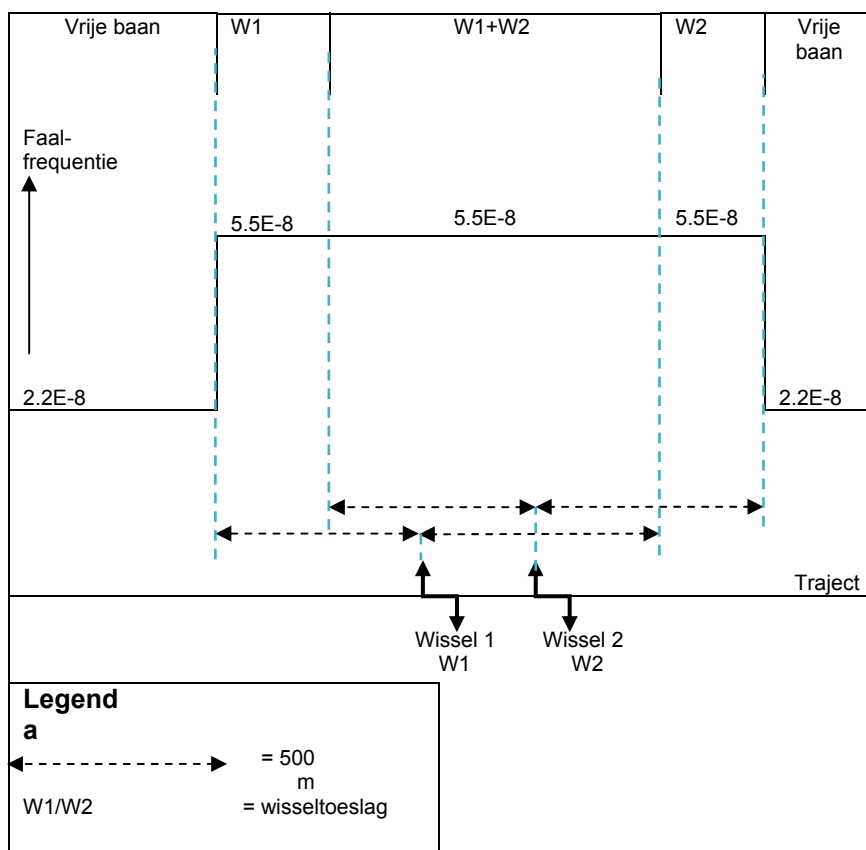
Er worden twee typen trajecten onderscheiden:

- Hoge snelheid (>40 km/uur)
- Lage snelheid (< 40 km/uur)

2. Ongevalsefrequentie

RBM II geeft hiervoor een aantal default-waarden en kunnen, indien nodig, door de gebruiker worden aangepast. De (default)faalfrequentie vrije baan bedraagt 2.2×10^{-8} per wagenkilometer. Voor type “Hoge snelheidstrajecten” wordt een snelheidscorrectie toegepast met een factor 1.26. Voor lage snelheidstrajecten bedraagt de correctie 0.62. De toeslag voor wissels is onafhankelijk van de snelheid en wordt na de snelheidscorrectie bij de faalfrequentie opgeteld. Bij de eigenschap wissels kan Ja, Nee of Standaard worden ingevoerd. De toeslagfrequentie voor de waarde Ja bedraagt $3.3 \cdot 10^{-8}$ per wagen kilometer. De toeslagfrequentie voor de waarde Standaard bedraagt $0.266 \cdot (3.3 \cdot 10^{-8})$ per wagen kilometer. De toeslagfrequentie voor de waarde Nee bedraagt 0. De resulterende frequentie wordt weergegeven in een bericht dat verschijnt na het veranderen van de waarde voor wissels. Als deze waarde wordt geaccepteerd, dan wordt de frequentie van het traject vervangen door deze waarde. Het traject waarvoor de correctie/toeslag geldt, loopt van 500 m voor de wissel tot 500 m na de wissel. Deze correctie wordt voor een trajectdeel, ongeacht het aantal wissels, slechts één keer toegepast. De route dient dus te worden opgedeeld in diverse deeltrajecten waarvoor verschillende toeslagen gelden, afhankelijk van de locatie van de wissels en overwegen. Het principe is schematisch weergegeven in Figuur 4.1.

Chloortreinen vormen een speciale categorie. Hiervoor is afgesproken een vijf keer lagere ongevalskans te hanteren omdat voor deze treinen extra veiligheidsmaatregelen zijn getroffen.



Figuur 4.1. Verdeling van faalfrequentie toeslagen over een traject met wissels

3. Transportgegevens

De volgende transportgegevens moeten worden ingevuld:

- de stofcategorie. De volgende categorieën worden bij spoor onderscheiden:

| Categorie | Betekenis | Voorbeeldstof | GEVI-nummer |
|-----------|-----------------------------|---------------|---|
| A | Brandbare gassen | Propaan | 23, 263, 239 |
| B2 | Giftige gassen | Ammoniak | 26, 265, 268 (excl. chloor) |
| B3 | Zeer giftig gas | Chloor | 268 (enkel chloor) |
| C3 | Zeer brandbare vloeistoffen | Pentaaan | 33, 336 (excl. acrylnitril), 338, 339, X323, X333, X338 |
| D3 | Giftige vloeistoffen | Acrylnitril | 336 (enkel acrylnitril) |
| D4 | Zeer giftige vloeistoffen | Acroleïne | 66, 663, 668, 886, X88, X886 |

Tabel 4.1. Stofcategorieën spoor

- aantal transporten in (volle) wagons per tijdseenheid.
Dit is het aantal gevulde transporten dat over het betreffende traject wordt getransporteerd.

- transportmiddel.
De volgende transportmiddelen worden onderscheiden in RBM II:
 - een spoorketelwagen in blok trein;
 - een spoorketelwagen in bonte trein;
 - containertransport in een blok trein;
 - containertransport in een bonte trein.

Een spoorketelwagen (SKW) betreft bulktransport van de betreffende stof. Containertransport betreft gebundeld stukgoedtransport in containers. Er wordt verder onderscheid gemaakt tussen een bloktrein en een bonte trein. In een bloktrein worden uitsluitend stoffen van één bepaalde categorie vervoerd, een bonte trein vervoert meerdere stofcategorieën. Het onderscheid bonte trein en bloktrein heeft effect op een verhoogde kans op het instantaan vrijkomen van de gehele inhoud uit een drukketelwagen met gas, als gevolg van brand van een lekgeraakte wagon met brandbare vloeistoffen in dezelfde (gemengde) trein (warme BLEVE c.q. domino-BLEVE).

- fractie transporten overdag.
Dit betreft de verhouding tussen het aantal transporten overdag en 's nachts. De standaardwaarde voor spoor is 33% van het transport overdag en is handmatig te wijzigen. Bij een homogeen vervoersaanbod zou 44% overdag plaatsvinden en 56% 's nachts. Dit gegeven is van belang voor de berekening van het groepsrisico gezien het verschil in aantal aanwezige personen in de dag- en nachtperiode.
- fractie transporten in de werkweek.
Dit betreft de verhouding van transporten op werkdagen en in weekenden. De standaardwaarde is 71.4% (5/7) op werkdagen. Deze waarde is als voorbeeld gebruikt en kan, indien nodig, handmatig aangepast worden. Dit gegeven is van belang voor de berekening van het groepsrisico gezien het verschil in aantal aanwezige personen in de dag- en nachtperiode, op werkdagen en in het weekend.
- verhouding warme/koude BLEVE (*voorheen aantal C3 wagons*).
Voor een uitgebreide toelichting op de berekening van de warme/koude BLEVE-verhouding in RBM II wordt verwezen naar bijlage 5 van dit rapport.

4. Wissels

Zie *ongevalsfrequentie* in deze paragraaf.

4.2.3. Vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Loss Of Containments)

De karakteristieke wageninhouden bij spoor zijn:

| Code | Categorie | Wagoninhoud [ton] spoorketelwagen | Wagoninhoud [m ³] container |
|------------|-----------------|-----------------------------------|---|
| B3 | Zeer giftig gas | 55 | 20 |
| A, B2 | Overige gassen | 50 | 20 |
| C3, D3- D4 | Vloeistoffen | Niet relevant | Niet relevant |

Tabel 4.2. Karakteristieke wageninhouden

De volgende uitstromingen zijn gedefinieerd:

| LOC | Omschrijving |
|------|-------------------------------------|
| G1 L | Vrijkomen van de gehele tankinhoud. |
| G2 L | Continue uitstroming |

Tabel 4.3. LOC's van vloeistoftankwagens

| LOC | Omschrijving |
|------|---|
| G1 G | Instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud. |
| G2 G | Uitstroming uit gat met effectief gatdiameter van 75 mm |

Tabel 4.4. LOC's van gastankwagens

Bij vloeistoffen leidt een uitstroming tot plasvorming. De volgende plasgroottes worden aangehouden

| LOC | Straal van de plas [m] |
|-----|------------------------|
| G1L | 14 |
| G2L | 10 |

Tabel 4.5. Plasomvang bij vloeistoffen

Bij tot vloeistof verdichte gassen zijn twee scenario's gedefinieerd: instantaan en continu falen. De aannames van de uitstroming wijken af van het Hart [11].

| LOC | Uitstroming |
|------|--|
| G1 G | Gehele inhoud van de tank |
| G2 G | Gatgrootte: 0.075 m -vloeistof uitstroming; |

Tabel 4.6. Bronsterkte bij gassen

4.2.4. Uitstroomkansen

De kansen op de LOC's zijn in de tabellen 4.7 en 4.8 gegeven.

| Stofcategorie | G1 L | G2 L | G1 G | G2 G |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Brandbare vloeistoffen | $3.2 \cdot 10^{-2}$ | $4.7 \cdot 10^{-2}$ | | |
| Toxische vloeistoffen | $3.2 \cdot 10^{-3}$ | $4.7 \cdot 10^{-3}$ | | |
| Brandbare gassen in druktankwagens | | | $3.2 \cdot 10^{-4}$ | $4.7 \cdot 10^{-4}$ |
| Toxische gassen | | | $3.2 \cdot 10^{-4}$ | $4.7 \cdot 10^{-4}$ |

Tabel 4.7. Kansen bij snelheden <40 kmh

| Stofcategorie | G1 L | G2 L | G1 G | G2 G |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Brandbare vloeistoffen | $2.2 \cdot 10^{-1}$ | $3.4 \cdot 10^{-1}$ | | |
| Toxische vloeistoffen | $2.2 \cdot 10^{-2}$ | $3.4 \cdot 10^{-2}$ | | |
| Brandbare gassen in druktankwagens | | | $1.1 \cdot 10^{-3}$ | $1.7 \cdot 10^{-3}$ |
| Toxische gassen | | | $1.1 \cdot 10^{-3}$ | $1.7 \cdot 10^{-3}$ |

Tabel 4.8. Kansen bij snelheden >40 kmh

4.2.5. Ontwikkelingen

Bij toxische stoffen betreft de vervolgebeurtenis dispersie en toxische belasting. Bij brandbare stoffen is een onderscheid te maken in directe en vertraagde ontsteking. De vervolgebeurtenissen bij directe ontsteking zijn samengevat in tabel 4.9. Bij vertraagde ontsteking in tabel 4.10.

| Stofcategorie | Treintype | Uitstroming | Kans ontsteking | Effect |
|---------------------|-----------|-------------|---------------------|-------------|
| Brandbaar gas | Bont | continu | $5.0 \cdot 10^{-1}$ | fakkel |
| | | Instantaan | $8.0 \cdot 10^{-1}$ | BLEVE |
| | | Domino | $8.0 \cdot 10^{-1}$ | Warme BLEVE |
| Brandbaar gas | Blok | continu | $5.0 \cdot 10^{-1}$ | Fakkels |
| | | Instantaan | $8.0 \cdot 10^{-1}$ | BLEVE |
| Brandbare vloeistof | | Plas | $2.5 \cdot 10^{-1}$ | Plasbrand |

Tabel 4.9. Vervolgebeurtenissen bij directe ontsteking

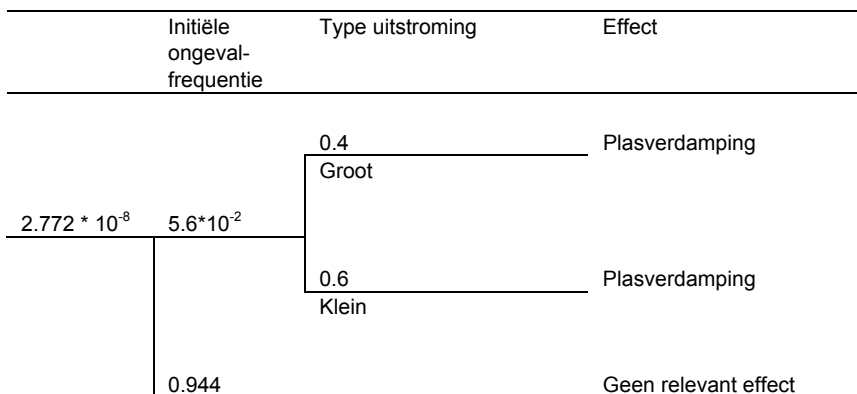
| Stofcategorie | Treintype | Uitstroming | Kans ontsteking | Effect |
|---------------------|-----------|-------------|---------------------|------------------------------|
| Brandbaar gas | Bont | continu | $5.0 \cdot 10^{-1}$ | Wolkbrand Gaswolkexplosie |
| | | Instantaan | $2.0 \cdot 10^{-1}$ | Wolkbrand Gaswolkexplosie |
| | | Domino | NVT | Ontsteekt alleen direct |
| Brandbaar gas | Blok | continu | $5.0 \cdot 10^{-1}$ | Wolkbrand Gaswolkexplosie |
| | | Instantaan | $8.0 \cdot 10^{-1}$ | Wolkbrand Gaswolkexplosie |
| Brandbare vloeistof | | Plas | NVT | Niet beschouwd |

Tabel 4.10. Vervolgebeurtenissen bij vertraagde ontsteking

Figuur 4.2 tot en met figuur 4.5 tonen de gebeurtenissenbomen voor een ongeval met een atmosferische tankwagen. Ontsteking van de gaswolk wordt verdisconteerd in een

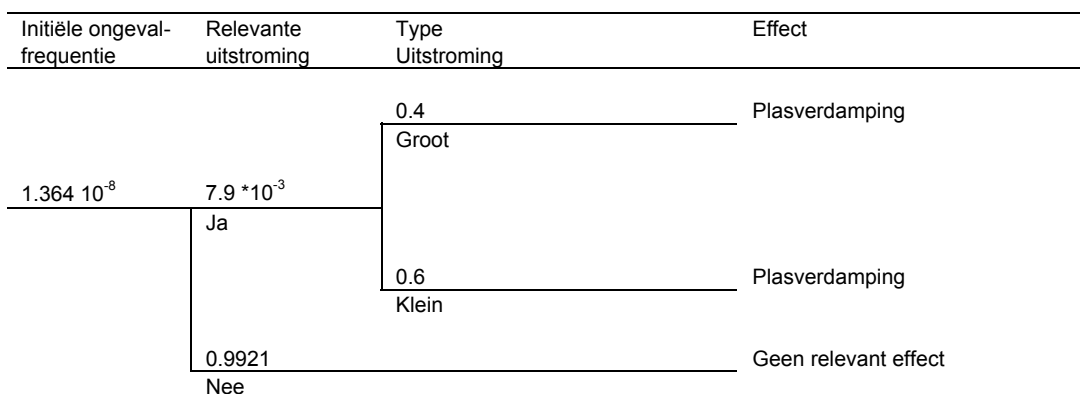
hogere ontstekingskans van de brandbare plas. Toxische vloeistoffen resulteren in een toxische gaswolk.

Toxische vloeistoffen traject met hoge snelheid



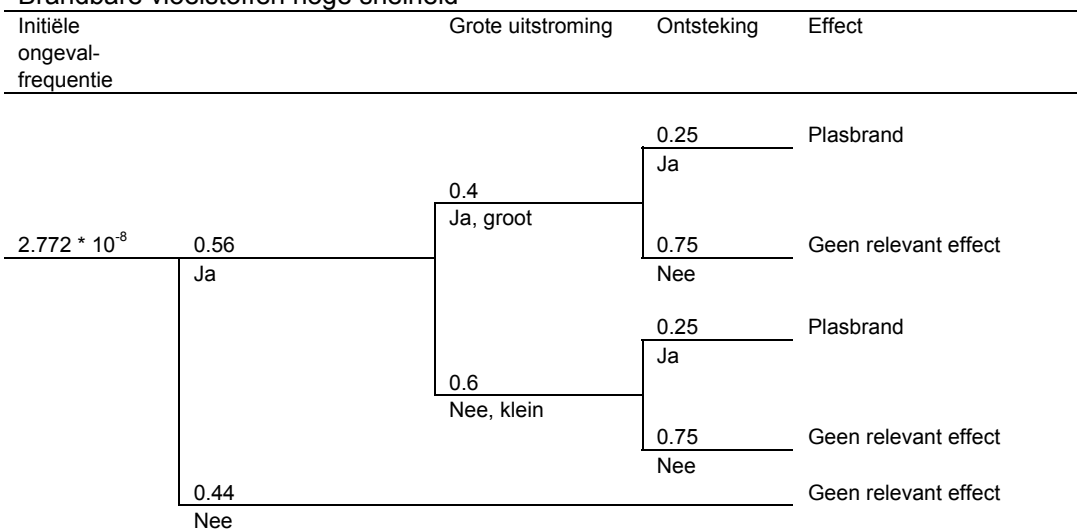
Figuur 4.2. Gebeurtenissenboom atmosferische toxische vloeistoffen (voor hog snelheid, excl. toeslagen wissels)

Toxische vloeistoffen traject met lage snelheid



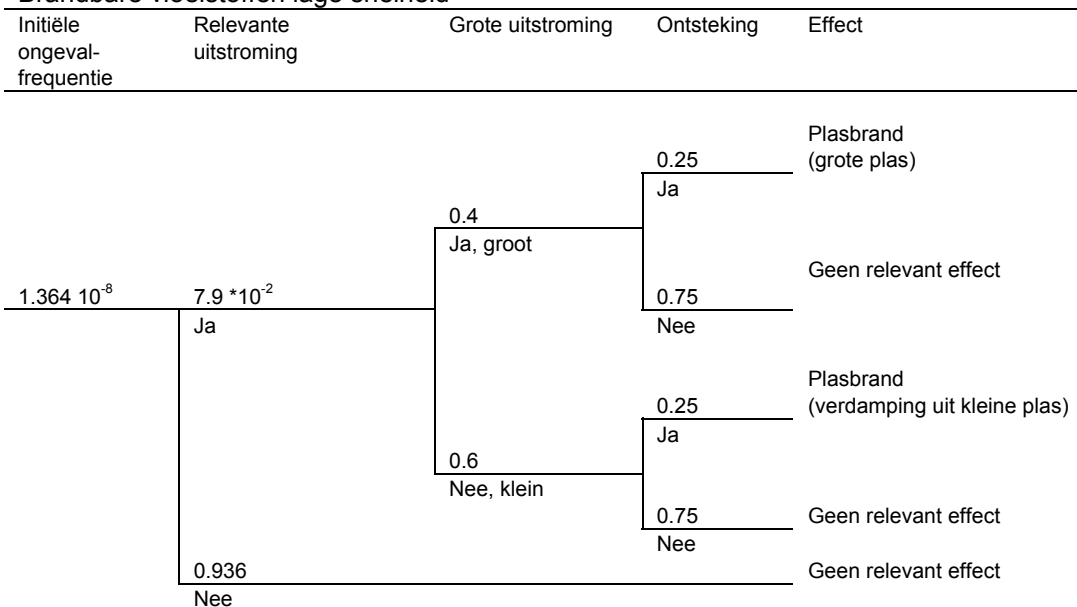
Figuur 4.3. Gebeurtenissenboom atmosferische toxische vloeistoffen (voor lage snelheid, excl. toeslagen wissels)

Brandbare vloeistoffen hoge snelheid



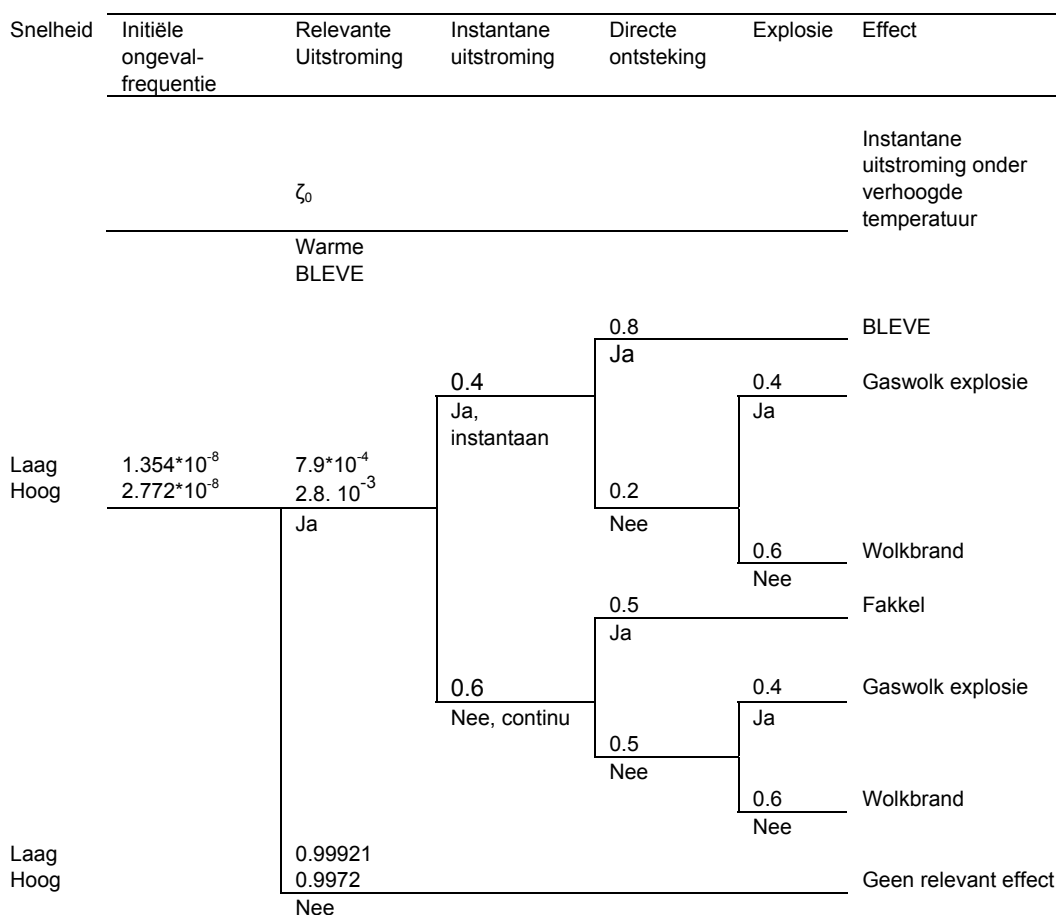
Figuur 4.4. Gebeurtenissenboom atmosferische brandbare vloeistoffen (voor hoge snelheid, excl. toeslagen wissels)

Brandbare vloeistoffen lage snelheid



Figuur 4.5 Gebeurtenissenboom atmosferische brandbare vloeistoffen (voor lage snelheid, excl. toeslagen wissels)

Figuur 4.6 toont de ontwikkelingen van een ongeval met een druktankwagon geladen met brandbaar, tot vloeistof verdicht, gas in een gebeurtenissenboom. Voor de berekening van het plaatsgebonden risico wordt verondersteld dat het gas altijd ontsteekt. Voor een toxisch tot vloeistof verdicht gas wordt dezelfde gebeurtenissenboom gebruikt tot en met de tak type uitstroming. Het effect is een toxische gaswolk.



Figuur 4.6. Gebeurtenissenboom gassen (voor hoge snelheid, excl. toeslagen wissels bij ongevals-frequentie)

Hierbij moet de waarde voor ζ_0 worden bepaald uit de kans op koude bleve en de warme/koude Bleve verhouding.

4.3. Vaarweg

4.3.1. Inleiding

RBM II is toepasbaar voor vaarwegen met uitsluitend binnenvaartschepen. De door het programma gegeven standaardfrequenties hebben een indicatieve betekenis. Voor binnenvaart is het namelijk niet mogelijk om één gemiddelde standaardfrequentie te definiëren, vanwege de grote diversiteit in de vaarwegen. Voor het berekenen van de risico's langs een vaarweg is het noodzakelijk om op basis van de casuïstiek de hoogte van de initiële locatiespecifieke frequenties vast te stellen. RBM II kan niet gebruikt worden voor zeevaart. Ook voor vaarwegen waarop een significant aantal zeeschepen vaart (> 10% [11]) kan RBM II niet toegepast worden, omdat incidenten met zeevaart kunnen leiden tot grotere uitstromingen. Om inzicht te krijgen in de omvang van de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen over water moet allereerst de omvang van de vervoersstromen op de daarvoor van belang zijnde vaarwegen in kaart gebracht worden. De samenstelling van het vervoer kan worden vastgesteld op grond van IVS-

gegevens en de passages door sluisen. Bij de vaarwegbeheerders zijn gegevens verzameld betreffende aantallen passages, herkomsten en bestemmingen, VN-nummers en hoeveelheden gevaarlijke stoffen.

4.3.2. Eigenschappen

De eigenschappen van (trajecten van) vaarwegen zijn:

1. Type
2. Ongevalfrequentie
3. Transportgegevens

1. Type

Er worden drie typen trajecten onderscheiden:

- de bevaarbaarheidsklasse 4
- de bevaarbaarheidsklasse 5
- de bevaarbaarheidsklasse 6

2. Ongevalfrequentie

De ongevalfrequenties worden per traject van een vaarwegroute opgegeven en hebben betrekking op de kans op een ongeval met penetratie van de huid. Dit is niet conform het Hart [11], waarin de schadefrequenties zijn gebaseerd op schadeklassen 3 en 4, maar conform het meer recente "Protocol Risicoanalyse Zee- en Binnenvaart" [17], opgesteld door DNV en AVIV in 2002. In Tabel 4.11 zijn de standaard ongevalfrequenties gegeven. De afleiding van deze default-ongevalfrequenties is nader beschreven in [14]. De spreiding in ongevalfrequenties over de verschillende vaarwegen is groot. Daarom kunnen de hier gehanteerde frequenties alleen indicatief gebruikt worden.

| Vaarwegtype | Scheepsschadefrequentie (1/vtghm) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Bevaarbaarheidsklasse 4 | $0.867 \cdot 10^{-7}$ |
| Bevaarbaarheidsklasse 5 | $1.320 \cdot 10^{-7}$ |
| Bevaarbaarheidsklasse 6 | $4.140 \cdot 10^{-7}$ |

Tabel 4.11. Ongevalfrequentie voor verschillende vaarwegtypen

Voor dubbelwandige schepen moet nog een correctie worden toegepast wat betreft de kans op penetratie van de ladingtank. Deze kans is afhankelijk van de bevaarbaarheidsklasse, zie Tabel 4.12. Deze correctie wordt door RBM II automatisch in rekening gebracht bij de keuze van een dubbelwandig schip als transportmiddel.

| Vaarwegtype | Vervolgkans op zeer zware schade |
|-------------------------|----------------------------------|
| Bevaarbaarheidsklasse 4 | 0.44 |
| Bevaarbaarheidsklasse 5 | 0.59 |
| Bevaarbaarheidsklasse 6 | 1 |

Tabel 4.12. Kans op penetratie van de ladingtank voor verschillende vaarwegtypen

Zie verder paragraaf 4.3.4 voor een beschrijving van de wijze waarop de uiteindelijke uitstroomkansen per uitstroomscenario worden bepaald.

3. Transportgegevens

De transportgegevens bestaan uit de stofcategorie, het aantal transporten in (geladen) schepen per tijdseenheid. Het aantal transporten heeft betrekking op het aantal volledig geladen binnenvaartschepen dat over het betreffende traject wordt getransporteerd.¹ In de transportgegevens worden de volgende transportmiddelen onderscheiden:

- Enkelwandige schepen,
- Dubbelwandige schepen,
- Druk schepen,
- Semi gekoelde schepen.

Toxische gassen (GT3) kunnen zowel semi-gekoeld als onder druk worden vervoerd. Omdat volgens het Hart moet worden gerekend met een omgevingstemperatuur van 9,3 oC, wijken de opslagcondities voor drukschepen nauwelijks af van de condities in semi-gekoelde schepen. De berekeningsresultaten zijn in RBM II dus gelijk voor beide transportwijzen. Overige gegevens betreffen de verdeling van de transportstroom over de dag/nacht en over de werkweek/weekend.

Ladinggroottes

Bij het transport van atmosferische vloeistoffen door binnenvaart wordt uitgegaan van een vaste tankgrootte van 150 m³. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in dubbel- en enkelwandige tankers. Er wordt aangenomen dat toxische vloeistoffen in dubbelwandige schepen vervoerd worden en brandbare vloeistoffen in enkelwandige schepen.

Bij het transport van gassen kan worden aangenomen dat de gassen tot vloeistof verdicht worden vervoerd. De vaste tankgrootte voor gastankers bedraagt 180 m³. Bij dit transport moet worden bekeken of ammoniak bij verlaagde temperatuur wordt vervoerd. Tabel 4.13 toont een overzicht.

| Stofcategorie | Scheepstype | Tankinhoud [m ³] |
|---------------|--------------|---------------------------------|
| LF | Enkelwandig | 150 |
| LT | Dubbelwandig | 150 |
| GF, GT | Gastanker | 180 |

Tabel 4.13. Karakteristieke ladinggroottes binnenvaartschepen

4.3.3. Vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Loss of containments)

In RBM II is een beperkt aantal uitstromingsscenario's gedefinieerd. Onderscheid is gemaakt in de scheepstypen gastanker (gt), semi-gastanker (vervoer bij verlaagde temperatuur), enkelwandige (ew) en dubbelwandige (dw) vloeistoftankers.

Bij binnenvaart kan onderscheid gemaakt worden in ongevallen tussen binnenvaartschepen onderling (bv-bv) en ongevallen tussen zee- en binnenvaartschepen (bv-zv). In

¹ Als een schip voor de helft gevuld is, moet in dit veld de helft van het aantal transporten worden ingevuld. Bijvoorbeeld:

Als bij 600 schepen waarbij slechts de helft van het aantal ladingtanks is gevuld met brandbare vloeistoffen en de overige ladingtanks zijn gevuld met een voor de externe veiligheid niet relevante stof, moet in de risicoberekening worden uitgegaan van 300 schepen die volledig met brandbare vloeistoffen zijn gevuld.

RBM II worden alleen de ongevallen beschouwd tussen binnenvaartschepen onderling. Dit betekent dat RBM II alleen kan worden toegepast op vaarwegen waar het risico wordt gedomineerd door ongevallen tussen binnenvaartschepen onderling.

Voor ongevallen die resulteren in uitstroming uit binnenvaart, gegeven een binnenvaart-binnenvaart aanvaring, zijn de scenario's gedefinieerd conform het Hart [11]. Voor atmosferische vloeistoffen betekent dit het hanteren van vaste uitstroomhoeveelheden. Bovenstaande scenariodefinitie wordt samengevat in Tabel 4.14.

| Scheepstype | Uitstroming | Gat-diameter [mm] | Uitstroom-hoeveelheid [m ³] | Uitstroom-tijd [s] | Conditionele uitstroomkans |
|----------------------------|--------------------|-------------------|---|--------------------|----------------------------|
| Enkelwandig | G1 LE Groot lek | - | 75 | 1800 | Vast |
| | G2 LE Klein lek | - | 30 | 1800 | Vast |
| Dubbelwandig of gekoeld | G1 LD Groot lek | - | 75 | 1800 | Vast |
| | G2 LD Klein lek | - | 20 | 1800 | Vast |
| Gastanker | G1 G Groot lek | 150 | | Maximaal 1800 | Vast |
| | G2 G Klein lek | 75 | | Maximaal 1800 | Vast |

Tabel 4.14. Scenariodefinitie binnenvaart

4.3.4. Uitstroomkansen

Het feit dat in het 'Protocol Risicoanalyse Zee- en Binnenvaart' [17] wordt uitgegaan van een andere schadeklasse, waardoor andere ongevalfrequenties worden gevonden, heeft tevens gevolgen voor de uitstroomkans. In het protocol zijn de ongevallen, ingedeeld volgens de oude en de nieuwe schadeklassenindeling, naast elkaar gezet en is het principe gehanteerd dat in beide situaties de totale uitstroomfrequentie gelijk moet zijn. De uitstroomkans wordt berekend door de ongevalfrequentie (Tabel 4.11) te vermenigvuldigen met een correctiefactor voor de vaarweg (Tabel 4.12) en met de conditionele uitstroomkans. Bij een wijziging in de ongevalfrequentie kan hieruit een nieuwe conditionele uitstroomkans worden berekend. In Tabel 4.15 zijn deze conditionele uitstroomkansen weergegeven. De gepresenteerde waarden zijn afgeleid van de waarden in het Hart [11], waarbij de conditionele kans is omgerekend naar een kans in de huidige schadeklasseindeling 4+5 [14].

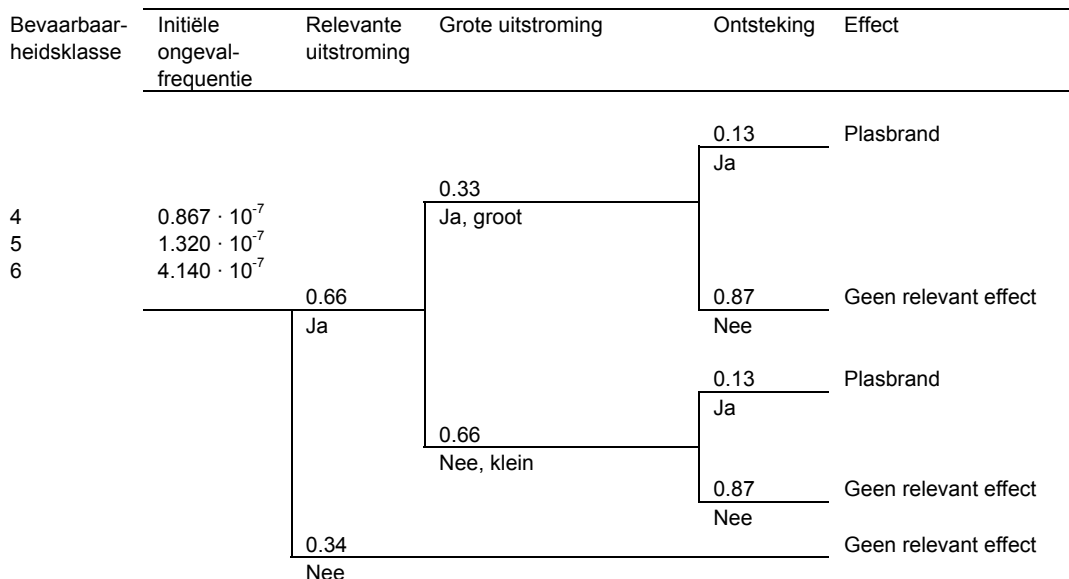
| Scheepstype | LOC | Kans |
|--------------------------|--------------------|---------|
| Binnenvaart enkelwandig | G1 LE Groot lek | 0.22 |
| | G2 LE Klein lek | 0.44 |
| Binnenvaart dubbelwandig | G1 LD Groot lek | 0.005 |
| | G2 LD Klein lek | 0.02 |
| Binnenvaart gastanker | G1 G Groot lek | 0.00006 |
| | G2 G Klein lek | 0.0125 |

Tabel 4.15. Uitstroomkansen binnenvaart

De grootte van de uitstroming wordt naar boven begrensd door de karakteristieke maximale hoeveelheid.

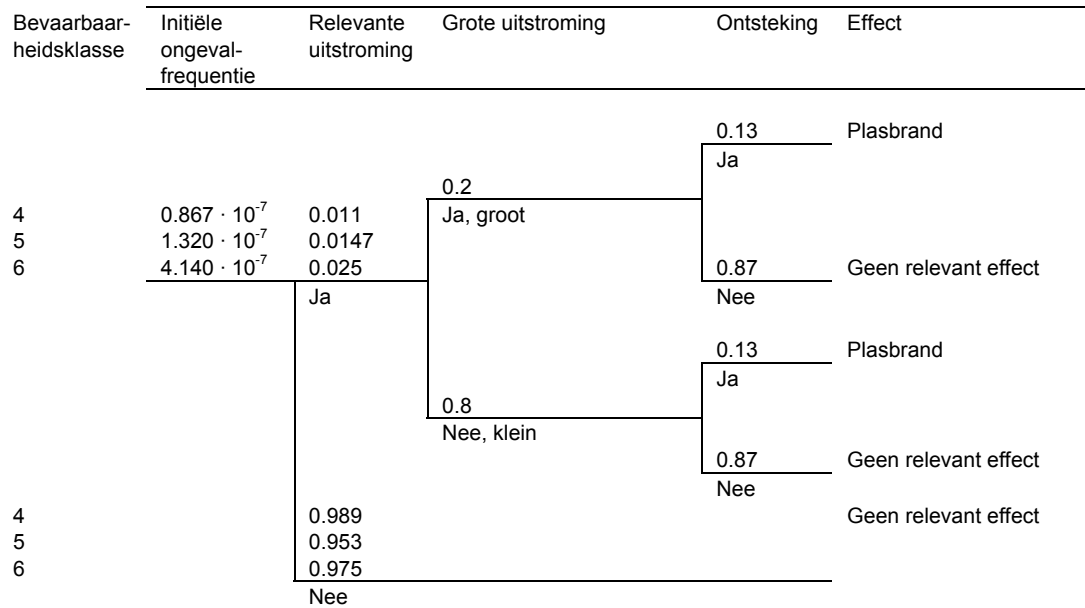
4.3.5. Ontwikkelingen

Figuur 4.7 en 4.8 toont de gebeurtenissenboom voor brandbare vloeistoffen voor respectievelijk enkelwandige- en dubbelwandige schepen..



Figuur 4.7. Gebeurtenissenboom atmosferische brandbare vloeistoffen

Brandbare vloeistoffen dubbelwandig:

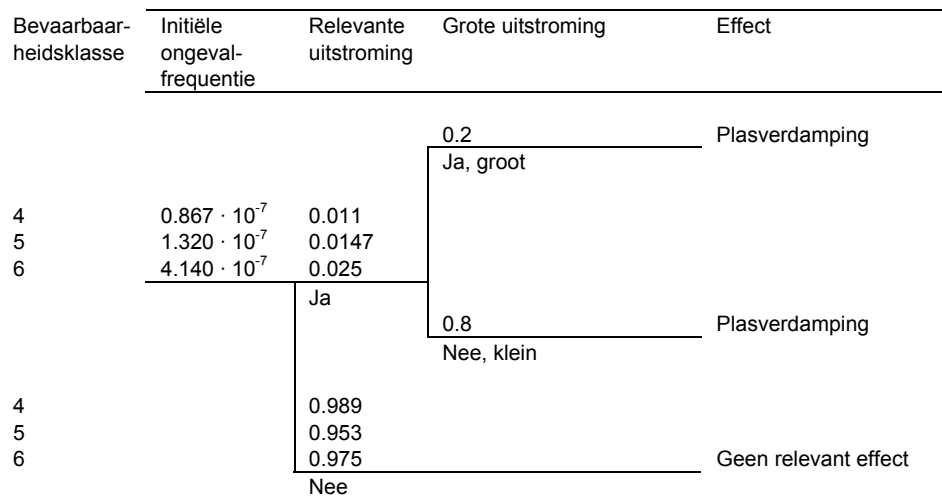


Figuur 4.8. Gebeurtenissenboom atmosferische brandbare vloeistoffen

* Bij uitstromingen van brandbare vloeistoffen is het effect van de vertraagde ontsteking van een gaswolk vergelijkbaar met het effect van een brandende plas. Bij de ontwikkelingen wordt alleen plasbrand beschouwd. De frequentie van de plasbrand is gelijk aan de som van de directe ontsteking en vertraagde ontsteking uit het Paarse Boek [11], zijnde 0.13 voor LF2 vloeistoffen. Voor LF1 vloeistoffen wordt alleen directe ontsteking beschouwd, zijnde 0.01.

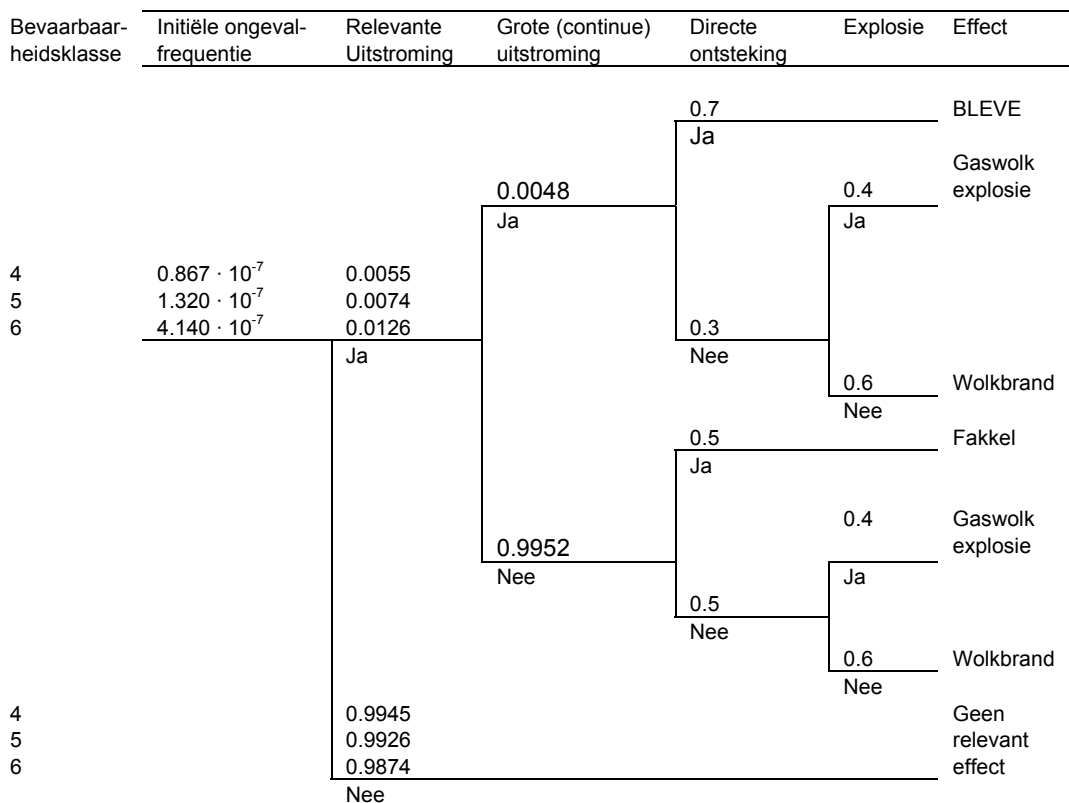
Figuur 4.9 Figuur 4.10. Gebeurtenissenboom gastankers

toont de gebeurtenissenboom voor giftige vloeistoffen voor dubbelwandige schepen..Giftige vloeistoffen worden uitsluitend in dubbelwandige schepen vervoerd.



Figuur 4.9. Gebeurtenissenboom atmosferische giftige vloeistoffen

Figuur 4.10 toont de ontwikkelingen van een ongeval met een binnenvaart gastanker geladen met brandbaar, tot vloeistof verdicht, gas in een gebeurtenissenboom. Voor een toxisch tot vloeistof verdicht gas wordt dezelfde gebeurtenissenboom gebruikt tot en met de tak grote uitstroming. Het effect is een toxische gaswolk.



Figuur 4.10. Gebeurtenissenboom gastankers

4.4. Weg

4.4.1. Inleiding

RBM II is toepasbaar voor normale wegconstructies. Specifieke wegconstructies zoals tunnels, verdiepte ligging, overkappingen en geluidsbeschermende voorzieningen kunnen aanleiding geven tot een ander risicobeeld en zijn niet te modelleren in RBM II.

Voor een risicoevaluatie van het wegtransport worden de vervoersstromen door tellingen in kaart gebracht (inventarisatie). De waargenomen stoffen worden in stofcategorieën ingedeeld. Na de berekening van risico's moeten deze getoetst worden aan de hiervoor geldende normen teneinde de aandachtspunten te identificeren (evaluatie). Aandachtspunten zijn die locaties langs wegen waar de ruimtelijke bestemming (mogelijk) conflicteert met het risiconiveau tengevolge van het transport van gevaarlijke stoffen over die wegen. De relevante risiconiveaus zijn de risiconormen die hiervoor door provincie en rijk worden gehanteerd.

4.4.2. Eigenschappen

De specifieke eigenschappen van (trajecten van) wegen zijn:

1. Type,
2. Ongevalfrequentie,
3. Transportgegevens.

Deze eigenschappen worden nu afzonderlijk verder toegelicht.

1. Type

Er worden vier type trajecten onderscheiden:

- Generiek,
- Binnen de bebouwde kom,
- Buiten de bebouwde kom,
- Snelweg.

Generiek geeft een gemiddelde situatie weer. Binnen de bebouwde kom heeft betrekking op wegen met een maximumsnelheid van 50 km, Buiten de bebouwde kom zijn alle overige wegen die niet als autosnelweg zijn aangemerkt.

2. Ongevalfrequentie

RBM II bevat standaardwaarden voor de motorvoertuigletselongevalfrequentie voor de vier onderscheiden wegtypen. De motorvoertuigletselongevalfrequentie is hier gedefinieerd als de kans per afgelegde kilometer waarmee een motorvoertuig betrokken raakt bij een letselongeval, waarbij ongevallen met langzaam verkeer niet worden meegeteld.

| Wegtype | Ongeval frequentie [/vtgkm] |
|---------------------|-------------------------------|
| Autosnelweg | $8.30 \cdot 10^{-8}$ |
| Buiten bebouwde kom | $3.60 \cdot 10^{-7}$ |
| Binnen bebouwde kom | $5.90 \cdot 10^{-7}$ |
| Generiek | $1.50 \cdot 10^{-7}$ |

Tabel 4.16. Motorvoertuigletselongevalfrequentie (zonder ongevallen met langzaam verkeer)

De ongevalskansen worden per traject opgegeven en hebben betrekking op de motorvoertuigletselongevalfrequentie. De frequentie kan per traject gewijzigd worden.

3. Transportgegevens

De transportgegevens bestaan uit de stofcategorie, het aantal transporten in (geladen) wagens per tijdseenheid, Het aantal transporten heeft betrekking op het aantal volledig geladen binnenvaartschepen dat over het betreffende traject wordt getransporteerd. Overige gegevens betreffen de verdeling van de transportstroom over de dag en over de werkweek/ het weekend

Opmerking: stofcategorie GT1 is geen keuzeoptie bij de stofcategorieën. Deze stof kan in RBM II niet worden ingevoerd. Hiertoe is besloten vanwege het zeer geringe aantal

transporten GT1 dat in Nederland voorkomt. Aangenomen wordt dat de bijdrage aan het totale risico te verwaarlozen is. Om dezelfde redenen is besloten de stofcategorie GF0 (samengeperste gassen en vloeibare, diep gekoeld vervoerde gassen) niet in het model op te nemen.

Ladingsgroottes

Per hoofdcategorie zijn de volgende karakteristieke tankhoeveelheden vastgesteld:

| Hoofdcategorie | Inhoud | Eenheid |
|--|--------|----------------|
| Brandbare gassen in druktankwagens (GF1.. GF3) | 50 | m ³ |
| Toxische gassen (GT2.. GT7) | 16 | ton |
| Brandbare vloeistoffen (LF1, LF2) | 23 | ton |
| Toxische vloeistoffen (LT1.. LT4) | 23 | ton |

Tabel 4.17. Ladingsgroottes tankwagens

4.4.3. Vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Loss Of Containments)

De volgende uitstromingen zijn gedefinieerd voor atmosferische tankwagens:

| LOC | Omschrijving |
|------|--|
| G1 L | Instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud. |
| G2 L | Uitstroming van 5 m ³ |
| G3 L | Uitstroming van 0.5 m ³ |

Tabel 4.18. LOC's van vloeistoftankwagens

Bij vloeistoffen leidt een uitstroming tot plasvorming. De volgende plasgrootten worden aangehouden. Hierbij wordt de uitstroming G3 L uit Tabel 4.18 buiten beschouwing gelaten omdat deze verwaarloosbare effecten heeft.

| Stofcategorie | LOC | Straal van de plas [m] |
|------------------------|-------|------------------------|
| Brandbare vloeistoffen | G1B L | 23 |
| | G2L | 10 |
| Toxische vloeistoffen | G1TL | 20 |
| | G2L | 10 |

Tabel 4.19. Plasomvang bij vloeistoffen

De LOC's voor gastankwagens zijn:

| LOC | Omschrijving |
|------|---|
| G1 G | Instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud. |
| G2 G | Uitstroming uit gat met effectief gatdiameter van 50 mm |

Tabel 4.20. LOC's van gastankwagens

Bij tot vloeistof verdichte gassen zijn twee scenario's gedefinieerd: instantaan en continu falen. De aannames van de uitstroming zijn conform Hart

| Stofcategorie | LOC | Uitstroming |
|---------------|------|---|
| Alle gassen | G1 G | Gehele inhoud van de tank |
| Alle gassen | G2 G | Gatgrootte: 0.05 m - vloeistof uitstroming |

Tabel 4.21. Bronsterkte bij gassen

4.4.4. Uitstroomkansen

De uitstroomfrequentie is afhankelijk van het wegtype en het voertuigtype. Er worden twee typen onderscheiden: druktankwagens en atmosferische tankwagens. Deze gegevens zijn afgeleid uit een studie uit 1994 [3].

De uitstroomkans (p_u) is bepaald voor uitstromingen van meer dan 100 kg. De uitstroomkansen worden getoond in Tabel 4.22.

| Wegtype | Kans op uitstroming > 100 kg | |
|---------------------|------------------------------|--------------|
| | Druk | Atmosferisch |
| Autosnelweg | 0.052 | 0.101 |
| Buiten bebouwde kom | 0.034 | 0.077 |
| Binnen bebouwde kom | 0.006 | 0.021 |
| Generiek | 0.043 | 0.093 |

Tabel 4.22. Kans op uitstroming voor verschillende wegtypen

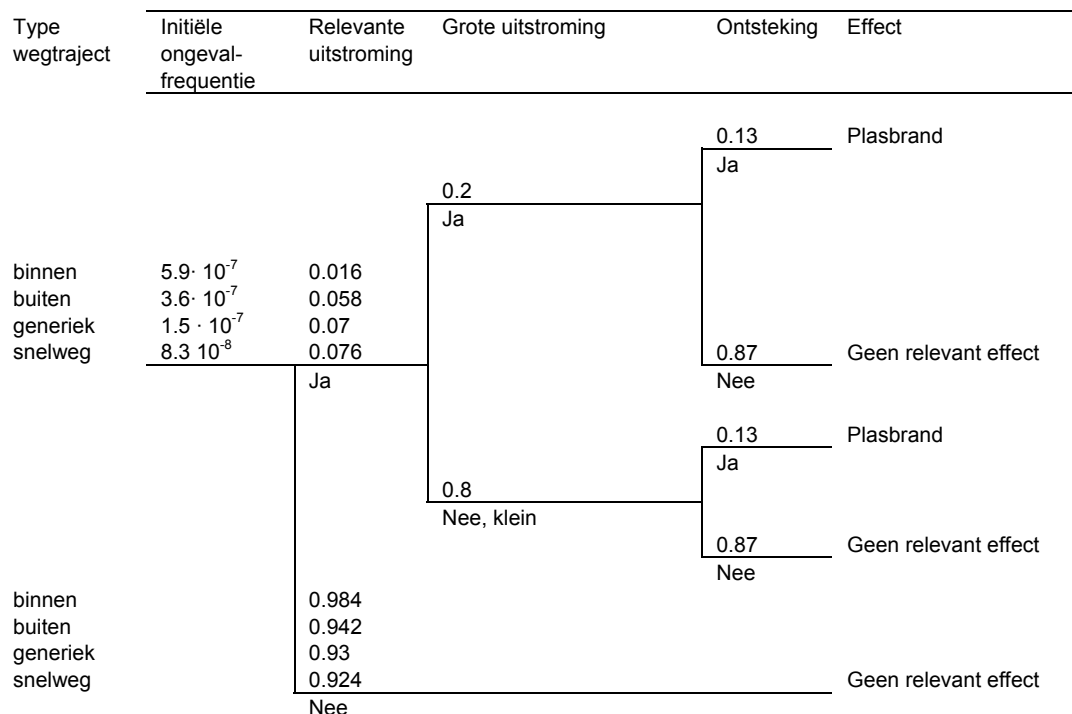
Gegeven een uitstroming van meer dan 100 kg is er een kans dat een van de navolgende scenario's optreedt. Deze kans is in Tabel 4.23 gegeven.

| Stofcategorie | LOC | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|
| | G1 L | G2 L | G3 L | G1 G | G2 G |
| Brandbare gassen in druktankwagens (GF1..GF3) | | | | 0.105 | 0.195 |
| Toxische gassen (GT2..GT7) | | | | 0.105 | 0.195 |
| Brandbare vloeistoffen (LF1, LF2) | 0.15 | 0.60 | 0.25 | | |
| Toxische vloeistoffen (LT1..LT4) | 0.15 | 0.60 | 0.25 | | |

Tabel 4.23. Kansen gegeven een uitstroming van meer dan 100 kg

4.4.5. Ontwikkelingen

Figuur 4.11 geeft de gebeurtenissenboom voor LF2 (benzine).

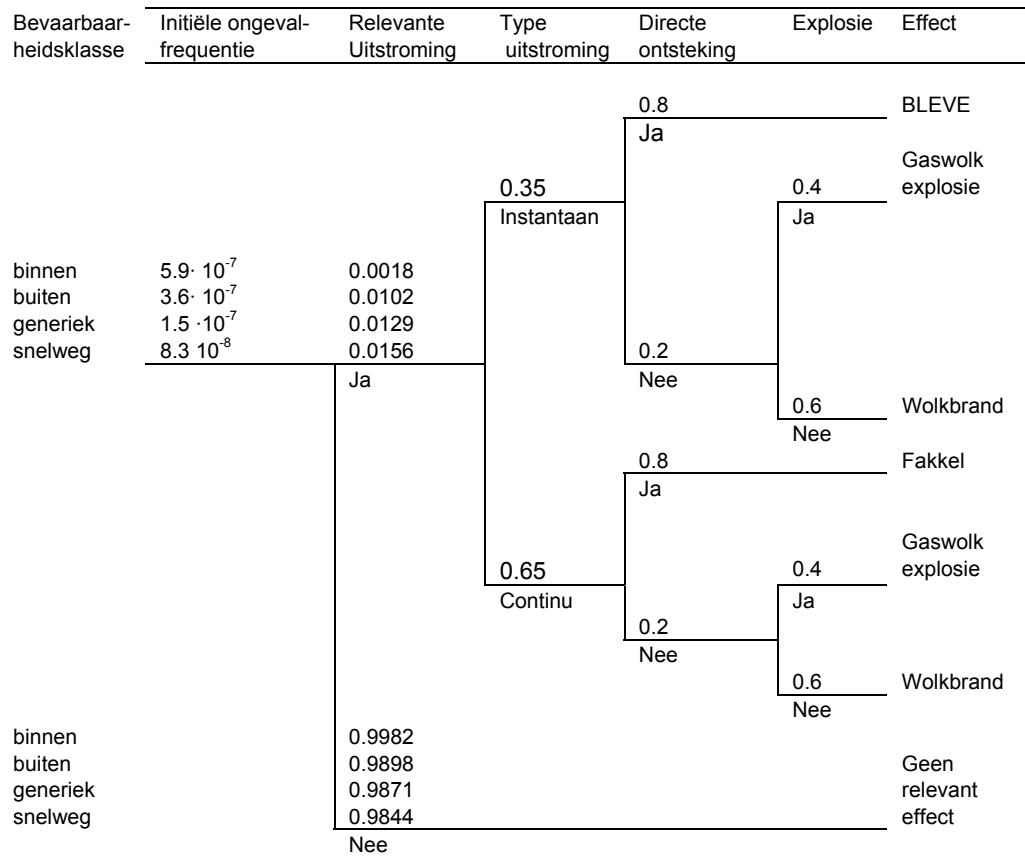


Figuur 4.11. Gebeurtenissenboom brandbare vloeistoffen

De kans op directe ontsteking bij LF1 (diesel) bedraagt 0.01 in plaats van 0.13

De gebeurtenissenboom voor toxische vloeistoffen is tot en met de ontwikkeling “grote uitstroming” gelijk. Deze ontwikkeling resulteert direct in het effect “toxische gaswolk”. De conditionele kans op het effect is dan uiteraard gelijk aan 1.

Figuur 4.12 toont de ontwikkelingen bij brandbare gassen.



Figuur 4.12. Gebeurtenissenboom gastankers

De gebeurtenissenboom voor toxische gassen tot vloeistof verdicht, is tot en met de ontwikkeling “grote uitstroming” gelijk. Deze ontwikkeling resulteert direct in het effect “toxische gaswolk”. De conditionele kans op het effect is dan uiteraard gelijk aan 1.

5. Uitstroming, effect- en schadeberekeningen

5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de modellen beschreven die in RBM II zijn geïmplementeerd voor het berekenen van de gevolgen van de scenario's. Allereerst zijn dit de uitstroommodellen en verdampingsmodellen. Vervolgens komen aan de orde de dispersiemodellen, de effectmodellen en de modellen voor de schadeberekeningen.

In de risicoberekening van RBM II worden transporten van bulkstoffen beschouwd. Voor ontplofbare stoffen en radioactieve stoffen zijn in RBM II geen modellen opgenomen.

In de rekenmethodiek is de diversiteit aan stoffen die getransporteerd worden terug gebracht tot een beperkt aantal door gebruik te maken van 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. Voor transport over water worden enkele aanvullende stoffeigenschappen bij de classificatie gebruikt: oplosbaarheid, reactiviteit met water en dichtheid t.o.v. water [1]. De hoofdcategorieën die onderscheiden worden voor de weg, vaarweg en het spoor zijn gegeven in Tabel 5.1.

| Categorie | | Betekenis | Omschrijving |
|-------------|-------|------------------|---------------------|
| Weg/vaarweg | Spoor | | |
| GF | A | Gas Flammable | brandbaar gas |
| LF | C | Liquid Flammable | brandbare vloeistof |
| GT | B | Gas Toxic | toxisch gas |
| LT | D | Liquid Toxic | toxische vloeistof |

Tabel 5.1. Stofcategorie

RBM II is ontworpen om zuiver chemische producten en sommige chemische oplossingen te modelleren. Het gedrag van oplossingen of mengsels van stoffen (bijv. dampdruk) is moeilijk te voorspellen. Dit geldt voor ieder rekenmodel. De uitkomsten in RBM II zijn uiteraard afhankelijk van de eigenschappen van de stof.

RBM II houdt geen rekening met de bijproducten van verbranding (bijv. rook) of chemische reacties. Vele chemicaliën reageren met droge of vochtige lucht, water, andere chemische producten of zelfs met zichzelf. RBM II veronderstelt dat een toxische wolk niet reageert met andere gassen uit de natuur als zuurstof en waterdamp. Door deze chemische reacties kan de stof afwijken van de oorspronkelijk ontsnapte stof uit het inluitsysteem. In sommige gevallen is dit verschil dusdanig groot dat het zal leiden tot onnauwkeurige verspreidingsvoorspellingen

5.2. Uitstroommodellen

De uitstroommodellen worden per modaliteit en stofcategorie toegelicht.

5.2.1. Spoor en Weg

Tot vloeistof verdichte gassen (continu)

Het scenario dat ten grondslag ligt aan het continu vrijkomen van tot vloeistof verdicht gas bij weg en spoor betreft het penetreren van de tankwand door een ander object, dan wel het scheuren van de tankwand.

De continue uitstroming uit het gat wordt berekend als vloeistofuitstroming met behulp van de Bernoulli-vergelijking [11].

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

| | | |
|----------------|--------------------------------|----------------------|
| A _h | oppervlak gat | [m ²] |
| C _d | 0.62 | [-] |
| ΔP | P ₁ -P _a | [N/m ²] |
| P _a | omgevingsdruk | [N/m ²] |
| P ₁ | reservoirdruk | [N/m ²] |
| ρ _l | dichtheid vloeistof | [kg/m ³] |

Tot vloeistof verdichte gassen (instantaan)

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

Uitregenen

Een deel van de instantaan of continu uitstromende hoeveelheid tot vloeistof verdicht gas draagt bij aan de gaswolk. Een deel van de uitstromende hoeveelheid regent uit. In RBM II wordt verondersteld dat dit deel niet deelneemt aan de gaswolk. De massa in de wolk is dan gelijk aan

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

| | |
|------------------|---|
| M _b | Massa in de wolk [kg] of bronsterkte [kg/s] |
| f _r | Uitgerogene fractie |
| M _{rel} | Vrijgekomen massa [kg/s] |

De uitgerogene fractie f_r is een functie van de adiabatische flash fractie X als weergegeven in Tabel 5.2. De adabatische flashfractie X wordt als volgt berekend:

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

| | | |
|---------------------|---|---------|
| T _k | kookpunt | [K] |
| T ₁ | opslagtemperatuur | [K] |
| H _v | verdampingsenthalpie | [J/kg] |
| C _{pl-gem} | (gemiddelde) soortelijke warmte vloeistof | [J/kgK] |

| 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 |

Tabel 5.2. Uitregenfractie

Vloeistoffen

Bij atmosferische vloeistoffen (LF en LT) is in de ongevalsscenario's verondersteld dat de uitstromingen resulteren in een plas met een bepaalde vaste omvang A_{plas} (zie hoofdstuk 4). RBM II veronderstelt dat de bodem onder het lekkende transportreservoir vlak is, zodat 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 de vloeistofstroom bij aflopende bodem.

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

5.2.2. VaarwegenUitstroming van tot vloeistof verdichte gassen

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 berekend als twee-fasen uitstroming (Fauske model).

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

| | | |
|----------|--|-----------------------------|
| P_1 | reservoirdruk | $[\text{N/m}^2]$ |
| P_c | druk in de uitstroomopening | $[\text{N/m}^2]$ |
| P_c | = | $0.55 P_1$ $[\text{N/m}^2]$ |
| C_d | = | 0.62 |
| A_h | oppervlak gat | $[\text{m}^2]$ |
| ρ_c | gemiddelde dichtheid mengsel in uitstroomopening | |

Voor ρ_c geldt:

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

met:

| | | |
|----------|--|-------------------|
| ρ_v | dichtheid damp | $[\text{kg/m}^3]$ |
| ρ_l | dichtheid vloeistof | $[\text{kg/m}^3]$ |
| x | massafractie damp in de uitstroomopening | [-] |

Voor x geldt:

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

met:

| | | |
|-----------------|---|------------------|
| C_{pl} | soortelijke warmte vloeistof | $[\text{J/kgK}]$ |
| T_c | evenwichtstemperatuur overeenkomend met P_c | $[\text{K}]$ |
| H_v | verdampingsenthalpie | $[\text{J/kg}]$ |

Er wordt geen uitregenen van vloeistof verondersteld. De totale uitstromende hoeveelheid neemt deel aan de gaswolk.

Uitstroming atmosferische vloeistoffen:

De scenario's voor binnenvaart zijn gedefinieerd conform het Hart. Voor atmosferische vloeistoffen betekent dit het hanteren van een vast uitstroomdebiet M_{rel} [m^3/s]. Voor de berekening van de plasomvang wordt evenwicht tussen uitstroming en verdamping verondersteld.

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

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

In de situatie waarbij de diameter van de plas groter is dan de breedte van de vaarweg, wordt een rechthoekige plas aangenomen met een breedte gelijk aan de vaarwegbreedte en een lengte gelijk aan het quotiënt van het plasoppervlak met de breedte van de vaarweg.

Voor de effectberekening wordt uitgegaan van een vierkante plas met een maximale ribbe gelijk aan de breedte van de vaarweg. Als de lengte van de plas groter is dan de breedte, wordt het effect berekend 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.

5.2.3. Plasverdamping niet kokende vloeistoffen

De uitstroming van niet-kokende vloeistoffen, stofcategorieën LF, LT, C, en D leidt tot vloeistofplassen waaruit verdamping plaatsvindt. RBM II gaat voor deze plasverdamping uit van het model van MacKay en Matsugu [18], zoals beschreven in het Gele Boek [10]. In RBM II is het model inclusief de berekening van het Schmidt getal geïmplementeerd, zie ook [14]. De bronsterkte van de verdamping wordt verkregen door de verdampingssnelheid M_{verd} te vermenigvuldigen met het plasoppervlak ($= \pi \cdot R_{pl}^2$).

$$P_w > 2 \cdot 10^4 \text{ Pa} :$$

$$M_{verd} = \quad km \cdot M/RT \cdot Pa \cdot \ln [1 + P_w / (Pa - P_w)] \quad [kg/m^2 \cdot s]$$

$$P_w < 2 \cdot 10^4 \text{ Pa} :$$

$$M_{verd} = \quad km \cdot M/RT \cdot P_w \quad [kg/m^2 \cdot s]$$

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| M_{verd} | verdampingssnelheid | [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] |

| | | |
|----|----------------------------|---------------------|
| Pa | atmosferische druk | [N/m ²] |
| km | stofoverdrachtscoëfficiënt | [m ⁻¹] |

Voor km geldt:

$$km = 0.004786 \cdot u^{0.78} \cdot (2Rpl)^{-0.11} \cdot Sc^{-0.67}$$

| | | |
|-----|--------------------------|-----|
| met | | |
| Sc | Schmidt-getal voor lucht | [-] |

Voor Sc geldt:

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

| | | |
|----------|--------------------------------------|----------------------|
| met | | |
| μ_a | dynamische viscositeit van lucht | [kg/m/s] |
| ρ_a | atmosferische dichtheid | [kg/m ³] |
| D_{ac} | diffusiecoëfficiënt van lucht en gas | [m ² /s] |

De waarde 0.004786 van de stofoverdrachtscoëfficiënt volgt uit de oorspronkelijke publicatie [18] na correcties voor het Sc-getal van de onderzochte stof in [18].

De berekening van het Schmidtgetal Sc is in RBM II stofspecifiek geïmplementeerd. 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 [23], pg. 549, vergelijking 11-3.2, 11-3.4 t/ 11-3.6. met de kinematische viscositeit $\nu = \mu_a / \rho_a$ gelijk aan $1.35 \cdot 10^{-5}$ [m²/s].

De logaritmische drijvende kracht in het model voor stoffen met een dampspanning P_w is ontleend aan Opschoor [19]. Deze is zonder een motivatie niet meer opgenomen in de meest recente versie van het Gele Boek [10].

In RBM II worden de tijdsafhankelijke temperatuureffecten (afkoeling van de plas door de verdamping) niet beschouwd.

5.3. Dispersie en Effectmodellen

5.3.1. Dispersie van gassen en dampen

Voor dispersie van gassen en dampen zijn er twee typen verspreidings-/effectmodellen waarmee gerekend wordt, namelijk het gaussisch neutraal gasmodel en het zwaargasverspreidingsmodel. Het zwaargasverspreidingsmodel is gebaseerd op het verspreidingsmodel volgens Cox en Carpenter [26].

Bij uitstroming van gassen wordt het zwaargasverspreidingsmodel aangeroepen totdat het gasmengsel zich als neutraal gas gedraagt. Na de zwaargasfase wordt de verspreiding met het gaussisch model berekend.

5.3.2. Plasverdamping Gaussisch continue

Bij plasverdamping van een niet-kokende vloeistof is dispersie van gas gemodelleerd met het standaard Gaussisch dispersiemodel.

Voor een continue bron op hoogte h met niet verwaarloze beginafmetingen geldt:

$$C(x,y,z) = \frac{\dot{m}}{u_w} F(x,y) F(x,z)$$

$$L_y = 0: \quad F_y(x,y) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)} \sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

$$L_y > 0: \quad F_y(x,y) = \frac{1}{4L_y} \left(\operatorname{erf}\left(\frac{L_y - y}{\sqrt{(2)} \sigma_y}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{L_y + y}{\sqrt{(2)} \sigma_y}\right) \right)$$

$$L_z = 0: \quad F_z(x,z) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)} \sigma_z} \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$L_z > 0: \quad F_z(x,z) = \frac{1}{4L_z} \left(\operatorname{erf}\left(\frac{L_z - z + h}{\sqrt{(2)} \sigma_z}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{L_z + z - h}{\sqrt{(2)} \sigma_z}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{L_z - z - h}{\sqrt{(2)} \sigma_z}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{L_z + z + h}{\sqrt{(2)} \sigma_z}\right) \right)$$

Hierin zijn $2L_y$ de pluimbreedte en $2L_z$ de pluimhoogte van de bron. De standaarddeviaties σ zijn een functie van de atmosferische stabiliteit, terreinruwheid z_0 en de afstand x tot de bron. De correlaties uit het Gele Boek (TNO 1979) worden gebruikt.

5.3.3. Zwaargasdispersiemodel

Het zwaargasdispersiemodel wordt toegepast bij uitstroming en is een aangepaste versie van het box-model van Cox en Carpenter [26]. De aanpassing betreft de initiële fasen van dispersie bij het vrijkomen van tot vloeistof verdichte gassen [25].

In het model worden vier dispersiefasen onderscheiden:

1. Initiële opmengfase (Sprayrelease danwel jet)
2. Overgangsfase naar zwaar gas
3. Zwaargasfase (Cox model)
4. Neutraalgasfase

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 en wordt de entrainmentrelatie voor een turbulente jet in een niet-stagnant medium gebruikt.

Massastroom lucht: $Q_{\text{lucht}} = k_1 (\rho_a l_0)^{1/2} (u - u_w) / u$

Voor instantane uitstroming vormt het spray-releasemodel (zie Gele Boek, TNO 1979) de kern van de modellering van de initiële fase.

Massastroom lucht: $Q_{\text{lucht}} = \frac{9}{8} \rho_a V^{1/9} V_{\text{fac}}^{8/9}$

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

$$R_{\text{fac}} = k_3 E^{3/16} V_{g0}^{5/24}$$

De advectiesnelheid van de 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.

Toename straal: $\frac{dr}{dt} = \{k_2 g H \Delta\rho/\rho\}^{1/2}$

In tegenstelling tot de eerste fase neemt de wolk niet meer symetrisch 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 zwaargasfase wordt de verdere opmenging van de wolk gemodelleerd volgens het oorspronkelijke boxmodel van Cox en Carpenter. 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:

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

Topentrainment : $u_t = \alpha u_i / R_i$ (R_i groot) of $B u_i$ (R_i klein)

Randentrainment : $u_e = \gamma \frac{dR}{dt}$

Een overgang naar een gaussisch dispersiemodel wordt gemaakt indien de snelheid van de zwaartekrachtspreading 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 voor continue uitstromingen een lijnbronmodel gehanteerd. Bij instantane uitstromingen wordt de "bron" opgevat als te bestaan uit meerdere lijnbronnen. 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 het Gele Boek (TNO 1979) 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 expliciet beschouwd.

5.4. Effectmodellen

5.4.1. Wolkbrand, vertraagde ontsteking

Wanneer een gaswolk een ontstekingsbron tegenkomt, kan de wolk vlam vatten en verbranden. Dit wordt een wolkbrand (flash fire) genoemd. De potentiële gevaren van een wolkbrand zijn directe blootstelling aan de vlammen en hete verbrandingsgassen, wamtestraling, rook en giftige bijproducten. RBM II bepaalt 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 explosiegrensgrens (LFL). De omvang van de wolk tot de LFL wordt in RBM II met het dispersiemodel berekend.

5.4.2. Gaswolkexplosie

Wanneer brandbaar gas is vrijgekomen in de atmosfeer ontstaat een gaswolk die zich in een bepaalde richting zal verspreiden (afhankelijk van de windrichting). Wanneer de gaswolk een ontstekingsbron tegenkomt, zullen delen van de wolk ontbranden. De snelheid waarmee de wolk verbrandt, bepaalt het effect. In sommige situaties met name indien delen van de wolk zijn opgesloten, 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 buiten de brandende wolk zijn overdruk en gevaarlijke bij de explosie gevormde secundaire fragmenten. In RBM II worden alleen de overdukeffecten berekend.

Met het correlatiemodel en de 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. Voor continue bronnen is verondersteld dat het centrum van de explosie gelegen is op de helft van de afstand tot de LFL-contour in de windrichting. Voor instantane bronnen is verondersteld 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).

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

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

| | | | |
|-----------------------|---|----------------------------------|--------|
| $R_{0.3 \text{ bar}}$ | = | 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 waarbij de gaswolk voor explosie als gedeeltelijk omsloten gekenschetst kan worden².

5.4.3. 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, giftige bijproducten en secundaire branden of explosies in de omringende omgeving worden in RBM II niet gemodelleerd. In sommige gevallen kan de plasbrand een nabijgelegen reservoirs zodanig doen verzwakken dat deze volledig kan bezwijken. Een BLEVE kan het gevolg zijn. Dit scenario wordt alleen bij de modaliteit spoor meegenomen in de berekening (warme BLEVE of domino BLEVE).

De warmtestraling in de omgeving wordt berekend met het solid flame model voor een schuinstaande cilinder [10]. Hierbij wordt de vlam voorgesteld door een schuinstaande cilinder met een constante stralingssterkte E aan het oppervlak.

De warmtestraling q (kW/m²) op een bepaalde plaats x wordt gegeven door:

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

In RBM II (evenals in SAFETI) wordt de stralingsterkte E [kW/m²] voor een roetende koolwaterstof vlam gebruikt [10]. Deze is een functie van de diameter D van de plas

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

De atmosferische transmissie τ (brengt de vermindering van de warmtestraling door absorptie aan CO₂ en H₂O in de atmosfeer in rekening en is dus afhankelijk van de afstand tussen vlam en object, en de concentraties CO₂ en H₂O. De atmosferische transmissie τ wordt berekend conform het Gele Boek [10].

De zichtfactor F tussen vlam en aangestraald object wordt door de geometrie bepaald: diameter D van de plas (vlam), 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 toegelicht in bijlage 4. Voor de lengte H van de vlam geldt:

² Dit model levert identieke resultaten als de Multi Energie Methode [10], [11] indien in dat model wordt uitgegaan van de curve met de hoogste blast sterkte 10 en een waarde 0.08 voor de obstructiefactor.

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

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

Voor de brandsnelheid m [kg/m².s] geldt:

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

De afbuighoek Φ volgt uit:

$$\frac{\tan \varphi}{\cos \varphi} = 0.666 (R_e)^{0.117} (F_r)^{0.333}$$

Met

$$R_e = \frac{u_a D}{\nu_a}, \quad F_r = \frac{u_a^2}{g D}$$

| | |
|------------------|--|
| D | diameter plas [m] |
| H | lengte vlam [m] |
| ρ_a, ρ_v | dichtheid lucht, damp [kg/m ³] = 1.20 [kg/m ³] |
| u_a | windsnelheid [m/s] |
| ν_a | kinematische viscositeit = 1.31 10 ⁻⁵ [m ² /s] |
| g | 9.81 [m/s ²] |

Het resultaat van de effectberekening zijn verschoven ellipsvormige contouren voor 35 kW/m² en voor een kans op overlijden. De contouren worden weergegeven met een effectieve breedte. (zie paragraaf 5.5)

Plasbrand op water

De scenario's voor binnenvaart zijn gedefinieerd conform het Hart [11]. Voor atmosferische vloeistoffen betekent dit het hanteren van vast uitstroomdebiet M_{rel} [m³/s]. Directe ontsteking van een uitstroming van brandbare vloeistof op water resulteert in een plasbrand. Voor de berekening van de plasomvang wordt in RBM II evenwicht tussen uitstroming en verbranding verondersteld.

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

De berekening van de brandsnelheid m is in het voorgaande toegelicht.

5.4.4. Fakkelt

Een fakkeltbrand ontstaat wanneer brandbaar tot vloeistof verdicht gas met hoge snelheid ontsnapt uit een opening in het reservoir en vrijwel direct ontsteekt. Andere gevaren van

een fakkelbrand zijn rook, giftige bijproducten van de brand en mogelijke bron van secundaire branden en explosies in het omringende gebied. Deze effecten niet gemodelleerd in RBM II.

RBM II veronderstelt dat de fakkelbrand horizontaal uitstroomt waarbij warmtestraling het grootste gevaar vormt. In RBM II wordt de correlatie uit LPG Integraal gebruikt voor de fakkellengte. De fakkel wordt hierbij gerepresenteerd door een horizontale cilinder met een lengte L. en een diameter D gelijk aan de lengte gedeeld door 8

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

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.

Het resultaat van de effectberekening zijn verschoven ellipsvormige contouren voor 35 kW/m² en voor een kans op overlijden. De contouren worden weergegeven met een effectieve breedte. (zie paragraaf 5.5)

5.4.5. BLEVE

BLEVE staat voor Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (kokende vloeistof-gasexpansie-explosie). Een BLEVE treedt op wanneer een reservoir 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 vuurbal (of jet). Naast de warmtestraling treden ook drukgolven op zowel vanwege de drukontlasting van de dampruimte van het reservoir als van de explosieve verdamping en de verbranding.

In RBM II wordt alleen het risicobepalende warmtestralingseffect beschouwd. Hiertoe wordt een vuurbalmodel gebruikt [10]. Andere effecten van een BLEVE als overdruk, gevaarlijke fragmenten, rook en giftige bijproducten worden door RBM II niet gemodelleerd. RBM II richt zich op de warmtestraling omdat dit een groter effectgebied beslaat dan het overdrukeffect en daarmee een significant grotere bedreiging is.

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 bevindt zich op hoogte $h=2R$.

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

Hierbij is M de massa in [kg] in de vuurbal. De fractie van de in het reservoir aanwezige massa die in de vuurbal wordt gelijk gesteld wordt aan 3 maal de adiabatische flash. De maximale fractie berdaagt 1.

De warmstraling q op een bepaalde afstand wordt berekend met:

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

De viewfactor F_{view} op afstand r van het centrum van de vuurbal is :

$$F = D^2/r^2$$

$$D = 2R$$

De atmosferische transmissie τ wordt berekend conform het Gele Boek.

De stralingssterkte E op het vuurbaloppervlak wordt berekend uit de fractie F_s van de verbrandingsenergie $M \cdot H_c$ die als warmestraling vrijkomt.

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

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

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

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

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

Het resultaat van de berekening is een cirkelvormige contour voor 35 kW/m² en voor een kans op overlijden van 100%, 90%, 50%, 10%, 1% en 0.1% bij onbeschermd blootstelling (zie paragraaf 5.5).

Opmerking

Met betrekking tot de BLEVE moet een goed onderscheid gemaakt worden tussen de oorzaken. De BLEVE kan warm (als gevolg van een externe brand) of koud (bijvoorbeeld als gevolg van impact) zijn. Het is duidelijk dat beide scenario's bijdragen aan het risico. De vraag is in hoeverre de druk in het reservoir zal oplopen bij een warme BLEVE, dit omdat 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 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.

5.5. Schademodellering

Inleiding

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

Hierbij zijn in RBM II 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)

Toxische effecten

Voor de kans op overlijden P_t als functie van de concentratie C en de blootstellingstijd t wordt gebruik gemaakt van de gepubliceerde probitrelaties. Deze hebben de vorm

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^n \cdot t).$$

De relatie tussen de overlijdenskans P_t en de corresponderende probit Pr wordt gegeven door:

$$P_t = 0.5 [1 + \operatorname{erf}((Pr-5)/2^{1/2})]$$

Erf = errorfunctie

De probitconstanten, a , b , n zijn ontleend aan de in Hart gepubliceerde relaties en zijn voor de in RBM II gehanteerde voorbeeldstoffen opgenomen in bijlage 1. De berekening van de constanten voor de niet-gepubliceerde probitrelatie voor de voorbeeldstof propylamine is toegelicht in bijlage 6.

Voor personen die zich in een gebouw bevinden is de kans op overlijden 10% van de kans op overlijden buiten een gebouw. Tabel 5.3 toont de overlijdenskansen voor de twee onderscheiden situaties bij toxische stoffen. Overlijdenskansen kleiner dan 1% worden niet beschouwd.

| Gebied | Aanwezigen | |
|----------------------------|-----------------|--------|
| | Binnen | Buiten |
| In gebied met $P_t > 0.01$ | $0.1 \cdot P_t$ | P_t |
| In gebied met $P_t < 0.01$ | 0 | 0 |

Tabel 5.3. Overlijdenskans voor de twee onderscheiden situaties bij toxische effecten

Effectieve breedte

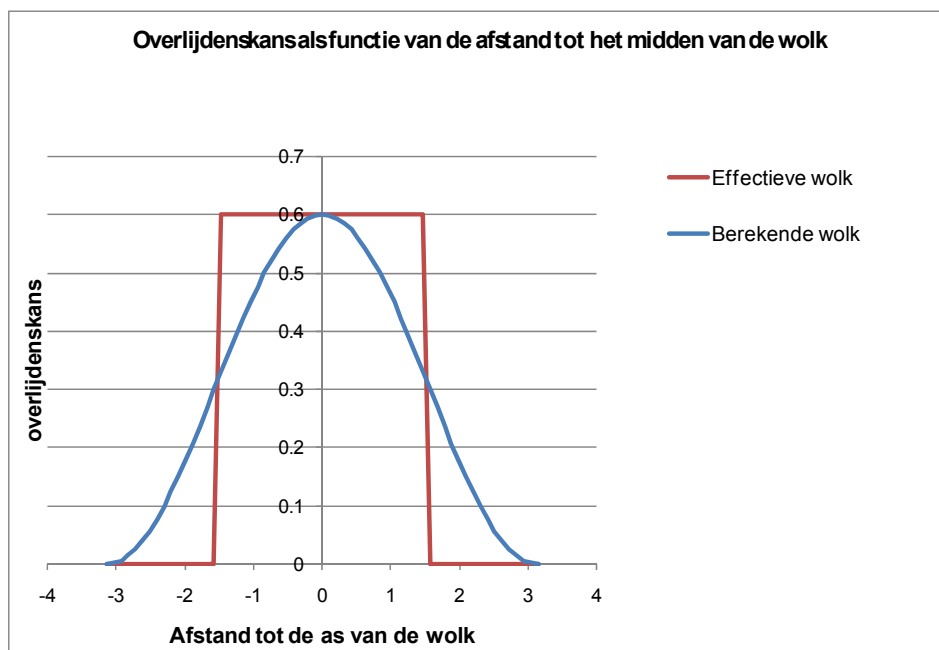
Met het dispersiemodel wordt de concentratie C als functie van de afstand x van het uitstroompunt en de afstand y in de breedte tot de wolkas bepaald. In combinatie met de blootstellingsduur wordt hieruit wordt de overlijdenskans P_t berekend. Bij continue uitstromingen komt de blootstellingsduur t_b overeen met de uitstroomduur met een maximum van 1800 seconden (30 min.). Bij instantane uitstromingen komt

blootstellingsduur overeen met de passagetijd van de uitzakkende en groter wordende wolk. Vervolgens wordt ter vereenvoudiging van de risicoberekeningen een effectieve breedte bepaald.

Voor continue uitstromingen geldt:

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

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



Figuur 5.1. Grafische weergave effectieve wolk

In figuur 5.1 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 wordt bij de bepaling van de effectieve breedte rekening gehouden met de passagetijd van de uitzakkende en groter wordende wolk. Deze is functie van de afstand x tot het uitstroompunt en de afstand y in de breedte tot de wolkas.

Het concept effectieve breedte is toegelicht in het Hart[11].

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 5.4 toont de overlijdenskansen voor beide situaties.

| Gebied | Aanwezigen | |
|--------------------------|------------|--------|
| | Binnen | Buiten |
| In de brandbare wolk | 1 | 1 |
| Buiten de brandbare wolk | 0 | 0 |

Tabel 5.4. Overlijdenskansen bij wolkbrand

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_b zonder bescherming bepaald met onderstaande probitrelatie voor de warmtebelasting q in W/m² en de blootstellingstijd t in seconden.

$$Pr = -38.48 + 2.56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t)$$

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 5.5 zijn de overlijdenskansen per gebied gegeven³.

| Gebied | GR | | PR |
|---|------------|--------------|-------------------|
| | Aanwezigen | | Overlijdenskansen |
| | 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_b | P_b |

Tabel 5.5. Overlijdenskansen voor de drie onderscheiden situaties bij plasbrand

Explosie overdruk

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

³ Merk op dat bij een BLEVE

- Direct onder de vuurbal is de overlijdenskans 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 overlijdenskans, van 1 naar een lagere waarde. De warmtestraling is immers al gedaald beneden de 35 kW/m².

de 0.3 en 0.1 bar overdruk contour zal overliden. 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;
- Een gebied met een overdruk kleiner dan 0.1 bar.

De bijbehorende overlidensansen per gebied staan in tabel 5.6.

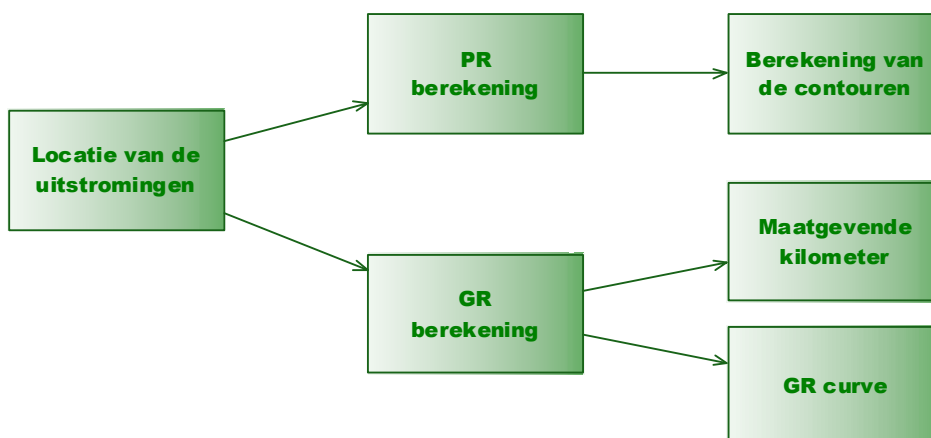
| Gebied | Aanwezigen | |
|------------------------------|------------|--------|
| | Binnen | Buiten |
| overdruk > 0.3 bar | 1 | 1 |
| overdruk > 0.1 bar < 0.3 bar | 0.025 | 0 |
| overdruk < 0.1 bar | 0 | 0 |

Tabel 5.6. Overlidenkanssen bij gaswolkexplosie

6. Plaatsgebonden risico en groepsrisicoberekening

6.1. Algemeen

Dit hoofdstuk behandelt de laatste stappen in de risicoberekening. In figuur 6.1 zijn de stappen weergegeven.

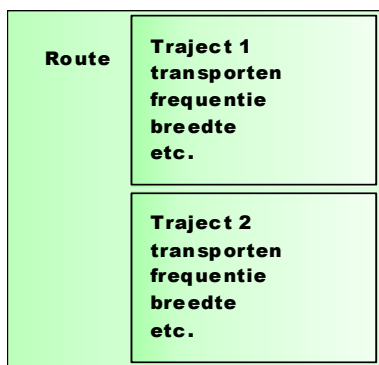


Figuur 6.1. Rekenstappen

Paragraaf 6.2 behandelt de wijze waarop de uitstroompunten zijn vastgesteld. In paragraaf 6.3 wordt de berekening van het plaatsgebondenrisico beschreven en in paragraaf 6.4 wordt de berekening van het groepsrisico behandeld. In de berekening van het plaatsgebondenrisico en van het groepsrisico gaan uit van de beschrijving van effecten met een effectieve breedte als functie van de afstand, zoals toegelicht in paragraaf 5.5.

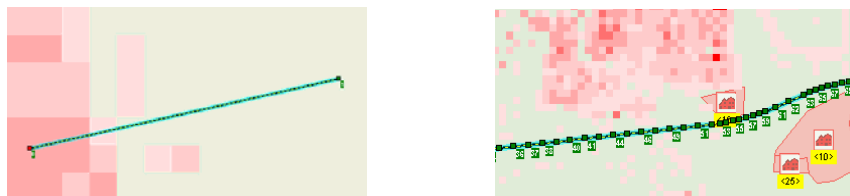
6.2. Uitstroompunten

De te evalueren weg, spoorweg, of vaarweg wordt een route genoemd. Deze bestaat uit één of meer[der]e trajecten. Tot 50 trajecten zijn toegestaan. De eigenschappen van een traject die de hoogte van het risico bepalen, kunnen binnen een traject niet variëren. Dus voor een traject geldt een vaste transportsamenstelling, ongevalfrequentie, breedte etc.



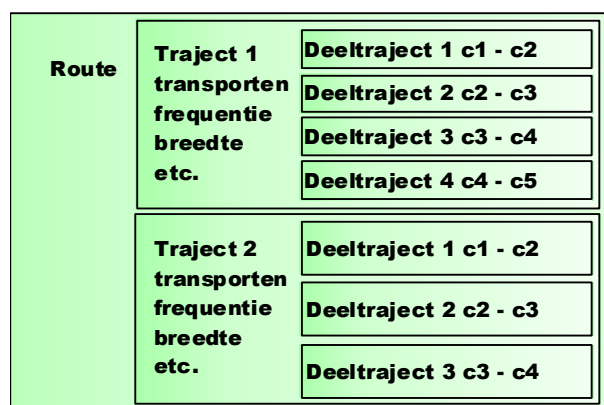
Figuur 6.2. Onderverdeling van een route in trajecten.

Een traject wordt geografisch nog wel verder onderverdeeld. Immers, om “coördinaatvast” te werken zal een traject veelal bestaan uit een veelvoud van punten. In figuur 6.2 links is een traject met twee coördinaten weergegeven. In de rechter figuur is een traject met meerdere coördinaten weergegeven.



Figuur 6.3. Minimale variant met twee coördinaten (links) en een variant met meerdere coördinaten (rechts).

De locaties waar gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen volgen de coördinaten van het transport. Voor het vaststellen van de locaties is een extra onderverdeling noodzakelijk. Dit is de onderverdeling in deeltrajecten: Een deeltraject is het deel van een traject tussen twee opeenvolgende coördinaten. In figuur 6.3 is dit schematisch weergegeven.

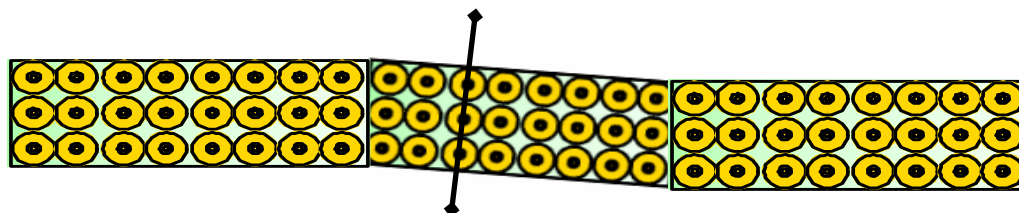


Figuur 6.4. Verdere onderverdeling in deeltrajecten.

Een traject heeft ten minste 1 deeltraject. Er zijn maximaal 99 deeltrajecten mogelijk. Voor ieder deeltraject wordt het aantal uitstroompunten in de lengte richting en het aantal uitstroompunten in de breedterichting bepaald, met inachtneming van de volgende regels:

1. Ieder gedefinieerd uitstroompunt op een deeltraject heeft hetzelfde gewicht
2. Het aantal uitstroompunten in de lengterichting is het kleinste aantal uitstroompunten waarvoor geldt dat het product van het aantal uitstroompunten en de afstand tussen uitstroompunten groter of gelijk is aan de lengte van het deeltraject. Ieder deeltraject heeft derhalve tenminste 1 uitstroompunt gedefinieerd.
3. Het aantal uitstroompunten in de breedterichting is het kleinste aantal uitstroompunten waarvoor geldt dat het product van het aantal uitstroompunten en de afstand tussen uitstroompunten groter of gelijk is aan de breedte van het deeltraject. Ieder deeltraject heeft derhalve tenminste 1 uitstroompunt gedefinieerd.

In figuur 6.4 zijn de uitstroompunten weergegeven voor een denkbeeldig traject met drie deeltrajecten. De uitstroompunten in de breedterichting zijn op de loodlijnen van de as van het deeltraject geprojecteerd.



Figuur 6.5. De uitstroompunten op een traject met drie deeltrajecten.

De frequentie van een uitstroming op een van de uitstroompunten wordt vastgesteld uit de ongevalfrequentie van het traject, de lengte van het deeltraject en het aantal uitstroompunten op het betreffende deeltraject. Er geldt:

$$f_u = f_t \times \frac{l}{1000 \times n_l \times n_b}$$

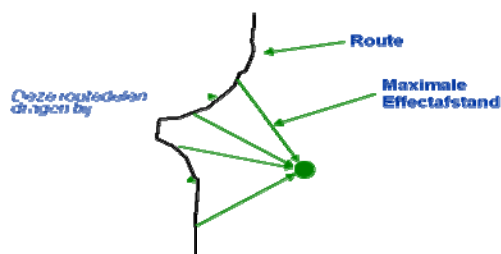
Met

| | | |
|-------|--|-------------|
| f_u | frequentie per uitstroompunt | [-], |
| f_t | frequentie per traject | [1/vtg km], |
| l | lengte van het deeltraject | [m], |
| n_l | aantal uitstroompunten in de lengterichting | [-], |
| n_b | aantal uitstroompunten in de breedterichting | [-], |

6.3. Berekening van het plaatsgebondenrisico

6.3.1. Grid

Het plaatsgebonden risico wordt berekend door op diverse plaatsen in een bepaald gebied de kans op overlijden te bepalen. In de RBM zijn deze plaatsen vastgesteld volgens een vast stramien. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een grid waarbij de afstand in verticale richting gelijk is aan de afstand in horizontale richting. Voor ieder punt in dit grid wordt de kans op overlijden bepaald door de afzonderlijke bijdrage van de uitstroompunten te sommeren.



Figuur 6.6. Bijdrage van relevante uitstroompunten aan het plaatsgebonden risico op een bepaalde plaats.

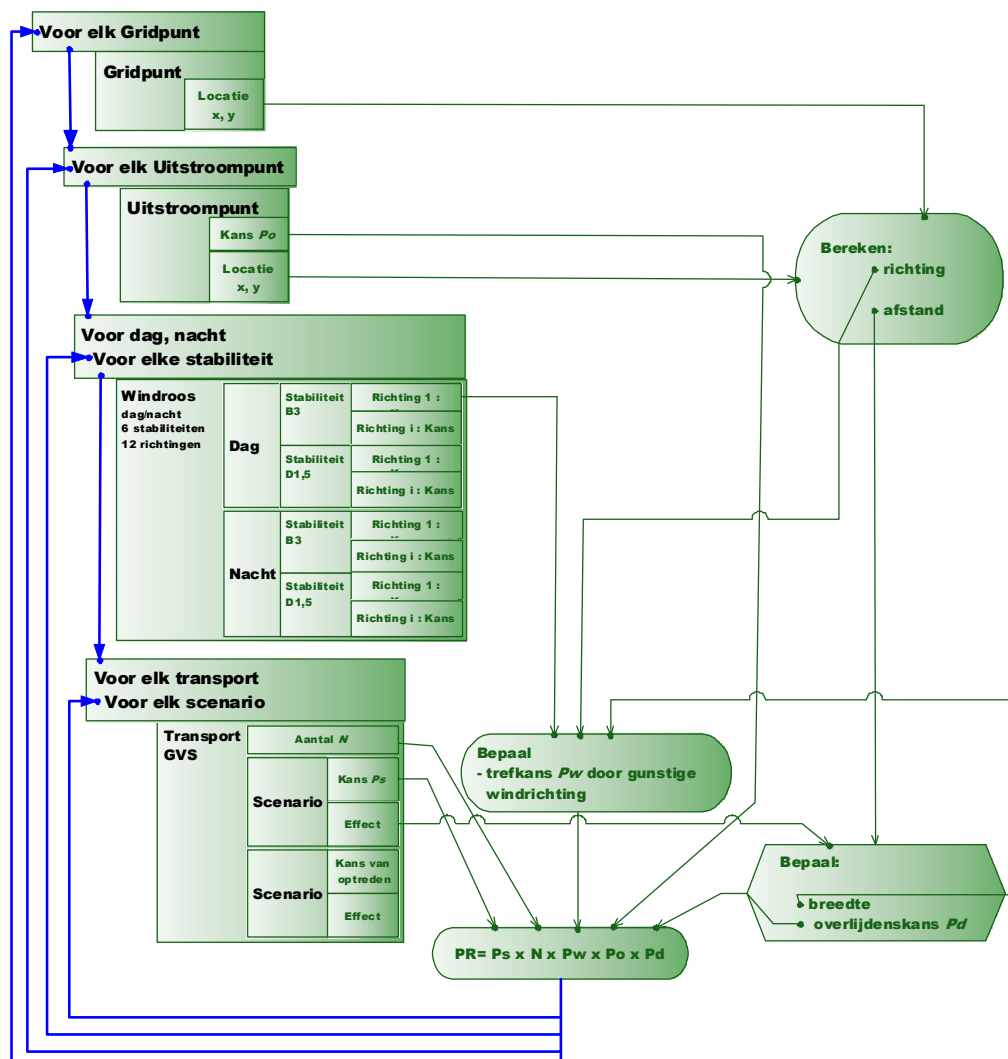
Het grid is op korte afstand van de transportroute fijnmazig en wordt, met toenemende afstand tot de route, steeds grofmaziger. Voor de modaliteit spoor en weg worden de volgende zones onderscheiden:

1. Plasbrand zone: 0 tot 60 meter vanaf de rand van de transportroute weg/spoor, stapgrootte 7 meter
2. BLEVE zone: 60 tot 250 meter vanaf de rand van de transportroute weg/spoor, stapgrootte 14 meter
3. Middelgrote afstandszone: 250 to 2500 meter vanaf de rand van de transportroute weg/spoor stapgrootte 28 meter
4. Grote afstandszone: >2500 vanaf de rand van de transportroute weg/spoor stapgrootte 56 meter

In de modaliteit water wordt met een uniform grid gerekend met een ribbe van 56 meter.

6.3.2. Berekeningsschema

In figuur 6.7 is de datastructuur weergegeven als blokschema's. De loop van de berekening wordt weergegeven door de blauwe lijnen. De groene lijnen geven de vraag en herkomst van de belangrijkste gegevens weer.



Figuur 6.7. Rekenchema van het plaatsgebondenrisico.

De berekening van het PR wordt in vier berekeningstappen uitgevoerd. In de eerste stap wordt de de richting van het gridpunt ten opzichte van het uitstroompunt en de afstand van het uitstroompunt tot het grid punt bepaald. In de volgtijdelijke tweede rekenstap wordt de kans op overlijden en de effectieve breedte voor de betreffende afstand bepaald. In de derde stap wordt de de kans vastgesteld voor de windrichtingen waarbij de wolk het gridpunt raakt. De kans is afhankelijk van de windroos, de afstand tot het uitstroompunt en de breedte van de wolk. In de laatste stap wordt het plaatsgebonden risico voor de locatie berekend uit de ongevalsfrequentie per uitstroompunt P_o , de kans op een "gunstige" windrichting, P_w , De overlijdenskans P_d , de kans op het beschouwde scenario P_s en het aantal transporten N . Voor het plaatsgebondenrisico geldt:

$$Pr = N \times P_o \times P_s \times P_w \times P_d.$$

6.3.3. Contouren

Na de berekening is het plaatsgebonden risico voor elk punt vastgesteld. Vanuit dit grid worden de contourlijnen vastgesteld. Contourlijnen zijn lijnen die punten met hetzelfde risico met elkaar verbindt. De contourlijnen worden getekend met vaste waarden 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} 1/jaar. Voor het vaststellen van de contour wordt de ligging middels logaritmische interpolatie van het grid berekend.

6.4. Groepsrisicoberekening

6.4.1. Berekening van de GR-curve per uitstroompunt

Het groepsrisico wordt berekend door voor ieder uitstroompunt een groepsrisicocurve te berekenen. Dit vindt in grote lijnen als volgt plaats:

- bereken voor elk scenario de combinaties (aantal slachtoffers, kans),
- sorteer alle (slachtoffers, kans) combinaties aflopend op aantal slachtoffers,
- construeer de FN-curve uit deze lijst door de frequentie van een volgend aantal te cumuleren op het voorgaande aantal.

De overlijdenskans van een effectgebied kan afnemen met de afstand. Voor de berekening van het aantal slachtoffers wordt de wolk in segmenten ingedeeld. Deze segmenten worden in vervolg effectsegmenten genoemd.

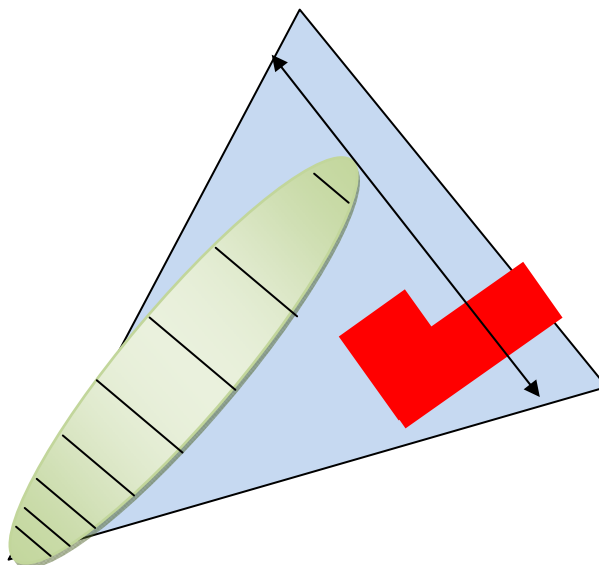


Figuur 6.8. Onderverdeling van wolkcontour in segmenten.

In een segment wordt uitgegaan van een uniforme overlijdenskans. De dikte van een effectsegment neemt toe met de afstand tot het uitstroompunt. De minimale dikte bedraagt 1 meter.

De bebouwingsvlakken worden niet vooraf geconverteerd naar een grid, maar het aantal slachtoffers wordt bepaald uit de overlap van de bebouwingsvlakken met de wolksegmenten. Hierdoor wordt vermeden dat bevolking wordt uitgesmeerd over een groter oppervlak.

In veel gevallen zal op bepaalde afstand tot het uitstroompunt de wolkbreedte kleiner zijn dan de breedte van de windsector. Voor deze locatie zal een willekeurige orientatie van de wolk niet altijd tot (evenveel) slachtoffers leiden.



Deze situatie is in bovenstaand figuur weergegeven en kan optreden als de wolkbreedte niet overeenkomt met breedte van de windsector. In bovenstaande figuur is de windsector als driehoek en de wolk als ellips weergegeven. Potentiele slachtoffers bevinden zich uitsluitend in de bebouwing, aangegeven met het rode object. Er kunnen alleen slachtoffers vallen als de wolk over de bebouwing ligt. In de andere situaties zullen geen slachtoffers optreden. Om hierbij een “toevalstreffen” te voorkomen wordt het aantal slachtoffers dat bijdraagt aan het groepsrisico bepaald uit de *trefkans*, de overlijdenskans(en) en het aantal aanwezigen in de overlap van de wolk met het bevolkingsgebied. Hierbij wordt het aantal slachtoffers op een bepaalde afstand van het uitstroompunt berekend als verwachtingswaarde.

Voor ieder uitstroompunt wordt een groepsrisicocurve berekend. Vervolgens worden de groepsrisicocurven over de breedte gesommeerd en toegekend aan het midden van het traject (GR-punt). Dit resulteert in een route waarbij om de ongeveer 25 meter een groepsrisico is berekend.

6.4.2. Berekening van de maatgevende kilometer

Nadat het groepsrisico per stap van 25 meter is bepaald en toegekend is aan een GR-punt wordt het maatgevende traject bepaald. Het groepsrisico is gedefinieerd voor een trajectlengte van 1000 meter. Voor ieder GR-punt wordt het groepsrisico per kilometer bepaald door alle groepsrisico's te sommeren vanaf een kilometer voor GR-punt. Tot het GR-punt. Vervolgens wordt het groepsrisico bepaald vanaf 975 meter voor, tot 25 meter

na het GRpunt. Beide berekende groepsrisico's worden met elkaar vergeleken op basis van de maximale waarde van de risicoscore ($f \times N^2$). De curve met de hoogste score wordt bewaard. Nu wordt het traject iedere keer 25 meter verschoven waarbij het goepsrisico met de hoogste risicoscore wordt bewaard, totdat het groepsrisico wordt berekend voor het routedeel vanaf GR-punt tot 1000 meter na het GR-punt.

Het maximale groepsrisico per kilometer wordt per traject berekend. Door een traject met het voorgaande traject(en) te verbinden wordt bij de berekening van het maximale groepsrisico de verbonden trajecten als één traject beschouwd.

De trajectlengte bedraagt ten minste 1000 meter. Bij trajecten waarvan de lengte kleiner is dan 1000 meter wordt een groepsrisico gepresenteerd waarbij de frequentie is gecorrigeerd voor de te kleine lengte⁴.

$$F = F_0 \times \frac{1000}{l}$$

Met

| | | |
|----|----------------------------|--------|
| F | frequentie | [1/j], |
| F0 | oorspronkelijke frequentie | [1/j], |
| l | lengte van het deeltraject | [m], |

6.4.3. Berekening van het groepsrisico van de totale curve

Het groepsrisico van de totale route wordt berekend door sommatie van het groepsrisico per GR-punt.

6.4.4. Presentatiewijzen van het groepsrisico

In de presentatie worden de groepsrisico's van de GR-punten geïndiceerd op zowel absolute kenmerken als relatieve kenmerken.

Absolute indicaties op de hoogte van het groepsrisico

De kleur van de punt is een maat voor de absolute hoogte van het groepsrisico in relatie tot de oriëntatiewaarde en kan rood, geel of groen zijn.

- Rode punten zijn punten waar omheen een routedeel van een kilometer is te definiëren waarvan het groepsrisico boven de oriëntatiewaarde ligt.
- De gele punten zijn punten waar omheen een routedeel van een kilometer is te definiëren met een groepsrisico boven 0.1 keer de oriëntatiewaarde, maar wel onder de oriëntatiewaarde blijft.
- Groene punten zijn de overige punten. Dit zijn punten met een relatief laag risico.

Relatieve indicaties op de hoogte van het groepsrisico

De rand om deze punten geeft de relatieve hoogte van het groepsrisico. Er zijn twee kleuren: geel en blauw. De punt(en) met een gele rand zijn de locatie(s) met de hoogste bijdrage aan het groepsrisico. Het risico heeft betrekking op het deel van het traject van ongeveer 12 voor tot ongeveer 12 meter na het betreffende punt. Met de punten met een

⁴ Het is van belang dat de trajecten met elkaar verbonden worden

blauwe rand wordt het trajectdeel aangegeven met het hoogste groepsrisico, gebaseerd op een trajectlengte van 1000 meter.

7. Referenties

- 1 AVIV, 1999
Systematiek voor indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen. Tweede editie 1999
- 2 AVIV, 1996
Veiligheid vervoer over de weg. Eindrapport deelnota 5b.
Externe veiligheid: analyse ongevallen gevaarlijke stoffentransport en zwaar verkeer en maatregelen.
- 3 AVIV, 1994
Fundamenteel onderzoek naar kanscijfers voor risicoberekeningen bij wegtransport gevaarlijke stoffen.
- 4 IPO, 1994
Risico's vervoer gevaarlijke stoffen. Tussenrapportage deelproject Rail, 9 juni 1994, Ing. D. Verploegh (provincie Zuid-Holland).
- 6 TNO, 1983
LPG-integraal.
- 7 SAVE,
Risicoanalyse van het transport en de op- en overslag van chloor in Zuid-Holland.
- 8 IPO A74
Projectplan en voortgangsrapportages project A74 "Risico's vervoer gevaarlijke stoffen".
- 9 SAVE, 1995
De basisfaalfrequenties voor het transport van gevaarlijke stof over de vrije baan.
- 10 Ministeries VROM, BZK, SZW en V&W, 2005
PGS2, Methods for the Calculation of Physical Effects, Due to the Release of Hazardous Materials (liquids and gases), november 2005
(voorheen CPRE 14, "Gele Boek").
- 11 Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011
Handleiding Risicoanalyse Transport (Hart)
- 12 RIVM, 2004
Vergelijking van RBM II met Safeti, doc.nr. 148-2004, 13 mei 2004
- 13 Rijkswaterstaat Bouwdienst, 2007
Inventarisatie toepassingsmogelijkheden RBM II voor berekeningen ten behoeve van het "Basisnet, doc.nr. VH-2007-0007, 1 november 2007.
- 14 AVIV, 2007
Onderzoek RBM II, in het kader van de inventarisatie van de toepassingsmogelijkheden bij de vaststelling van het Basisnet, doc.nr. 061069, 1 november 2007.
- 15 AVIV, 2007
Handleiding RBM II, project nr. 00307, 31 december 2007.
- 16 Oranjewoud/SAVE, 2006
Rekenprotocol Vervoer Gevaarlijke Stoffen per spoor, doc.nr. 060333-Q53, april 2006.
- 17 DNV/AVIV, 2000
Risicoanalyse Zee- en Binnenvaart, Het protocol, concept, 2000.

- 18 Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water, D. Mackay en R.S. Matsugu, The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 51, 1973, 434-439
- 19 Methoden voor het berekenen van de fysische effecten van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Gele Boek, eerste druk 1979), Hoofdstuk 4: De verdamping van niet kokende vloeistoffen (Opschoor)
- 20 Risicobepalingsmethodiek en doorrekenen maatregelen, AEA, 1995 (beschrijving/handleiding programma WRAK)
- 21 Sax's Dangerous Properties of Industrial Chemicals, N. Irving Sax and Richard J. Lewis, Sr., 7th. Edition, 1989
- 22 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade, Aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (PGS1), "Groene Boek", 2005 (voorheen CPR16)
- 23 Reid R.C., Prausnitz J.M., B.E. Poling, 1977
The properties of gases en liquids
- 24 Robert H. Perry, Don Green fifth edition 1973
Perry's Chemical Engineers' Handbook
- 25 Emerson, M.C., 1986
Dense cloud behaviour in momentum jet dispersion.
IMA Conference Mathematics in major accident risk assessment, O
- 26 Cox, C.A. en Carpenter, R.J., 1980
Further development of a dense vapour cloud model for hazard analysis. In:
Hartwig, S. (ed), Heavy gas and risk assessment.

Begrippenlijst

| | |
|---|--|
| Aandachtspunten | Locaties langs de transportroute waar de ruimtelijke bestemming conflicteert met het risiconiveau tengevolge van het transport van gevaarlijke stoffen over die routes. De relevante risiconiveaus zijn de risiconorm PR en risicomaat GR die hiervoor door provincie en rijk worden gehanteerd. |
| Basisnet Spoor, Weg en Vaarweg | Het Basisnet is een routenetwerk voor transport van gevaarlijke stoffen over spoorwegen, vaarwegen en rijkswegen. Het Basisnet moet een robuust routenetwerk vormen waarin een duidelijke keuze tussen het spanningsveld van transport, economie en ruimtelijke ordening is aangebracht. Het Basisnet wordt ontworpen voor de middellange termijn. Elke route/elk traject krijgt daartoe een vervoersplafond in de vorm van een risicoruimte en afhankelijk daarvan een veiligheidszone. |
| Beperkt kwetsbaar object | Tot de beperkt kwetsbare objecten worden bedrijven, verspreid liggende woningen, kantoorgebouwen, restaurants en winkels e.d. gerekend. |
| Bevaarbaarheidsklasse | Internationale vaarwegindeling. De bevaarbaarheid is onderverdeeld in zes klassen die, aan de hand van het laadvermogen en de afmetingen van de vaartuigen, informatie geven over de capaciteit van de vaarweg. |
| Bevolkingsdefinitie | De bebouwingsgebieden worden gedefinieerd als vierhoeken met een uniforme dichtheid per vierhoek. De bevolkingsdichtheid kan worden ingevuld voor de dag- en de nachtsituatie. In RBM II zijn vijf verschillende bevolkingstypen gedefinieerd. |
| BLEVE (koude / warme) | Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Een BLEVE is de fysische explosie van een onder druk aanwezige vloeistof of tot vloeistof verdicht gas door het bezwijken van een omhulling, waardoor (een gedeelte van) de expanderende vloeistof vrijwel instantaan overgaat in dampvorm. Bij brandbare vloeistoffen gaat dit meestal gepaard met een vuurzee, die als vuurbal wordt gemodelleerd. Het bezwijken van de omhulling kan veroorzaakt zijn door een mechanische beschadiging of door verhitting van het vat, waarbij in het laatste geval een stijging van de dampdruk en vaak een verzwakking van het materiaal van de omhulling optreedt. |
| Bloktrein | Trein samengesteld uit wagons met daarin stoffen uit één stofcategorie. |
| Bonte trein (unit cargo) | Spoorvervoer van losse wagons of kleine groepen wagons, die onderweg gerangeerd worden van de ene trein in de andere (in dit onderzoek samengesteld uit meerdere stoffen). |
| (concept) Besluit Transportroutes Externe Veiligheid | Opvolger van de Circulaire RVGS. |

(BTEV)**Circulaire risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen (CRVGS)
Conditionele kans**

Het huidige externe veiligheidsbeleid voor vervoer van gevaarlijke stoffen. In 1996 vastgelegd in de Circulaire Risiconormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen (Circulaire RVGS).

Voorwaardelijke kans. Wanneer we al voorkennis hebben dat een gebeurtenis X heeft plaatsgevonden, waardoor de mogelijke uitkomsten beperkt zijn tot X.

Definitie van het werkgebied

De gebiedsdefinitie bepaald de grootte van het gebied waarvoor RBM II een rekengrid definieert. Dit betekent dat:

- Buiten het gedefinieerde gebied geen risico's worden berekend,
- Het definiëren van bevolking buiten het rekengebied leidt tot onjuiste resultaten. Bebouwing die buiten dit gebied is gedefinieerd, wordt niet meegenomen in de groepsrisico-berekening
- Routes die buiten dit gebied worden gedefinieerd hebben wel invloed op het plaatsgebonden risico binnen dit gebied.
- Ingevoerd worden de coördinaten van het punt linksomder, de grootte van het gebied en de gridcelgrootte. Indien het gebied een overlap heeft met Nederland, worden de grenzen van het gebied op de kaart aangegeven. Op deze wijze is een eerste controle op de juistheid van de grenzen mogelijk

Domino-ongeval

Een domino-ongeval wordt gedefinieerd als een zwaar transport ongeval, dat het directe gevolg is van een ander zwaar transportongeval. Met domino-effect wordt de volgebeurtenis bedoeld die optreedt als gevolg van een domino-ongeval. Een transportmiddel heeft door de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen een specifieke domino-afstand, die, indien een zwaar ongeval zou plaatsvinden, tot een domino-effect leidt als een ander transportmiddel zich binnen deze afstand zou bevinden.

Effectafstand

De afstand tot waar een calamiteit een bepaald effect (overlijden, verwonding) heeft op een persoon die zich daar onbeschermd bevindt.

Effectscenario's

Verschillende scenario's die kunnen optreden na het uitstromen van een gevaarlijke stof en (na ontsteking) een bepaald effect tot gevolg hebben als een BLEVE of een plasbrand.

Externe veiligheid

Externe veiligheid betreft in dit onderzoek de risico's voor de omgeving veroorzaakt door het transport van gevaarlijke stoffen over water, weg en spoor.

Fakkel/toortsbrand

Een brand die optreedt bij directe ontsteking van continu uitstromend (tot vloeistof verdicht) gas of verdichte gassen.

**Flash Fire
FN-curve**

Zie wolkbrand

Grafiek waarin aantal berekende slachtoffers uitgezet zijn tegen de cumulatieve frequentie. Het groepsrisico geldt steeds voor een kilometervak. In RBM II zijn twee opties voor het tonen van het groepsrisico, één optie is een uitvoer van het groepsrisico per kilometervak samen met de getotaliseerde groepsrisicocurve voor het gehele traject, de andere optie

| | |
|--------------------------------|---|
| | betreft het tonen van het groepsrisico voor één bepaald punt en de totale groepsrisicocurve voor het betreffende kilometervak. |
| Gaswolk(explosie) | De snelheid waarmee de wolk verbrandt, bepaalt het effect. In sommige situaties, zal de wolk zo snel verbranden dat dit tot een explosieve kracht leidt (ontploffingsgolf). Dit wordt een gaswolkexplosie genoemd. |
| Gaussische verspreiding | |
| Gebeurtenissen-boom | Methodiek om de gevolgen van een bepaalde begingebuurtenis te onderzoeken. |
| Gekleurde boeken | Benaming voor het Gele Boek (PGS 2) en het Paarse boek (PGS 3) samen. |
| Gele Boek | De rekenmodellen die worden gebruikt in RBM II zijn gebaseerd op het Gele boek (PGS 2). |
| Gemengde trein | Zie bonte trein. |
| Gevaarlijke stof | Onder “gevaarlijke stoffen” worden, met uitzondering van het vervoer door buisleidingen, die stoffen verstaan die in het kader van artikel 1, eerste lid, onderdeel b, sub 1 tot en met 9, van de Wet vervoer gevaarlijke stoffen (verder te noemen: WVGS) als gevaarlijk moeten worden beschouwd. Meer in het bijzonder zijn dit de stoffen, preparaten en voorwerpen die krachtens artikel 3 van de WVGS zijn aangewezen. Deze stoffen zijn te vinden in de bijlagen bij de verdragen die zijn gesloten voor de verschillende vervoermodaliteiten, te weten het ADR (wegvervoer), het ADNR (binnenvaart) en het RID (spoorvervoer). Deze bijlagen zijn tevens opgenomen als bijlage 1 bij de verschillende Nederlandse regelingen, te weten de Regeling vervoer over land van gevaarlijke stoffen (VLG), de Regeling vervoer over de binnenwateren van gevaarlijke stoffen (VBG) en de Regeling vervoer over de spoorweg van gevaarlijke stoffen (VSG). |
| GEVI-nummer | Gevaarsindicatie nummer. Deze code bestaat uit een aantal cijfers welke een aanduiding geven betreffende de brandbaarheid en giftigheid. Tevens wordt een aanduiding gegeven welke chemische reacties kunnen optreden o.a. met water. Dit nummer wordt vermeld op het oranje bord dat transporten van gevaarlijke stoffen verplicht zijn te voeren. |
| Grenswaarde | Een grenswaarde geeft het milieukwaliteitsniveau aan dat ten minste moet worden bereikt of gehandhaafd. De grenswaarde moet door het bevoegde orgaan bij de uitoefening van zijn bevoegdheden in acht worden genomen. |
| Groepsrisico | Het groepsrisico (GR) is de kans per jaar dat tenminste een groep mensen van een bepaalde grootte het dodelijk slachtoffer is van een ongeval. Het GR wordt meestal weergegeven in een grafiek waarin op de horizontale as het aantal doden N staat en op de verticale as de cumulatieve kans f per jaar op een ongeval waarbij N of meer doden vallen (zie fN-curve). Het GR voor transport de kans per jaar per kilometer transportroute dat een groep van tien of meer personen in de omgeving van de transportroute in één keer het dodelijk slachtoffer wordt van een |

| | |
|----------------------------------|--|
| | ongeval op die transportroute. |
| Hoofdwegennet | Wegen die onderdeel uitmaken van de nationale hoofdinfrastructuur zoals gedefinieerd in het Structuurschema Verkeer en Vervoer SVV-II. |
| Intoxicatie | Vergiftiging, bedwelming. |
| Invloedsgebied | Gebied waarin volgens bij regeling van de minister vast te stellen regels personen worden meegeteld voor de berekening van het groepsrisico. |
| IPO | Inter Provinciaal Overleg. |
| IVS | Informatie- en Volgsysteem voor de Scheepvaart |
| Kentallen (kencijfers) | De verkeersveiligheid van wegen wordt uitgedrukt door middel van kentallen (of kencijfers), zoals het aantal letselongevallen per voertuigkilometer, het gemiddeld aantal dodelijke slachtoffers per letselongeval, etc. |
| Kilometervak | Deel van een route met een lengte van één kilometer waarover het groepsrisico wordt berekend. |
| Kwetsbaar object | Funcities die gevoelig zijn voor externe risico's en waarvoor gezoneerd moet worden. Afhankelijk van de aard van de functie moet in meer of mindere mate afstand worden aangehouden tot de risico-opleverende activiteit. Tot de kwetsbare objecten worden o.a. woningen, ziekenhuizen en scholen gerekend |
| Letselongevallen | Verkeersongevallen waarbij één of meer betrokkenen letsel oplopen. |
| Letselongevals-frequentie | Het aantal letselongevallen op een wegvak gedeeld door het aantal afgelegde voertuigkilometers op dat wegvak. |
| Loss of Containment (LOC) | Vrijkomen van gevaarlijke stoffen, bijvoorbeeld door het falen van de tank. |
| Onderliggend wegennet | Wegen die geen onderdeel uitmaken van het hoofdwegennet. |
| ONOVIS | Ongevallen en Overtredingen Informatie Systeem |
| Oriëntatiewaarde | Gebruikt in de normstelling externe veiligheid voor het groepsrisico. De oriëntatiewaarde voor het groepsrisico is per km-route of -tracé bepaald op $10^{-2} / N^2$, dat wil zeggen een frequentie van $10^{-4}/\text{jr}$ voor 10 slachtoffers, $10^{-6} / \text{jr}$ voor 100 slachtoffers, etc. De oriëntatiewaarde geeft het milieukwaliteitsniveau aan dat zoveel mogelijk moet worden bereikt of gehandhaafd. Het bevoegde orgaan moet bij de uitoefening van zijn bevoegdheden met de oriëntatiewaarde rekening houden. Van de waarde mag slechts gemotiveerd worden afgeweken. |
| Paarse boek | Het PR en het GR worden berekend conform hoofdstuk 6 van het Paarse boek (PGS 3). |

| | |
|--|--|
| Pasquil- of stabiliteitklasse | Aanduiding van het verdunnend vermogen van de atmosfeer bij uitvoering van dispersieberekeningen. Zes stabiliteitsklassen worden onderscheiden, te weten A (instabiele atmosfeer) tot en met F (zeer stabiele atmosfeer). |
| Plaatsgebonden risico | Het plaatsgebonden risico is de kans per jaar dat een persoon die onafgebroken en onbeschermd op een plaats langs een transportroute verblijft, komt te overlijden als gevolg van een incident met het vervoer van gevaarlijke stoffen. Het PR wordt weergegeven in risico-contouren. Dit zijn lijnen die punten met gelijke risico's met elkaar verbinden. |
| Plaatsgebonden risicocontour | Grafische weergave van het plaatsgebonden risico, waarbij punten met hetzelfde plaatsgebonden risico met elkaar verbonden zijn. In de RBM II kunnen de waarden 10^{-5} tot en met 10^{-8} per jaar worden gepresenteerd. |
| Plasbrand | Verbranding van een plas van brandbare vloeistof die is uitgelekt uit bijvoorbeeld een opslagtank. |
| Probitrelatie | Een probitrelatie geeft het verband weer tussen de dosis (als functie van de concentratie van de stof en de blootstellingstijd) en de respons (de fractie van de blootgestelde populatie die een bepaald effect vertoont). Op deze manier kan met een probitrelatie voor een stof voor iedere willekeurige concentratie en blootstellingstijd het percentage sterfte worden bepaald. |
| Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS) | De Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS) vervangt de voormalige CPR-richtlijnen. Deze worden veel gebruikt bij vergunningverlening en algemene regels op grond van de Wet milieubeheer (8.40-AMvB's) en bij arbeids-, transport- en brandveiligheid. |
| Prorail | Overheidsinstantie ontstaan uit Railned, op zijn beurt opgebouwd uit de voormalige NS-onderdelen Railinfrabeheer en Verkeersleiding. |
| QRA | Quantitative Risk Assessment ofwel kwantitatieve risicoanalyse. |
| RBM II | RisicoBerekeningsMethodiek 2. Gestandaardiseerde rekenmethodiek voor het bepalen van de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen. |
| Rekenprotocol Spoor | Dit rapport bevat uitgangspunten die gehanteerd dienen te worden bij het analyseren van de risico's verbonden aan het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor en bij het toetsen van dergelijke risicoanalyses. Het rapport is bedoeld voor die instanties/instellingen, die een QRA (Kwantitatieve Risicoanalyse) moeten uitvoeren vanwege het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor. |
| Risico | Risico is de kans dat een gebeurtenis plaatsvindt vermenigvuldigd met het effect van die gebeurtenis. |
| Risicoanalyse | Een risicoanalyse is een methode waarbij risico's worden gekwantificeerd door het bepalen van de kans dat een ongeval met een gevaarlijke stof zich voordoet en de gevolgen/effecten/schade daarvan. |

| | |
|-------------------------------|--|
| Risicobenadering | Voorkomen van onveiligheid -beperken van de kans op en effect van ongeval -creëren van mogelijkheden voor zelfredzaamheid –faciliteren van hulpverlening. |
| Route | De te evalueren weg, spoorweg, of vaarweg. De route bestaat uit één of meerdere trajecten. De trajecten <i>kunnen</i> met elkaar verbonden worden. Dit impliceert dat het beginpunt van een traject overeenkomt met het eindpunt van het voorgaande traject. Trajecten <i>hoeven</i> niet met elkaar verbonden te worden. Bijvoorbeeld bij een weg met meerdere rijbanen kan de analist twee rijbanen onderscheiden. Het groepsrisico is echter niet goed gedefinieerd in de bovengenoemde situatie. |
| SAFETI-NL | Rekenprogramma voor inventariseren en berekenen van risico's voor inrichtingen. |
| Scenario | Veronderstelde loop van gebeurtenissen. Beschrijving van het vrijkomen van gevaarlijke stof aan de hand van hoeveelheid en uitstroomduur. |
| Schadeklasse | Mate van schade |
| Stofcategorie-indeling | Specifieke indeling van stoffen in een beperkt aantal categorieën voor de risicoberekening. Uitgangspunt voor de indeling zijn de voor externe risico's relevante stoffeigenschappen, zoals vluchtigheid, brandbaarheid en toxiciteit. |
| Stofcategorie-indeling | Specifieke indeling van stoffen in een beperkt aantal categorieën voor de risicoberekening. Uitgangspunt voor indeling zijn de voor externe risico's relevante stoffeigenschappen, zoals vluchtigheid, brandbaarheid en toxiciteit. |
| Stofindeling | Specifieke indeling van stoffen in een beperkt aantal categorieën ten behoeve van de risicoberekening. Uitgangspunt voor indeling zijn de voor externe risico's relevante stoffeigenschappen, zoals vluchtigheid, brandbaarheid en toxiciteit. |
| Streefwaarde | Een streefwaarde geeft het milieukwaliteitsniveau aan waar naar gestreefd wordt als eindsituatie. |
| Traject | Een deel van een transportroute waarvoor de intensiteit, transportsamenstelling, breedte en ongevalsfrequentie constant mag worden verondersteld. Een traject is één element van een route (vergelijk records in een databestand). |
| Uitstromingsfrequentie | De kans per voertuigkilometer (of per jaar) dat door een ongeval een uitstroming van meer dan 100 kg optreedt. |
| Uitstromingskans | Onder uitstromingskans wordt verstaan de kans per voertuigkilometer dat een uitstroming van meer dan 100 kg optreedt. |
| Uitstroompunt | Punt op de transportroute waar in geval van een ongeval op die transportroute, uitstroming van gevaarlijke stoffen kan plaatsvinden. |

| | |
|---|---|
| VN-nummer | Internationaal stofidentificatienummer. Hiermee wordt een specifieke stof of stofgroep aangeduid. Dit nummer wordt op het oranje bord vermeld dat transporten van gevaarlijke stoffen verplicht zijn te voeren. |
| Weertype | Representatieve combinatie van stabiliteitklasse en windsnelheid. |
| Weertype of weerklasse | Representatieve combinatie van stabiliteitklasse en windsnelheid. Bijvoorbeeld D5 (neutraal weer, windsnelheid 5 m/s) en F1.5 (stabiel weer, windsnelheid 1.5 m/s). |
| Wolkbrand | Snelle verbranding van een brandbare gaswolk na vertraagde ontsteking, zonder drukopbouw. |
| Zeer zware schade | Grote schade, bijv. deuken groter dan 40 cm diep, gaten of scheuren van meer dan 100 cm ² , breken van de romp, uitbranden van het schip. |
| Zwaargas- verspreidingsmodel | Gebaseerd op Cox en Carpenter |
| Zware schade | Aanzienlijke schade, bijv. deuken van 25 tot 40 cm, gaten of scheuren van 15 tot 100 cm ² oppervlakte, aanzienlijke brand- en explosieschade. |

Bijlage 1. Stofgegevens

Toelichting

In de fysische modellen zijn de fysische eigenschappen van de (voorbeeld)stoffen nodig. Sommige eigenschappen zijn afhankelijk van de temperatuur en druk. De stoffeigenschappen onafhankelijk van druk en temperatuur worden getoond in tabel 1.

| Eigenschap | Eenheid | Toelichting |
|------------------------------|--------------------|---|
| Stofnaam | | |
| Molecuulgewicht | kg/mol | |
| Kookpunt | K | |
| Kritische temperatuur | K | |
| Kritische druk | N/m ² | |
| Referentievolume vloeistof | m ³ /kg | |
| Temperatuur referentievolume | K | |
| Constante A | | Voor de correlatie van soortelijke warmte gas |
| Constante B | | Voor de correlatie van soortelijke warmte gas |
| Constante C | | Voor de correlatie van soortelijke warmte gas |
| Constante D | | Voor de correlatie van soortelijke warmte gas |
| LFL-concentratie | vol% | |
| Verbrandingsenthalpie | J/kg | |
| Probitconstante A | | Eenheden mg/m ³ en min |
| Probitconstante B | | Eenheden mg/m ³ en min |
| Probitconstante N | | Eenheden mg/m ³ en min |

Tabel 7. Stoffeigenschappen onafhankelijk van druk en temperatuur

Tabel 2 toont de stoffeigenschappen die een functie zijn van druk en temperatuur. Voor deze eigenschappen worden in RBM II correlaties uit Reid [23] en Perry gebruikt [24]. Deze vergelijkingen maken gebruik van de acentriciteitsfactor ω . Deze factor wordt berekend uit de kritische druk, kritische temperatuur en het kookpunt van de stof.

| Eigenschap | Eenheid | Toelichting | Reid, pagina |
|------------------------------|-------------------|---|------------------|
| Verzadigde dampspanning | N/m ² | Lee-Kessler vergelijking | 183 |
| Soortelijke warmte gas | J/kgK | Correlatie met absolute temperatuur | 226 + appendix A |
| Soortelijke warmte vloeistof | J/kgK | Vergelijking Bondi | 156 |
| Dichtheid gas | kg/m ³ | Viriaalvergelijking Tsonopoulos | 53 |
| Dichtheid vloeistof | kg/m ³ | Vergelijking Gunn en Yamada | 60 |
| Verdampingsenthalpie | J/kg | Afgeleid uit de Clausius-Clapeyron vergelijking voor de verzadigde dampspanning | |
| Enthalpie gas | J/kg | Vergelijking uit Perry [2] | |
| Enthalpie vloeistof | J/kg | Verschied tussen de enthalpie gas en de verdampingsenthalpie | |

Tabel 8. Stoffeigenschappen afhankelijk van druk en temperatuur

Voor de voorbeeldstoffen stoffen zijn hiervoor in het programma correlaties opgenomen. De diffusiecoëfficiënt D_{ac} wordt berekend met correlaties gegeven in Reid 1977, pg. 549, vergelijking 11-3.2, 11-3.4 t/ 11-3.6.

Voor de probitconstanten, a, b, n zijn van de in RBM II gehanteerde voorbeeldstoffen is gebruik gemaakt van de gepubliceerde probitrelaties. Deze hebben de vorm $Pr = a + b \cdot \ln(C^n \cdot t)$. Voor de niet-gepubliceerde probitrelatie voor de voorbeeldstof propylamine is de afleiding in het navolgende toegelicht.

Voor propylamine (UN 1277) is de probit gebaseerd op een proefdiergegeven uit Sax, Dangerous properties of industrial materials 7th ed. PND250 [21]:

- ihl-rat LC50: 2310 ppm/4H

De omrekening naar de probitrelatie voor overlijden van de mens gaat als volgt [22, PGS1, Deel 4, pagina 24, figuur 3]:

- LC50 rat 1 uur: $2310 \cdot \sqrt{4} = 4620$ ppm
- LC50 rat 30 min: $4620 \cdot \sqrt{2} = 6533$ ppm
- LC50 mens 30 min.: $6533 \cdot 0.25 = 1633$ ppm = 4022.3 mg/m³
- probit a-waarde: $a = 5 - \ln(4022.3^2 \cdot 30) = -15$ bij C in mg/m³ en t in min
- probit a-waarde: $-15 + \ln((59.1/24)^2) = -13.2$ bij C in ppm en t in min.

Overzicht stofgegevens voorbeeldstoffen

| Stofcategorie | | LT1[D3] | LT2 | LT3[D4] | LT4 |
|-----------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------|------------------|
| Stofnaam | Eenheid | Acrylnitril | Propylamine | Acroleïne | Methylisocyanaat |
| Molecuulgewicht | kg/mol | 0.0531 | 0.0591 | 0.05606 | 0.05705 |
| Kookpunt | K | 350.5 | 321.7 | 326 | 312 |
| Critische temperatuur | K | 536.0 | 497.0 | 506 | 491 |
| Kritische druk | N/m ² | 4.560E+06 | 4.74E+06 | 5.17E+06 | 5.57E+06 |
| Referentievolume | m ³ /kg | 1.288E-03 | 1.41E-03 | 1.21E-03 | 1.05E-03 |
| Constante A | | 2.554E+00 | 1.6 | 2.86 | 8.54 |
| Constante B | | 5.273E-02 | 8.36E-2 | 5.03E-02 | 2.48E-02 |
| Constante C | | -3.739E-05 | -4.35E-5 | -2.56E-05 | -1.39E-05 |
| Constante D | | 1.099E-08 | 8.57E-9 | 4.55E-9 | -4.03E-08 |
| Probit constante A | | -8.6 | -15 | -4.1 | -1.2 |
| Probit constante B | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Probit constante N | | 1.3 | 2 | 1 | 0.65 |

Tabel 1. Overzicht van de stofconstanten van toxische vloeistoffen (LT)

| Stofcategorie | | GT2 | GT3 [B2] | GT4, GT5 [B3] |
|-----------------------|--------------------|------------------|-----------|---------------|
| Stofnaam | Eenheid | Methylmercaptaan | Ammoniak | chloor |
| Molecuulgewicht | kg/mol | 0.048 | 0.017 | 0.07091 |
| Kookpunt | K | 279.1 | 239.7 | 238.7 |
| Critische temperatuur | K | 470 | 405.6 | 417 |
| Kritische druk | N/m ² | 4.230E+06 | 1.13E+06 | 7.70E+06 |
| Referentievolume | m ³ /kg | 1.14E-03 | 1.48E-03 | 6.50E-04 |
| Constante A | | 3.17E+00 | 6.52 | 6.43 |
| Constante B | | 3.48E-02 | 5.69E-03 | 8.08E-02 |
| Constante C | | -2.04E-05 | 4.08E-06 | -9.24E-06 |
| Constante D | | 4.96E-08 | -2.83E-09 | 3.7E-09 |
| Probit constante A | | -16.04 | -15.6 | -6.35 |
| Probit constante B | | 1.00 | 1.00 | 0.5 |
| Probit constante N | | 2 | 2.00 | 2.75 |

Tabel 2. Overzicht van de stofconstanten van toxische gassen (GT)

| Stofcategorie | | GF1 | GF2 | GF3 |
|-----------------------|--------------------|-------------|-----------|-----------------------|
| Stofnaam | Eenheid | Etheenoxide | n-Butaan | Propan |
| Molecuulgewicht | kg/mol | 0.04405 | 0.05812 | 0.0441 |
| Kookpunt | K | 283.5 | 272.7 | 231.1 |
| Critische temperatuur | K | 469 | 425.2 | 369.8 |
| Kritische druk | N/m ² | 7.190E+06 | 3.80E+06 | 4.25 ^E +06 |
| Referentievolume | m ³ /kg | 1.13E-03 | 1.61E-03 | 1.69 ^E -03 |
| Constante A | | -1.8 | 2.266 | -1.01 |
| Constante B | | 5.31E-02 | 7.91E-3 | 7.32 ^F -03 |
| Constante C | | -3.00E-05 | -2.647E-5 | -3.79E-05 |
| Constante D | | 6.19E-08 | -6.74E-10 | -3.23E-9 |
| LFL | % | 3 | 1.86 | 2.1 |
| Verbr. enthalpie | J/kg | 2.67E+07 | 4.58E+07 | 4.65E+07 |

Tabel 3. Overzicht van de stofconstanten van brandbare gassen (GF)

| Stofcategorie | LF1 | LF2 |
|-----------------------|----------------|-----------------|
| Stofnaam | Heptaan | Pentaaan |
| Molecuulgewicht | 0.10021 | 0.07215 |
| Kookpunt | 371.6 | 309.2 |
| Critische temperatuur | 540.2 | 469.6 |
| Kritische druk | 2.74E+06 | 3.37E+06 |
| Referentievolume | 1.52E-03 | 1.57E-03 |
| Constante A | -1.23 | -0.866 |
| Constante B | 0.162 | 0.116 |
| Constante C | -8.72E05 | -6.16E-5 |
| Constante D | 1.83E-08 | 1.27E-8 |
| LFL | 1.1 | 1.4 |
| Verbr. enthalpie | 4.50E+07 | 4.54E+07 |

Tabel 4. Overzicht van de stofconstanten van brandbare vloeistoffen (LF)

Bijlage 2. Omgevingsfactoren en weergegevens

omgevingsfactoren

De omgevingsfactoren gelden voor elk scenario in RBM II. het betreft bijvoorbeeld de luchttemperatuur, de relatieve vochtigheid en de terreinruwheid. In RBM II worden hiervoor conform het Parse Boek vaste waarden gehanteerd.

| | | |
|-----------------------|--------|----|
| Temperatuur lucht | 282.45 | K |
| Temperatuur water | 282.45 | K |
| Omgevingsdruk | 101512 | Pa |
| relatieve vochtigheid | 83 | % |
| Terreinruwheid z_0 | 0.3 | m |

weergegevens

Standaard wordt gerekend met zes weersklassen en twaalf windrichtingen. De kansen zijn zoals opgenomen in PSG 3 (CPR 18, Parse Boek, blz. 4.21 t/m 4.40).

Bijlage 3. Conditionele uitstroomkansen en default-ongevalsfrequenties vaarwegen

3.1 Inleiding

In de handleiding van de RBM II [15] is een dwingende aanbeveling opgenomen om de scheepsschadefrequentie te baseren op de casuïstiek van de beschouwde vaarweg. Om deze aanbeveling mogelijk te maken is de berekeningssystematiek van de RBM II afgestemd op de ongevaldefinities van het actuele ongevallenbestand. Dit ongevallenbestand wordt aangeduid met SOS. SOS heeft in 2004 het ONOVIS ongevallenbestand opgevolgd. De opvolging is gepaard gegaan met een wijziging in de schadeklassedefinities

De schadeklasse-indeling waarvoor het ONOVIS werd gebruikt is gedefinieerd door de Werkgroep Risico Analyse Kegelschepen (WRAK) [20]. De schadeklasse-indeling in SOS is daarentegen echter gebaseerd op de ongevaldefinities volgens het Protocol Zee- en Binnenvaart [17].

Het opstellen van het Paarse Boek en de ontwikkeling van de IPORBM hebben plaatsgevonden voor de invoering van het SOS, terwijl de ontwikkeling van de RBM II na de invoering van het SOS heeft plaatsgevonden. Dit betekent dat de scenariodefinities in het Paarse Boek en de IPORBM zijn gebaseerd op een andere schadeklasse-indeling dan de RBM II (zie paragraaf 3.2).

De wijzigingen in de schadeklasse-indeling heeft de volgende consequenties voor de kansen en frequenties van de scenario's:

1. conditionele uitstroomkansen veranderen
2. generieke frequenties veranderen

Deze veranderingen kunnen voor verschillende vaarwegen verschillende consequenties voor het risico hebben.

Idealiter zou een dergelijke ingrijpende wijziging van de schadeklasse-indeling gevolgd moeten worden door een uitgebreide analyse van de herziene ongevallenstatistiek, want naast de wijzigingen in de schadeklasse-indeling kunnen dan ook de autonome ontwikkelingen op de vaarwegen, onder meer op het gebied van de communicatiemiddelen en techniek, in de wijziging van de uitstroomfrequentie worden meegenomen. Ten gevolge van de autonome ontwikkelingen is er namelijk meestal een afname in het aantal ongevallen waarneembaar.

Bij de ontwikkeling van RBM II is echter geen uitgebreide analyse uitgevoerd, maar is gekozen voor een eenvoudiger benadering waarbij alleen de conditionele uitstroomkansen en generieke ongevalsfrequenties zijn aangepast aan de wijzigingen in de schadeklasse-indeling. Deze benadering wordt in het navolgende beschreven, waarbij de schadeklasse-indeling in het ONOVIS ongevallenbestand WRAK-indeling wordt genoemd en die in het SOS ongevallenbestand de Protocol-indeling.

3.2 WRAK versus PROTOCOL

In tabel 5 zijn de WRAK- en de Protocol-indeling van de schadeklassen weergegeven.

| Schadeklasse | Wrak indeling | Protocol indeling |
|--------------|--|--|
| 0 | Geen | Geen |
| 1 | Zeer geringe schade, bv. Verkrassen, gebroken trossen, deuken tot 5 cm diep.. | Schade aan trossen e.d. |
| 2 | Geringe schade, bv. Deuken van 5 tot 15 cm diep, Gaten of scheuren tot 15 cm ² . Verder alle schade, groter dan categorie 1, die niet aan de scheepsromp of opbouw zijn opgelopen en geringe brand- en explosieschade. | Lichte schade en geen gat in de romp of in de laadruimte |
| 3 | Aanzienlijke schade, bv. Deuken van 25 tot 40 cm, Gaten of scheuren van 15 tot 100 cm ² oppervlakte, aanzienlijke brand- en explosieschade. | Zware schade en geen gat in de romp of in de laadruimte |
| 4 | Grote schade, bv. Deuken groter dan 40 cm, gaten of scheuren van meer dan 100 cm ² , breken van de romp, uitbranden van het schip. | Gat in romp en geen gat in de laadruimte |
| 5 | Gezonken of gekapseisd schip | Gat in [de romp en de] laadruimte |
| 9 | Onbekend | Onbekend |

Tabel 5. Schadeklasse-indelingen conform WRAK [19] (ONOVIS) en het Protocol [3] (SOS).

Het belangrijkste verschil tussen de schadeklasse-indelingen van WRAK en het Protocol is de definitie van de schadeklassen 4 en 5. In de WRAK-indeling worden gaten in de romp verspreid over vier schadeklassen (2, 3, 4 en 5) en zitten in schadeklasse 4 behalve schades met gaten en scheuren ook schades met deuken. In de Protocol-indeling worden alle gaten en scheuren gedefinieerd als schadeklasse 4 of 5, waarbij er bij de schadeklassen 4+5 sprake is van een penetratie van de scheepshuid en er bij schadeklasse 5 bovendien sprake is van het lek raken van de laadruimte.

In het algemeen zijn in risicoanalyses van transport de conditionele uitstroomkansen een onderdeel van scenariodefinities. In de scenario's van risico's van vaarwegen zijn deze echter direct gerelateerd aan het aantal verwachte scheepsschades met een bepaalde ernst. De ernst wordt aangegeven met de schadeklasse. In de scenariodefinities uit WRAK zijn de conditionele uitstroomkansen verschillend voor vloeistoftankers en gastankers. De conditionele uitstroomkans bij vloeistoftankers (dubbel- en enkelwandig) is gebaseerd op zware en zeer zware schade. De conditionele uitstroomkans bij gastankers is uitsluitend gebaseerd op zeer zware schade. In het Protocol [17] en RBM II zijn de conditionele uitstroomkansen van alle scenariodefinities gebaseerd op scheepsschade met tenminste een gat in de scheepsromp. Dit zijn scheepsschades in de schadeklasse 4+5.

In de scenariodefinities uit WRAK [20] zijn de conditionele uitstroomkansen verschillend voor vloeistoftankers en gastankers. De conditionele uitstroomkans van vloeistoftankers

(dubbel- en enkelwandig) is gebaseerd op zware en zeer zware schade (schadeklasse 3, 4 en 5 uit de WRAK-indeling). De conditionele uitstroomkans bij gastankers is uitsluitend gebaseerd op zeer zware schade (schadeklasse 4 en 5 uit de WRAK-indeling). In het Protocol [17] en RBM II zijn alle conditionele uitstroomkansen gebaseerd op scheepsschade met tenminste een gat in de scheepsromp (schadeklasse 4 en 5 uit de Protocol-indeling).

In het Protocol [17] is het ONOVIS ongevallenbestand geanalyseerd van 1990 tot en met 1998, waarbij de schadeklasse van alle ongevallen voor zowel de WRAK-indeling als de Protocol-indeling is bepaald. Daarbij zijn drie schadegroepen te onderscheiden:

1. alle relevante schades (schadeklasse 2, 3, 4 of 5)
2. de zware schades (schadeklasse 3, 4 of 5)
3. de zeer zware schades (schadeklasse 4 of 5).

Daar de schadegroep zware schades (schadeklasse 3, 4 of 5) niet wordt gebruikt in de Protocol-indeling is deze niet bepaald. De resultaten zijn in tabel 2 weergegeven.

| Schadeklasse | Groep | WRAK Indeling | Protocol Indeling |
|--------------|------------|---------------|-------------------|
| 2+3+4+5 | Relevant | 1321 | 1324 |
| 3+4+5 | Zwaar | 274 | |
| 4+5 | Zeer zwaar | 41 | 81 |

Tabel 6. het aantal scheepsschades per schadegroep en per schadeklasse-indeling opgenomen in het ONOVIS-ongevallendatabestand (1990 tot en met 1998)

De waargenomen scheepsschades zijn niet verder onderverdeeld naar vaarwegtype.

3.3 Conditionele uitstroomkansen RBM II

De conditionele uitstroomkansen die in de RBM II worden gebruikt zijn overgenomen uit het Protocol zee- en binnenvaart [17]. In [3] is de omrekening van deze kansen op basis van de WRAK-indeling naar de Protocol-indeling uitgewerkt. Hierbij is, zoals al eerder is gemeld, gesteld dat de overgang naar een andere schadeklasse-indeling geen invloed mag hebben op de hoogte van de risico's. Dit betekent dat het verwachte aantal uitstromingen per jaar niet mag veranderen. De gegevens voor de omrekening zijn verkregen uit de ongevallenstatistiek tussen 1990 en 1998, waarvan de belangrijkste resultaten zijn weergegeven in tabel 2. Deze statistiek betreft alle geregistreerde ongevallen in Nederland.

Bij het vervoer van gevaarlijke stoffen in bulk worden drie scheepstypes onderscheiden: enkelwandige vloeistoftankers, dubbelwandige vloeistoftankers en gastankers. Per scheepstype worden een groot en een klein scenario onderscheiden. In tabel 3 zijn de uitstroomscenario's gedefinieerd voor deze drie scheepstypen voor de WRAK-indeling.

| Scheepstype | Scenario | Conditionele uitstromingskans | Schadeklasse |
|--------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|
| Binnenvaart gastanker | Kleine uitstroming | 0.025 | 4+5 |
| Binnenvaart gastanker | Grote uitstroming | 0.000125 | 4+5 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Kleine uitstroming | 0.006 | 3+4+5 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Grote uitstroming | 0.0015 | 3+4+5 |
| Binnenvaart enkelwandig | Kleine uitstroming | 0.2 | 3+4+5 |
| Binnenvaart enkelwandig | Grote uitstroming | 0.1 | 3+4+5 |

Tabel 7. Scenariodefinities in WRAK [20]

De onderverdeling in scheepstype en scenario's (groot en klein) is in de Protocol-indeling identiek. De conditionele uitstroomkansen zijn hierbij echter altijd gebaseerd op schadeklasse 4+5 dus:

| Scheepstype | Scenario | Conditionele uitstromingskans | Schadeklasse |
|--------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|
| Binnenvaart gastanker | Kleine uitstroming | P _{up,g,klein} | 4+5 |
| Binnenvaart gastanker | Grote uitstroming | P _{up,g,groot} | 4+5 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Kleine uitstroming | P _{up,d,klein} | 4+5 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Grote uitstroming | P _{up,d,groot} | 4+5 |
| Binnenvaart enkelwandig | Kleine uitstroming | P _{up,e,klein} | 4+5 |
| Binnenvaart enkelwandig | Grote uitstroming | P _{up,e,groot} | 4+5 |

Tabel 8. Scenariodefinities in het Protocol [17]

De omrekening van de conditionele uitstroomkansen van de WRAK- naar de Protocol-indeling wordt geïllustreerd met twee voorbeelden:

1. het scenario kleine uitstroming gastankers
2. het scenario kleine uitstroming dubbelwandige vloeistoftanker.

Omdat het uitgangspunt is, dat het product van uitstroomkans maal het aantal scheepsschades gelijk moet zijn voor WRAK- en Protocol indeling, wordt daarbij gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$P_{u,p} \times N_p = P_{u,w} \times N_w$$

Met:

P_{up} : de conditionele uitstroomkans conform het Protocol [-]

P_{uw} : de conditionele uitstroomkans conform WRAK [-]

N_p : het aantal scheepsschades conform de Protocol-indeling [-]

N_w : het aantal scheepsschades conform de WRAK-indeling [-]

Voorbeeld 1

Voor een kleine uitstroming uit gastankers wordt de omrekenformule:

$$P_{up,g,klein} \times N_{P,4+5} = P_{uw,g,klein} \times N_{w,4+5}$$

Met:

$P_{up,g,klein}$: de conditionele uitstroomkans conform het Protocol, gastanker, kleine uitstroming [-]

$P_{uw,g, klein}$: de conditionele uitstroomkans conform WRAK, gastanker, kleine uitstroming [-]

$N_{P,4+5}$: het aantal scheepsschades in schadeklasse 4 of 5 conform de Protocol-indeling [-]

$N_{W,4+5}$: het aantal scheepsschades in schadeklasse 4 of 5, conform de WRAK-indeling [-]

Dus:

$$P_{up,g, klein} = P_{uw,g, klein} \times \frac{N_{w,4+5}}{N_{P,4+5}} = 0.025 \times \frac{41}{81} \approx 0.0125$$

Voorbeeld 2

Een zelfde benadering kan worden toegepast op enkelwandige en dubbelwandige schepen. Alleen moet hier het aantal uitstromingen in WRAK op schadeklassen 3+4+5 worden gebaseerd.

Voor de dubbelwandige vloeistoftankers wordt de omrekenformule derhalve:

$$P_{up,d, klein} \times N_{P,4+5} = P_{uw,d, klein} \times N_{w,3+4+5}$$

Met:

$P_{up,d, klein}$: de conditionele uitstroomkans conform het Protocol, dubbelwandige vloeistoftanker, kleine uitstroming [-]

$P_{uw,d, klein}$: de conditionele uitstroomkans conform WRAK, dubbelwandige vloeistoftanker, kleine uitstroming [-]

$N_{P,4+5}$: het aantal scheepsschades in schadeklasse 4 of 5 conform de Protocol-indeling [-]

$N_{W,3+4+5}$: het aantal scheepsschades in schadeklasse 3, 4 of 5, conform de WRAK-indeling [-]

Dus:

$$P_{up,d, klein} = P_{uw,d, klein} \times \frac{N_{w,3+4+5}}{N_{P,4+5}} = 0.006 \times \frac{274}{81} \approx 0.02$$

In tabel 5 zijn de resultaten van de omrekening conform bovenstaande voorbeelden gegeven voor alle gedefinieerde scenario's.

| Scheepstype | Scenario | Conditionele uitstromingskans Protocol | Conditionele uitstromingskans WRAK |
|--------------------------|--------------------|--|------------------------------------|
| Binnenvaart gastanker | Kleine uitstroming | 0.0125 | 0.025 |
| Binnenvaart gastanker | Grote uitstroming | 0.00006 | 0.000125 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Kleine uitstroming | 0.02 | 0.006 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Grote uitstroming | 0.005 | 0.0015 |
| Binnenvaart enkelwandig | Kleine uitstroming | 0.7 | 0.2 |
| Binnenvaart enkelwandig | Grote uitstroming | 0.35 | 0.1 |

Tabel 9. Resultaten van de omrekening van de conditionele uitstroomkansen (onafhankelijk van de bevaarbaarheidsklassen)

Uit tabel 5 blijkt, dat de op basis van het Protocol [17] omgerekende gezamenlijke kans op continue uitstroming uit een enkelwandig binnenvaartschip, gegeven een ongeval in schadeklasse 4+5, groter zou zijn dan 1 ($0,7 + 0,35 = 1,05!$). Deze kans op uitstroming kan echter maximaal gelijk zijn aan de kans dat een ladingtank bij het ongeval geraakt wordt. Deze raakkans bedraagt 0.66, er van uit gaande dat de lengte van de laadruimte ongeveer 66% bedraagt van de totale scheepslengte. In het Protocol [17, pagina 6.26 van het achtergronddocument] is daarom de conditionele uitstroomkansen voor een kleine uitstroming vastgesteld op 0.44 en voor een grote uitstroming op 0.22. Hierbij is de kansverdeling (2:1) tussen beide scenario's uit WRAK gehanteerd.

Een en ander heeft geleid tot de volgende definitieve scenariodefinities, die zijn weergegeven in tabel 6.

| Scheepstype | Scenario | Conditionele uitstroomkansen | Schadeklasse (Protocol) |
|--------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------|
| Binnenvaart gastanker | Kleine uitstroming | 0.0125 | 4+5 |
| Binnenvaart gastanker | Grote uitstroming | 0.00006 | 4+5 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Kleine uitstroming | 0.02 | 4+5 |
| Binnenvaart dubbelwandig | Grote uitstroming | 0.005 | 4+5 |
| Binnenvaart enkelwandig | Kleine uitstroming | 0.44 | 4+5 |
| Binnenvaart enkelwandig | Grote uitstroming | 0.22 | 4+5 |

Tabel 10. Scenariodefinities RBM II

3.4 Invloed vaarwegtype op conditionele uitstroomkansen

De in paragraaf 3.3 afgeleide conditionele uitstroomkansen zijn niet algemeen toepasbaar op alle vaarwegen. Er moet rekening worden gehouden met de invloed van de afmetingen, snelheid en mogelijke aanvaarhoeken van de schepen op de vaarweg. In het navolgende wordt toegelicht hoe deze invloed in rekening wordt gebracht in RBM II.

De Europese binnenvaarwegen zijn ingedeeld in CEMT⁵-klassen. Een CEMT klasse is een maat voor de bevaarbaarheid.

Per klasse zijn de maximale afmetingen van het schip vastgelegd die de betreffende vaarweg mogen bevaren. De indeling loopt van 0 t/m VI en heeft vanaf klasse V een a, b of c-aanduiding. Deze aanduiding is gerelateerd met de meerbaks duwvaart.

De indeling van de CEMT-klassen is als volgt:

| CEMT-Klasse | Scheepstype |
|-------------|-----------------------------|
| 0 | Kleinere vaartuigen |
| I | Spits |
| II | Kempenaar |
| III | Dortmund-Eemskanaalschip |
| IV | Rijn-Hernekanaalschip |
| V | Groot Rijnschip en duwvaart |
| VI | Duwvaart |

Tabel 11. CEMT-klasse indeling

⁵ CEMT- is een acroniem voor Conference Europeenne des Ministres de Transport.

| Klasse | Lengte | Breedte | Diepgang | Hoogte | Laadvermogen (ton) |
|--------|---------|---------|----------|--------|---------------------------|
| I | 38,50 | 5,05 | 1,8-2,2 | 4 | 250-400 |
| II | 50-55 | 6,6 | 2,5 | 4-5 | 400-650 |
| III | 67-80 | 8,2 | 2,5 | 4-5 | 650-1000 |
| IV | 80-85 | 9,5 | 2,5 | 5,25-7 | 1000-1500 |
| Va | 95-110 | 11,4 | 2,5-4,5 | 5,25-7 | 1500-3000 |
| Vb | 172-185 | 11,4 | 2,5-4,5 | 9,1 | 3200 (2-baks lang) |
| Via | 95-110 | 22,8 | 2,5-4,5 | 7-9,1 | 3200-6000 (2-baks breed) |
| Vlb | 185-195 | 22,8 | 2,5-4,5 | 7-9,1 | 6400-12000 (4-baks) |
| Vlc | 193-200 | 34,2 | 2,5-4,5 | 9,1 | 9600-18000 (6-baks breed) |

Tabel 12. CEMT-klasse indeling, inclusief de afmetingen van de bijbehorende maatgevende (karakteristieke) scheepstypen

De CEMT-klasse-indeling is dus gebaseerd op maatgevende scheepstypes waarvoor de vaarwegen toegankelijk c.q. bevaarbaar zijn. Hoe hoger de CEMT-klasse, des te groter de schepen die op de betreffende vaarweg kunnen varen. In het algemeen kan gesteld worden dat de vaarweg breder wordt naarmate de CEMT-klasse toeneemt. Tenslotte neemt veelal de toegestane snelheid op de vaarweg toe met een toenemende CEMT-klasse. Vaarwegen met een CEMT klasse lager dan IV worden als niet relevant beschouwd voor de externe veiligheid, omdat op deze vaarwegen slechts in zeer beperkte mate vervoer van gevaarlijke stoffen plaatsvindt.

Door de grotere schepen, de hogere vaarsnelheden en de grotere breedte van de vaarweg zullen bij ongevallen op de vaarwegen in CEMT klasse VI relatief meer ernstige schades plaatsvinden dan op vaarwegen in CEMT klasse V. Deze zullen op haar beurt weer resulteren in relatief meer ernstige schades dan op vaarwegen in CEMT klasse IV. Deze relatie tussen het relatieve aantal ernstige ongevallen en de CEMT klasse is niet nader in het Protocol [17] beschreven.

De ongevalfrequentie, die in de IPORBM werd ingevoerd, betrof de ongevalfrequentie van zware schade (schadeklasse 3, 4 of 5 in de WRAK-indeling). De scenario's van

gastankers zijn gebaseerd op zeer zware schade (schadeklasse 4 of 5 in de WRAK-indeling). De verhouding van het aantal ongevallen in schadeklasse 4+5 en schadeklasse 3+4+5 is daarom voor gastankers als vast getal in de programmacode van IPORBM opgenomen. Deze verhouding is afhankelijk van de CEMT klasse van de vaarweg. Tabel 8 geeft de getalswaarden voor deze verhoudingen, die zijn afgeleid op basis van de studie Aandachtpunten hoofdvaarwegen [20]⁶.

| CEMT Klasse | WRAK-indeling Schadeklasse (4+5)/(3+4+5) |
|-------------|--|
| 6 | 0.32 |
| 5 | 0.19 |
| 4 | 0.14 |

⁶ Deze analyse van scheepsschades is gebaseerd op vracht- en tankschepen exclusief schadevaringen met pleziervaart, sluizen en bruggen over de periode 1985 tot en met 1989.

Tabel 13. Verhouding tussen het aantal ongevallen met zeer zware schade (schadeklasse 4+5) en zware schade (schadeklasse 3+4+5) voor gastankers als functie van CEMT klasse in IPORBM.

Uit tabel 8 blijkt dat de verhouding tussen het aantal ongevallen met zeer zware schade (schadeklasse 4+5) en zware schade (schadeklasse 3+4+5) bij CEMT 5 slechts 59% (0,19/0,32) en bij CEMT 4 slechts 43% (0,14/0,32) bedraagt van deze verhouding in de CEMT klasse 6.

Uitwerking voor RBM II

De conditionele uitstroomkansen op basis van de Protocol-indeling zijn gebaseerd op een gat in de romp (zie paragraaf 3.2). Evenals destijds in de IPORBM, zal de kans op uitstroming toenemen bij een hogere CEMT klasse:

1. Voor de penetratie van de laadruimte van het schip is bij gasschepen en dubbelwandige schepen een zekere energie nodig. Deze (kinetische) energie is meer aanwezig naarmate de CEMT klasse van de vaarweg hoger is, daar de massa en snelheid van het schip op deze vaarwegen groter zijn.
2. De beschikbare (kinetische) energie moet worden omgezet in vervormingsenergie van het aangevaren schip. De mate waarin dit plaatsvindt is onder meer afhankelijk aanvaarhoek. Hoe groter de hoek, hoe groter de energieoverdracht. Er vindt een maximale overdracht van energie plaats bij een loodrechte aanvaring. Hoe breder het vaarwater, hoe groter de kans op grotere aanvaringshoeken.
3. Tenslotte wordt de raakkans van de laadruimte kleiner bij kleinere aanvaarhoeken. Immers bij een aanvaarhoek van 0° of 180° (kop-kop of kop-staart aanvaringen) is de raakkans van de laadruimte, die in het middendeel van het schip ligt, nihil.

In het Protocol is de conditionele uitstroomkans onafhankelijk van de CEMT klasse vastgesteld (zie paragraaf 3.3). Uit de gegevens in het ONOVIS-ongevallenbestand (1990-1998) blijkt dat 80 tot 85% van de ongevallen in schadeklasse 3+4+5 en 4+5 plaatsvindt op vaarwegen uit CEMT klasse 6. Dit is in lijn met de verwachting, omdat verreweg het meeste transport over vaarwegen van CEMT klasse 6 plaatsvindt en de bij ongevallen beschikbare energie en mogelijke aanvaarhoeken daar groter zijn.

De conditionele uitstroomkansen in tabel 6 gelden derhalve voor vaarwegen uit de CEMT klasse 6. De correctiefactoren op de conditionele uitstroomkansen bij CEMT klasse IV en V zijn niet bekend op basis van de beschikbare ongevaldata. Voor CEMT klasse IV en V wordt in RBM II daarom een relatieve correctie toegepast, gebaseerd op tabel 8. In tabel 9 zijn deze correcties weergegeven.

| CEMT Klasse | Correctiefactor conditionele uitstroomkansen |
|-------------|--|
| 6 | 1.00 |
| 5 | 0.59 |
| 4 | 0.44 |

Tabel 14. Correctiefactor op de conditionele uitstroomkansen in de RBM II per CEMT klasse.

Deze correctiefactoren in RBM II zijn niet door de gebruiker te wijzigen. De correctiefactoren worden per CEMT klasse toegepast op alle scheepstypes.

3.5 Omrekening van de default-ongevalfrequenties van de WRAK- naar de Protocol-indeling

Door locale nautische omstandigheden als getijdenstroming, complexiteit van de vaarweg, wind, etc., kunnen de locatiespecifieke ongevalfrequenties op vaarwegen met dezelfde CEMT klasse sterk variëren. Zo is de locatiespecifieke ongevalfrequentie bij de Botlekbrug (6.0E-06/vrtgkm, schadeklasse 4+5 Protocol-indeling) meer dan een factor 100 hoger dan de locatiespecifieke ongevalfrequentie op de Nieuwe Maas, km-raai 1013-1014 (8.8E-08/vrtgkm, schadeklasse 4+5 Protocol-indeling). Daarom mogen default-ongevalfrequenties uitsluitend bij indicatieve berekeningen worden gebruikt. In het Protocol [17] zijn dan ook geen default-ongevalfrequenties vastgelegd. Ook in de handleiding RBM II [6] wordt afgeraden om default-ongevalfrequenties toe te passen.

De default-ongevalfrequenties in RBM II zijn afgeleid van de default-ongevalfrequenties in IPORBM. De default-ongevalfrequenties in IPORBM betreffen de ongevalfrequenties op basis van de schadeklasse 3+4+5 volgens de WRAK-indeling, die zijn vastgelegd in het Paarse Boek. In tabel 10 worden deze waarden getoond.

| CEMT klasse | Default-ongevalfrequentie IPORBM (schadeklasse 3+4+5 WRAK-indeling) 1/vtgkm |
|-------------|---|
| 6 | 1.40E-06 |
| 5 | 7.50E-07 |
| 4 | 6.70E-07 |

Tabel 15. Default-ongevalfrequenties in IPORBM per CEMT klasse

De omrekening van de default-ongevalfrequenties van de WRAK- naar de Protocol-indeling is gebaseerd op gastankers, omdat de scenariodefinities van dit type schip zijn gebaseerd op de schadeklasse “zeer zwaar” (schadeklasse 4+5 WRAK-indeling). De ongevalgegevens die nodig zijn voor de omrekening zijn verkregen uit tabel 2.

Zoals eerder is opgemerkt hebben deze voornamelijk betrekking op vaarwegen met CEMT klasse 6. De omrekening vindt in twee stappen plaats:

1. Het omrekenen van de default-ongevalfrequentie voor de schadeklasse 3+4+5 (WRAK-indeling) naar de default-ongevalfrequentie voor de schadeklasse 4+5 (WRAK-indeling), met de volgende formule:

$$f_{w,4,5} = f_{w,345} \times x_{4,5|3,4,5} \quad \text{Vergelijking 1a}$$

Hierin is:

$f_{w,4,5}$: de default-ongevalsfrequentie voor schadeklasse 4+5 (WRAK-indeling) [-]

$f_{w,345}$: de default-ongevalsfrequentie voor schadeklasse 3+4+5 (WRAK-indeling) [-]

$x_{4,5|3,4,5}$: de fractie van het aantal ongevallen in schadeklasse 4+5, gegeven een ongeval in schadeklasse 3+4+5 (WRAK-indeling) [-]

2. Het omrekenen van default-ongevalfrequentie voor de schadeklasse 4+5 (WRAK-indeling) naar de default-ongevalfrequentie voor de schadeklasse 4+5 (Protocol-indeling), met de volgende formule:

$$f_{p,4,5} = f_{w,45} * \frac{N_{p,4+5}}{N_{w,4+5}} \quad \text{Vergelijking 1b}$$

Hierin is:

$f_{p,4,5}$: de default-ongevalsfrequentie voor schadeklasse 4+5 (Protocol-indeling) [-]

$f_{w,45}$: de default-ongevalsfrequentie voor schadeklasse 4+5 (WRAK-indeling) [-]

$N_{p,4+5}$: het aantal scheepsschades met schadeklasse 4+5 (Protocol-indeling) [-]

$N_{w,4+5}$: het aantal scheepsschades met schadeklasse 4+5 (WRAK-indeling) [-]

Voor CEMT klasse 6 geldt:

$$x_{4,5|3,4,5} = \frac{N_{w,4+5}}{N_{w,3+4+5}} = \frac{41}{274} \quad \text{Vergelijking 2}$$

Uit vergelijking 1a, 1b en 2 is vergelijking 3 eenvoudig af te leiden:

$$f_p = f_{w,345} \times \frac{N_{p,4+5}}{N_{w,3+4+5}} = 1.4E - 6 \times \frac{81}{274} \approx 4.14E - 07 \quad \text{Vergelijking 3}$$

In vergelijking 3 is voor de $f_{w,345}$ de default-ongevalfrequentie van CEMT klasse 6 van IPORBM ingevuld. Het resultaat is de default-ongevalfrequentie CEMT klasse 6 van de RBM II.

Voor CEMT klasse 6 is de default-ongevalfrequentie te berekenen uit gegevens van het Protocol [17] (tabel 2). Voor de vaarwegen uit CEMT klasse 4 en 5 is dit niet zondermeer te doen. De informatie over de verhouding van het aantal ongevallen met schadeklasse 4+5, gegeven een ongeval in schadeklasse 3+4+5 is niet geanalyseerd in het Protocol [3]. Hiervoor wordt verondersteld dat de fracties verhoudingsgewijs gelijk zijn aan die uit tabel 8. Argumenten hiervoor zijn vermeld in paragraaf 3.4. Een en ander is weergegeven in tabel 11.

| CEMT klasse | Fractie |
|-------------|-------------------------------|
| 6 | $1 * x_{4,5 3,4,5}$ |
| 5 | $0.19 / 0.32 * x_{4,5 3,4,5}$ |
| 4 | $0.14 / 0.32 * x_{4,5 3,4,5}$ |

Tabel 16. verhouding van het aantal ongevallen met schadeklasse 4+5, gegeven een ongeval in schadeklasse 3+4+5

Het verwerken van de gegevens uit tabel 11 in vergelijking 2 en 3 leidt tot de volgende resultaten, die zijn weergegeven in tabel 12.

| CEMT=klasse | Frequentie | Formule | Resultaat |
|-------------|----------------|--|-----------|
| 6 | f 4+5 Protocol | $\lambda = 1.4E-6 * 0.296^7$ | 4.14E-07 |
| 5 | f 4+5 Protocol | $\lambda = 7.5E-7 * 0.296 * 0.19 / 0.32$ | 1.32E-07 |
| 4 | f 4+5 Protocol | $\lambda = 6.7E-7 * 0.296 * 0.14 / 0.32$ | 8.68E-08 |

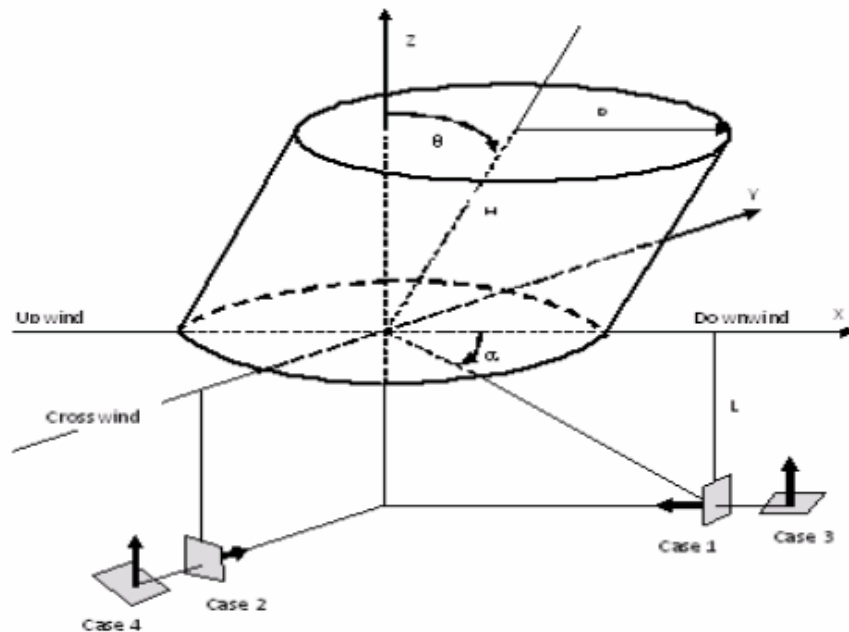
Tabel 17. Uitwerking van de omrekenformules voor de default-ongevalfrequenties.

Het resultaat komt overeen met de default-ongevalfrequenties in RBM II.

⁷ 0,296 = (81/274), zie vergelijking 3

Bijlage 4. Berekening view factor 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 $L=0$).



Figuur 0.1. 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

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

Bijlage 5. Beschrijving berekening frequentie warme BLEVE spoor

5.1 Inleiding

Het rekenprotocol spoor [16] is op dit moment nog slechts ten dele door het DOEV vastgesteld. De onderdelen die de berekeningswijze van de frequentie warme BLEVE betreffen, zijn nog niet goedgekeurd door het DOEV. Dit impliceert dat er enige onduidelijkheid bestaat ten aanzien van het berekenen van de warme BLEVE frequentie. Op dit moment zijn er drie benaderingen: het Paarse boek (de vigerende rekenwijze), RBM II en het nieuwe rekenprotocol spoor [16] (de aan te bevelen rekenwijze volgens de spoordeskundigen). De resultaten van deze benaderingen verschillen in veel situaties aanzienlijk.

5.2 Paarse Boek

Het Paarse Boek schrijft bij de modellering van BLEVE's op het spoor een correctie voor met betrekking tot de uitstroombrequentie, in situaties waarbij naast ketelwagens met brandbare vloeistoffen ook ketelwagens met brandbare of toxische gassen in de betreffende (bonte) trein zijn opgenomen. Dit vanwege de mogelijkheid dat er dan een plasbrand kan optreden onder de ketelwagen met het gas, met een warme BLEVE als gevolg. Voor deze bonte treinen moeten de uitstroomb frequenties op de volgende wijze worden bepaald [11, deel 2: Transport, paragraaf 3.3.3.3, pagina 3.14]:

Brandbare gassen

$$f_{BLEVE, totaal} = (N_{c3} + 1) * f_{BLEVE}$$

Toxische gassen

$$f_{Ins\ tan\ taan, totaal} = (0.8 * N_{c3} + 1) * f_{Ins\ tan\ taan}$$

Met:

$f_{BLEVE, totaal}$: de totale BLEVE-frequentie [-].

f_{BLEVE} : de BLEVE-frequentie [-].

$f_{Instantaan, totaal}$: de totale frequentie van instantaan uitstromen [-].

$f_{Instantaan}$: de frequentie van instantaan uitstromen [-].

N_{c3} : het aantal spoorketelwagens met brandbare vloeistoffen in een bonte trein [-].

NB. Merk op dat deze formules betrekking heeft op het aanpassen van de uitstroomb frequenties van de "koude" ofwel "impact caused" BLEVE's / instantane uitstromingen.

NB. Merk op dat hierbij geen onderscheid gemaakt wordt tussen trajecten met hoge snelheid en trajecten met lage snelheid.

5.1.2 RBM II

RBM II gaat eveneens uit van de benadering van het Paarse Boek voor het vaststellen van de frequentietoename van de BLEVE ten gevolge van het samen laden van brandbare vloeistoffen met brandbare of toxische gassen in één (bonte) trein. Hierbij wordt bij brandbare gassen onderscheid gemaakt in een standaard BLEVE en een domino BLEVE. Bij toxische gassen wordt onderscheid gemaakt tussen de standaard instantane uitstroming en de domino instantane uitstroming. Bij brandbare gassen in een bonte trein en een door de gebruiker ingevoerde waarde van $N_{c3,gem}$ wagons per trein, rekent RBM II met:

$$f_{\text{domino BLEVE}} = N_{c3,gem} * f_{\text{standaard BLEVE}}$$

Bij toxische gassen en een door de gebruiker ingevoerde waarde van $N_{c3,gem}$ wagons per trein, rekent RBM II met:

$$f_{\text{domino Instantane uitstroming}} = 0.8 * N_{c3,gem} * f_{\text{standaard Instantane uitstroming}}$$

De berekening van het gemiddeld aantal C3 wagons is in de COEV studie met de volgende rekenregel uitgevoerd:

$$N_{c3,gem} = \frac{N_{C3}}{(N_{tot} * 100 / GS) - (N_{blok})} * N_{gem}$$

Waarbij:

$N_{c3,gem}$: gemiddeld aantal wagons C3 (brandbare vloeistof) in een bonte trein

N_{C3} : totaal aantal wagons C3

N_{tot} : totaal aantal wagons relevante gevaarlijke stoffen (som stofcategorieën A, B, C, D)

GS : percentage vervoer van relevante gevaarlijke stoffen (= 10%)

N_{gem} : gemiddelde treinlengte (= 20 wagons)

N_{blok} : aantal wagons met gevaarlijke stoffen dat in bloktreinen vervoerd wordt

NB. Deze rekenregel maakt geen onderdeel uit van de standaard-rekenmethode van RBM II; de gebruiker kan echter het aantal C3-wagons zelf bepalen en invoeren.

De domino uitstromingen vinden plaats bij een verhoogde druk. Voor deze verhoogde druk wordt de faaldruk van een wagon gehanteerd.

Deze druk wordt berekend met:

$$P = 1.4 * (P_v + 1.7)$$

Met:

P: faaldruk van de wagon (atm)

P_v: dampspanning van het betreffende gas (atm)

Een standaard BLEVE is een BLEVE met een faaldruk gelijk aan de dampdruk van de opgeslagen stof bij omgevingstemperatuur. Dit wordt ook wel een “koude BLEVE” genoemd.

Over de begrippen warme en koude BLEVE's bestaan veel misverstanden. Daarom zijn deze begrippen in paragraaf 5.4 van deze bijlage verder toegelicht.

5.1.3 Rekenprotocol spoor

In het rekenprotocol spoor [16] zijn nieuwe definities gegeven voor N_{blok} en N_{bont}, welke gebruikt worden in de berekening van het gemiddeld aantal wagons met brandbare vloeistoffen in een bonte trein. Hierdoor is ook de definitie van N_{C3,gem} gewijzigd. Tevens is er een nieuw model opgenomen voor de berekening van de verhouding tussen de warme en koude BLEVE.

Nieuwe warme BLEVE-modellering

De belangrijkste wijzigingen in de modellering van de warme BLEVE ten opzichte van de eerder beschreven methoden zijn:

- Er wordt nu verschil gemaakt tussen hoge en lage snelheid bij de verhouding van de warme en koude BLEVE. Er wordt rekening gehouden met het feit dat bij > 40 km/uur de verhouding van lekkagekansen voor vloeistof en gasketelwagens 200 bedraagt en niet 100, zoals gehanteerd in [9].
- De kans (=P_{contact}) dat een wagon met brandbaar of toxisch gas en brandbare vloeistof naast elkaar komen te staan is in de berekening geïntroduceerd.

Volgens het nieuwe protocol is de verhouding warme/koude BLEVE voor brandbaar gas:

$$\begin{aligned} \text{Lage snelheid (< 40 km/uur): } F_{blb}/F_{bleve} &= 19,5 * (N_{bvl}/N_g) * P_{contact} \\ &= 1,95 * N_{bvl} \text{ (bij } N_{bvl} \text{ en } N_g < 3 \text{ en } N = 20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hoge snelheid (>40 km/uur): } F_{blb}/F_{bleve} &= 39,0 * (N_{bvl}/N_g) * P_{contact} \\ &= 3,9 * N_{bvl} \text{ (bij } N_{bvl} \text{ en } N_g < 3 \text{ en } N = 20) \end{aligned}$$

Waarbij:

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

N_g gemiddeld aantal wagens met brandbaar gas per bonte trein

F_{blb} frequentie van een domino BLEVE

F_{bleve} frequentie van de standaard BLEVE

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

$$N_g = \frac{N_{bg(bont)}}{N_{bont} * (100 / GS)} * N_{gem}$$

$N_{bvl(bont)}$: totaal aantal wagens zeer brandbare vloeistof in bonte treinen

$N_{bg(bont)}$: totaal aantal wagens brandbaar gas in bonte treinen

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

N_{gem} : gemiddeld treinlengte (20 wagens)

GS : percentage van voor externe veiligheid relevante gevaarlijke stoffen
(20% volgens protocol, 10% in COEV)

De kans $P_{contact}$ is:

$$\{2/ N_{tot} \times N_g / (N_{tot} - 1)\} + \{ (N_{tot} - 2) / N_{tot} \times [N_g / (N_{tot} - 1) + (N_{tot} - N_g - 1) / (N_{tot} - 1) \times (N_g / (N_{tot} - 2))]\}.$$

Hierbij is:

N_{tot} : totaal aantal wagens in een bonte trein (=20)

N_{bvl} : het gemiddeld aantal wagens brandbare vloeistof in dezelfde bonte trein

N_g : het gemiddeld aantal wagens brandbaar gas in dezelfde bonte trein.

Bijlage 6. Afleiding probitrelaties

Probit propylamine

Onderstaande is afkomstig uit “Achtergronddocument systematiek voor de indeling van stoffen, editie 1999” [8]:

“De probitrelaties zijn samengesteld uit een aantal bronnen, conform de aanbevelingen van de werkgroep acute toxiciteit. Hieronder in afnemende prioriteit.

- *De huidige lijst van in het technisch knelpunten overleg vastgestelde probitrelaties (EVR-lijst; KO-24/2, KO-59 en KO-86).*
- *Voor stoffen waar momenteel geen probitrelatie voor is vastgesteld, maar die wel op de AVR-lijst voorkomen (KO-18/2), is een probitrelatie afgeleid van de betreffende voorkeurs-LC50 met defaultwaarden voor de probitfactoren $b (=1)$ en $n (=2)$.*
- *Voor stoffen die niet op de EVR-lijst of de AVR-lijst voorkomen maar waar wel een ERPG (=Emergency Response Planning Guideline) voor beschikbaar is, wordt een probitrelatie afgeleid van de ERPG-3 onder de initiële condities $EPRG-3=LC01\text{-inh}\text{-mens}\text{-1 uur}$ en $b*n = 2$. Hetzelfde geldt voor afleiding van waarden op grond van de LBW-waarde voor stoffen op de Rijnmondlijst [1996].”*

Voor propylamine (UN 1277) is de probit gebaseerd op een proefdiergegeven uit Sax⁸, Dangerous properties of industrial materials 7th ed. PND250 [21]:

- ihl-rat LC50: 2310 ppm/4H

De omrekening naar de probitrelatie voor overlijden van de mens gaat als volgt [22, PGS1, Deel 4, pagina 24, figuur 3]:

- LC50 rat 1 uur: $2310*\sqrt{4}=4620$ ppm
- LC50 rat 30 min: $4620*\sqrt{2}=6533$ ppm
- LC50 mens 30 min.: $6533*0.25=1633$ ppm= 4022.3 mg/m³
- probit a-waarde: $a=5-\ln(4022.3^2*30)=-15$ bij C in mg/m³ en t in min
- probit a-waarde: $-15+\ln((59.1/24)^2)=-13.2$ bij C in ppm en t in min.

Deze waarde is gebruikt in IPORBM en in RBM II.

In het achtergronddocument van de S3b indeling [8] is in bijlage 7, figuur 2, de relatieve ligging van de PR-x-curven van acrylnitril en propylamine voor wegtransport getoond. Te zien is hoe LT1 (acrylnitril, UN nummer 1093) en LT2 (propylamine, UN nummer 1277) zich van elkaar onderscheiden, gegeven de destijds gehanteerde veronderstellingen.

⁸ In het achtergronddocument staat in de tabel op p. 116 een probitrelatie voor UN 1277 vermeld op grond van de LBW-waarde. Die aanpak leidt tot een a-waarde van -12.8 (C in mg/m³ en t in min). In dit geval is er dus een gegeven met een hogere status: een direct proefdierexperiment. Dit heeft prioriteit boven de constructie van een probitrelatie m.b.v. de LBW-waarde.

Probit waterstofjodide

In het navolgende wordt de afleiding van de probitrelatie voor waterstofjodide (HI) gegeven, zoals die destijds is gedaan ten behoeve van de S3b-methodiek [1]. De probitconstanten staan vermeld in het achtergronddocument bij [1]. Met de huidige afspraken over de afleiding van probits zou een andere probit berekend worden.

In bijlage 7.2 “Probitrelaties” is de volgende passage opgenomen [1]:

“7.2 Probitrelaties

*In het navolgende wordt een overzicht gegeven van de in de berekeningen gehanteerde probitrelaties. Deze probitrelaties zijn samengesteld uit een aantal bronnen, conform de aanbevelingen van de werkgroep acute toxiciteit [8]. Tevens zijn de onderliggende dan wel de berekende LC50-inh-rat-1 uur waarden weergegeven (LC50-inh-mens = 0.25 * LC50-inh-rat).*

- *Uitgangspunt is de huidige lijst van in het technisch knelpunten overleg vastgestelde probitrelaties (EVR-lijst; KO-24/2, KO-59 en KO-86).*
- *Voor stoffen waar momenteel geen probitrelatie voor is vastgesteld, maar die wel op de AVR-lijst voorkomen (zie [8] of KO-18/2), is een probitrelatie afgeleid van de betreffende voorkeurs-LC50 met defaultwaarden voor de probitfactoren $b (=1)$ en $n (=2)$.*
- *Voor stoffen die niet op de EVR-lijst of de AVR-lijst voorkomen maar waar wel een ERPG (=Emergency Response Planning Guideline) voor beschikbaar is (zie [8]), wordt een probitrelatie afgeleid van de ERPG-3 onder de initiële condities $EPRG-3=LC01-inh-mens-1$ uur en $b*n = 2$. Hetzelfde geldt voor afleiding van waarden op grond van de LBW-waarde voor stoffen op de Rijnmondlijst [9].”*

Deze passage beschrijft de werkwijze en de prioriteit van de destijds beschikbare toxiciteit gegevens. Deze aanpak is ontleend aan [10]. Voor waterstofjodide, HI (UN 2197) is in de tabel de volgende probitrelatie opgenomen: $Pr = a + b \ln (C^2 t)$, met C in mg/m^3 en t in minuten en met de waarden $a = -8.23$, $b = 1$ en $n = 2$.

Deze waarden zijn als volgt afgeleid:

1. De levensbedreigende waarde 1 uur (LBW) voor HI is $30 mg/m^3$ [2]⁹.
2. Deze waarde wordt gelijk gesteld aan de LC_{01} , 1 uur voor de mens [11].
3. LC_{01} , 30 min.= LC_{01} , 1uur* $\sqrt{2}$ [17]
4. $a=2.67-\ln(LC_{01}^2*30)$

Toepassing op HI

3. $30*\sqrt{2}=42.43$
4. $a=2.67-\ln(42.43^2*30)=-8.23$

Derhalve is de destijds afgeleide probitrelatie $Pr = -8.23 + \ln (C^2 t)$, met C in mg/m^3 en t in minuten.

⁹ In een latere publicatie, Ministerie VROM 2000, Interventiewaarden gevaarlijke stoffen, wordt voor HI een LBW genoemd van $500 mg/m^3$, afgeleid van een analogie met HCl.