



Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7500 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 32 01

info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2001/435a

**Kwantitatieve Risico-analyse
generiek voor LPG-tankstations
(Hoofdrapport)**

Datum	oktober 2001
Auteurs	Ing. J.M. Ham
Projectnummer	29399
Trefwoorden	LPG Tankstation Risico Veiligheidsafstanden
Bestemd voor	Ministerie van VROM Directoraat-Generaal Milieuhygiëne, Directie LMV T.a.v. Dr. P.H. Bottelberghs Postbus 30945, IPC 565 2500 GX Den Haag

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Voorwoord

Ten tijde van de uitvoering van deze studie werd uitgegaan van het vigerende beleid ten aanzien van de normstelling voor externe veiligheid, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de maximaal toelaatbare risico niveau's voor kwetsbare bestemmingen in bestaande situaties ($PR < 10^{-5}$ / jaar) en nieuwe situaties ($PR < 10^{-6}$ / jaar). In het bijzonder bij de schatting van de potentiële aantallen knelpunten, zoals geïnventariseerd in hoofdstuk 6 van dit rapport, is van de PR-norm van 10^{-5} / jaar uitgegaan. Het recent aangegeven beleidsvoornemen (NMP4) inzake het op termijn (uiterlijk 2010, behoudens een enkele uitzondering) verlaten van dit onderscheid bestaand/nieuw, zal ook invloed hebben om het aantal knelpunten, echter deze invloed is in dit onderzoek niet onderzocht en er zijn hier dus geen kwantitatieve gegevens over vermeld.

Met betrekking tot het groepsrisico (GR) is bekend dat in een groot aantal gevallen de norm (10 doden met een kans van 10^{-5} per jaar) wordt overschreden. In dit onderzoek is dat aspect evenwel niet meegenomen en dus niet gekwantificeerd.

Het onderzoek is grotendeels uitgevoerd in de periode eind 1998 tot eind 2000; de eindrapportage vindt plaats in oktober 2001.

Opgemerkt zij, dat een aantal problemen in dit kader nog niet is onderzocht:

- a. overschrijdingen van de GR norm.
- b. de invloed van het gelijkstellen van bestaande en nieuwe situaties, m.a.w. kwetsbare bestemmingen binnen de 10^{-6} contour.

De reden dat dit niet is onderzocht, is dat het onderzoek uitsluitend gericht was op het in kaart brengen van de kosten zoals die zouden zijn voortgevloeid uit de normstelling met betrekking tot het plaatsgebonden risico voordat in het NMP4 daarvoor een aangescherpt beleid is geformuleerd. Het onderzoek heeft zich dan ook beperkt tot uitsluitend het plaatsgebonden risico (PR), zonder rekening te houden met het vervallen van de norm voor bestaande situaties, zoals verwoord in het NMP 4.

Echter, hieruit mag niet worden afgeleid dat er geen problemen zijn met de groepsrisico niveaus (GR) als gevolg van LPG tankstations. De voorlopige conclusies van lopend onderzoek in het kader van (de consequenties van implementatie van het NMP-4) blijkt dat die problemen er namelijk wel zijn. Voor de precieze omvang daarvan is echter een apart onderzoek nodig.

Uit het beperkte aantal situaties dat binnen het hier gerapporteerde onderzoek als knelpunt in de zin van de AMvB Mkev wordt aangemerkt, voor zover de saneringskosten hiervan geheel of gedeeltelijk ten laste kunnen komen van de overheid, mag niet de conclusie worden getrokken dat het met de risico's rond LPG tankstations wel meevalt. Bekend is dat het groepsrisico bij veel LPG tankstations een probleem is, maar in dit onderzoek is dat niet gekwantificeerd. Evenmin is in dit onderzoek een getal afgeleid voor het aantal knelpunten dat zal ontstaan als gevolg van het in de komende jaren tot 2010 gelijktrekken van de normen voor bestaande en nieuwe situaties. Ook hier zal het volgens de huidige verwachtingen om aan-

zienlijke aantallen gaan, maar daarvoor is nog geen inventarisatie uitgevoerd. Ten slotte is ook niet onderzocht in hoeveel gevallen er ook nu al sprake is van een overschrijding van de PR norm doordat niet wordt voldaan aan het 20 m criterium. Deze situaties zijn immers reeds nu saneringssituaties en dienen derhalve niet in het kader van de genoemde AMvB als bestuurslast te worden aangemerkt. Voor een totaalbeeld van de risico's rond LPG tankstations zouden ook deze situaties in beeld moeten zijn, maar dit kan ook in het kader van de handhaving aan de orde komen.

Gelet op de in het NMP4 genoemde beleidsvernieuwing m.b.t. externe veiligheid zijn er twee elementen die strekken tot de aanbeveling voor nader onderzoek als gevolg hiervan:

1. het opheffen van de norm voor bestaande risico's uiterlijk in 2010.
2. het beleid m.b.t. het omgaan met het groepsrisico, meer in het bijzonder de noodzaak om het preventiebeleid voor rampen te versterken, vergt een inventarisatie van de GR knelpunten.

Op grond hiervan wordt aanbevolen:

- a. een landsbrede inventarisatie uit te voeren naar de overschrijding van de GR norm bij LPG tankstations
- b. een landsbrede inventarisatie uit te voeren naar LPG tankstations waar zich kwetsbare bestemmingen bevinden binnen de 10^{-6} contour of de daarmee overeenkomende veiligheidsafstand, en tevens aantal en soort bestemmingen daarbij vast te stellen.

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van VROM heeft TNO Milieu, Energie en Processinnovatie een actualiserend onderzoek uitgevoerd naar de plaatsgebonden risico's die worden veroorzaakt door LPG-tankstations. In aansluiting daarop is een inventarisatie gemaakt van aantallen tankstations waar gevoelige bestemmingen aan deze risico's worden blootgesteld, en waar zich in verband daarmee in de toekomst knelpunten zouden (kunnen) voordoen, indien de risiconormen als grenswaarden worden vastgelegd.

Sinds het van kracht worden van het Besluit LPG-tankstations (1988) zijn veiligheidsafstanden gehanteerd tussen de drie relevante activiteiten op een autotankstation (de -meestal ondergrondse- opslag van LPG, het vulpunt waar de tankauto wordt aangesloten en het afleverpunt voor automobilisten) en kwetsbare bestemmingen in de omgeving. Deze afstanden dienen met betrekking tot kwetsbare of minder kwetsbare bestemmingen te worden aangehouden. In het kader van de voorbereiding voor een AMvB milieukwaliteitseisen externe veiligheid is geconcludeerd dat het van belang is om voor LPG-tankstations na te gaan of de vigerende veiligheidsafstanden overeenstemmen met afstanden, die gelet op de beoogde normstelling, gegeven de actuele risicosituatie voor LPG-tankstations en gegeven de actuele rekenvoorschriften, aan de orde zouden zijn. Met name is dit van belang omdat de methodiek voor de risicoberekening sinds de uitvoering van de LPG integraal studie verder is ontwikkeld en omdat de fysieke factoren die voor het risico van LPG tankstations van belang zijn, sinds de vaststelling van de veiligheidsafstanden, gewijzigd zouden kunnen zijn.

Er is nu een evaluatie van de veiligheidsafstanden uitgevoerd om vast te stellen of wijzigingen in ofwel de factoren in en rond LPG tankstations die van invloed zijn op het risico, ofwel de methodiek en uitvoering van de risico-analyse voor deze tankstations aanleiding geven tot nieuwe inzichten. De studie is uitgevoerd in het kader van de totstandkoming van de AMvB Milieukwaliteitseisen Externe Veiligheid (risiconormen).

Een uitgebreide steekproefsgewijze - zowel statistische als fysieke - inventarisatie van LPG-tankstations in Nederland heeft uitgewezen:

- de (uitvoering van) veiligheidsvoorzieningen van zowel het station als de tankauto zijn niet wezenlijk veranderd ten opzichte van de situatie waarvan bij de risicoanalyses voor de vaststelling van de veiligheidsafstanden in 1988 is uitgegaan.
- de ligging en lay-out van LPG-tankstations verschillen onderling sterk, en er kan daarom moeilijk een karakteristieke uitvoering worden gedefinieerd.

- er bestaan grote verschillen (meer dan een factor 100) in de LPG-omzet tussen de tankstations; gezien de rechtstreekse relatie tussen deze omzet en de aanwezigheidsduur van (en het risico door) de tankauto op het tankstation, vormt het omzetcijfer een cruciaal invoergegeven voor het berekende risico van met name het vulpunt voor de omgeving.

De risicoberekeningen in deze studie zijn uiteindelijk uitgevoerd voor een karakteristiek 'referentie' tankstation met een LPG-omzet van 500 m³ per jaar. Dit blijkt het gemiddelde voor tankstations in de bebouwde kom.

Nieuwe inzichten en uitgangspunten in modelleringsaspecten in de risicoanalyse hebben ook invloed op de resulterende veiligheidsafstanden. De belangrijkste wijzigingen sinds 1988 zijn:

- de aanwijzing van generieke ongevalsscenario's voor QRA's voor stationaire inrichtingen, waardoor het instantaan falen van een ondergrondse opslagtank mogelijk wordt geacht;
- de wijze van berekening van het risico door warmtestraling van de vuurbal in geval van een BLEVE;
- de introductie van het gevolgscenario instantane gaswolkverbranding, zonder vuurbalverschijnselen;
- de toepassing van zwaar-gas dispersiemodellering bij de verspreiding van een gaswolk, welke in het algemeen leidt tot kortere maar (veel) bredere wolken;
- wijzigingen in te hanteren faalkans-cijfers welke in CPR-verband voor generiek toe te passen waarden in het Paarse Boek zijn vastgelegd.

In onderstaande tabel zijn de afstanden gegeven welke met de huidige inzichten resulteren voor drie niveaus van plaatsgebonden risico voor een tankstation met een gemiddelde omzet van 500 m³/jaar.

Onderdeel	Vigerende veiligheidsafstand [m] Woon + Cat.II	Berekende afstanden [m]		
		PR = 10 ⁻⁵	PR = 10 ⁻⁶	PR = 10 ⁻⁷
		Tankauto / vulpunt	80	23
Reservoir, geen vuurbal	40	6	23	44
Afleverzuil	20	--	11	24

Bij toepassing van de 10⁻⁶ risico-contour als norm voor kwetsbare objecten zoals woonbestemmingen, zullen er naar verwachting voor het gedefinieerde referentie-tankstation geen nieuwe knelpunten ontstaan.

Wel zijn er bestaande situaties waar in het verleden, onder strikte condities, kleinere afstanden zijn geaccepteerd waardoor niet aan de voorgenomen kwantitatieve milieukwaliteitseisen kan worden voldaan. Verder geldt voor tankstations met een omzet hoger dan circa 1250 m³/jaar dat een plaatsgebonden risico overeenkomend met 10⁻⁶ per jaar op een grotere afstand ligt dan de vigerende veiligheidsafstand van

80 meter. In nieuwe situaties zou gelet op de risiconorm, voor die tankstations een grotere afstand gehanteerd moeten worden. Aangezien dergelijke stations nauwelijks in woonomgevingen worden aangetroffen, is het aantal te verwachte knelpunt-situaties vermoedelijk beperkt. De uitgevoerde inventarisatie en extrapolatie duidt erop dat het aantal te verwachten knelpunten in Nederland, dat wil zeggen LPG-tankstations waar zich kwetsbare of minder kwetsbare bestemmingen bevinden binnen de afstand die voor die tankstations overeenkomt met een plaatsgebonden risico van 10^{-5} per jaar, circa 50 zal bedragen.

Het onderzoek had in het bijzonder betrekking op de bepaling van veiligheidsafstanden voor het plaatsgebonden risico (PR) rond LPG-tankstations. Berekening van het Groepsrisico (GR) is in dit kader dus niet uitgevoerd. Daardoor kunnen ook geen uitspraken worden gedaan over het mogelijk aantal knelpuntsituaties dat uit toepassing van de huidige GR-norm voor inrichtingen (10 slachtoffers met kans 10^{-5} per jaar, etc.) zal volgen.

Ook moet worden onderstreept dat de invloed van het op termijn (vóór 2010) zoals NMP-4 stelt, gelijkstellen van bestaande en nieuwe situaties, m.a.w. het saneren van situaties met kwetsbare bestemmingen binnen de 10^{-6} PR-contour, in dit kader niet is beoordeeld. Uit het genoemde beperkte aantal (circa 50) knelpunten voor de 10^{-5} PR-contour (= beoogde grenswaarde in het voorziene Besluit kwaliteitseisen externe veiligheid voor bestaande situaties) mag niet worden afgeleid dat het met de risico's rond tankstations wel meevalt. Uit ander onderzoek blijkt dat bij veel tankstations sprake is er een overschrijding van de norm voor het GR en dat een groot aantal tankstations een knelpunt zal blijken te zijn als de bestaande situaties moeten voldoen aan de norm voor nieuwe situaties. Deze aantallen zijn echter in deze studie nog niet in kaart gebracht.

Het rapport doet tenslotte nog een aantal aanbevelingen voor in de toekomst nader vast te stellen keuzes in de wijzen van modellering voor specifieke fenomenen van ongevalsscenario's.

Terminologie en definities

Afleverzuil	De voorziening op een LPG-tankstation van waaruit motorvoertuigen worden voorzien van de brandstof LPG. Een zuil omvat meestal twee vulslangen.
AMvB	Algemene Maatregel van Bestuur (= Besluit). In dit rapport worden twee belangrijke AMvB's genoemd: het Besluit LPG-tankstations (1988) en de concept AMvB Milieu kwaliteitseisen Externe Veiligheid (AMvB-MEV)
BLEVE	Acronym voor "Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion". Een fenomeen dat ontstaat bij het instantaan falen van een tank of vat welk is gevuld met tot vloeistof verdicht gas. Alle stof komt in één keer vrij, onder heftige verdamping. Bij brandbare stoffen gaat dit meestal gepaard met een vuurbal die een verwoestende werking heeft.
CPR-richtlijnen	Documenten die zijn samengesteld en worden uitgegeven door de Commissie Preventie van Rampen door zware ongevallen (CPR). Voor deze studie zijn in het bijzonder van belang de richtlijnen onder de reeks CPR-8 (over propaan en autogas), de CPR-14 en CPR-16 (resp. Gele en Groene Boek, voor berekening van effecten en schade bij ongevallen met gevaarlijke stoffen) en de CPR-18 (Paarse Boek, met richtlijnen voor de uitvoering van QRA's).
Effectmodellen	Beschrijving van het fysische gedrag van een stof die vrijkomt uit zijn omhulling, voor berekening van de omvang van de effecten zoals uitstroomdebiet, verdampingsnelheid, verdunning in de atmosfeer door dispersie, etc.
Explosiegrenzen	Het concentratiegebied van een brandbare damp in lucht waarbinnen deze damp tot ontbranding kan worden gebracht. De concentratie wordt meestal in volume-percenten (vol-%) aangegeven.
Faalfrequentie	De kans per jaar dat een LoC-situatie zich voordoet voor een gegeven omhulling en opgeslagen stof.

f-x curve	Een grafische presentatie van de relatie tussen het plaatsgebonden risico (kans op letaal letsel per jaar) en de afstand tot de ongevalslocatie.
Knelpunt	Een situatie van (of nabij) een LPG-tankstation waar sprake is van overschrijding van de grenswaarde(n) zoals genoemd in de AMvB-MEV.
LPG	Een mengsel van propaan en butaan, onder druk vloeibaar gehouden, welk wordt toegepast als brandstof voor motorvoertuigen. LPG wordt ook vaak 'autogas' genoemd.
LPG-tankauto	De tankwagen die de bevoorrading van het LPG-tankstation verzorgt. De beladingscapaciteit van de tegenwoordige tankauto bedraagt circa 60 m ³ .
LPG-tankstation	Een inrichting voor de levering van LPG aan motorvoertuigen.
LoC-situaties	Loss of Containment situaties, geven het scenario waardoor gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen uit hun omhulling, bijvoorbeeld openscheuren van een tank of breken van een pijpleiding.
Omzet	De hoeveelheid door een tankstation afgeleverde hoeveelheid LPG per jaar. In deze studie zijn overigens de gegevens ontleend aan de twee grootste LPG-leveranciers in Nederland, waardoor de gegeven hoeveelheden strikt genomen de aan hun stations geleverde hoeveelheden betreffen.
Opslagtank	Het (meestal ondergronds gelegen) reservoir voor LPG als onderdeel van het LPG-tankstation.
Plaatsgebonden risico	De kans per jaar dat een willekeurig persoon, die permanent en onbeschermd op een zekere plaats nabij een inrichting met gevaarlijke stoffen aanwezig is, op die plaats zal overlijden als gevolg van een incident in die inrichting. In de AMvB-MEV wordt de term 'plaatsgebonden risico' (PR) geïntroduceerd als vervanging voor het vroegere begrip Individueel Risico (IR)..

Referentie-station	Het in deze studie gedefinieerde hypothetische LPG-tankstation dat voor wat betreft uitvoering en omzet een gemiddelde situatie van de tankstations in Nederland beschrijft.
QRA	Kwantitatieve risicoanalyse. Gestandaardiseerde methoden om de kansen op en gevolgen van ongevallen met gevaarlijke stoffen getalsmatig uit te drukken, met als doel mogelijkheden van risico-reductie te identificeren en de aanvaardbaarheid van gevaarlijke activiteiten te kunnen toetsen.
Veiligheidsafstand	Afstand die moet worden aangehouden tussen de respectievelijke onderdelen van een LPG-tankstation (vulpunt, opslagreservoir, afleverzuil) en bestemmingen (woningen, kantoren, etc.) in de omgeving ervan. Sinds de Nota Sanering LPG-tankstations (1985) zijn er twee sets veiligheidsafstanden in gebruik geweest, voor bestaande situaties en voor nieuwe situaties.
Vulpunt	De van het tankstation deel uitmakende voorziening via welke de LPG-tankauto kan worden gelost naar een (meestal ondergronds) opslagreservoir.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Samenvatting	5
Terminologie en definities	9
1. Inleiding	15
1.1 Probleemstelling en doel / inhoud van het onderzoek	15
1.2 Achtergrond en historie	16
1.3 Uitvoering van het onderzoek	17
1.4 Indeling van dit rapport	18
1.5 Begeleidingscommissie	18
2. LPG-tankstation: Uitgangspunten fysieke situatie	21
2.1 Uitvoering van de inventarisatie.....	21
2.2 Conclusies uit de inventarisatie.....	22
2.2.1 Technische ontwikkelingen sinds 1988.....	22
2.2.2 Ligging en omgeving	24
2.2.3 Omzet / doorzet.....	25
2.2.4 Beschrijving van het referentie LPG-tankstation voor de QRA	30
2.3 Samenvatting van de verschillen	31
3. Uitvoering kwantitatieve risico-analyse	33
3.1 Loss of Containment situaties	33
3.2 Effecten en effectmodellering	34
3.2.1 Eigenschappen van LPG.....	34
3.2.2 Uitstroming.....	35
3.2.3 Verdamping.....	36
3.2.4 Vervolggebeurtenissen.....	37
3.3 Toelichting bij (modellering van) specifieke fenomenen	38
3.3.1 Het fenomeen BLEVE	38
3.3.2 Het fenomeen Instantane Flash fire	39
3.3.3 Het fenomeen fakkels	41
3.4 Berekening en resultaten effectafstanden.....	41
3.5 Kansen en ongevalsfrequenties	43
3.5.1 Initiële ongevalsfrequenties	44
3.5.2 Ontstekingskansen	45
3.5.3 Meteo-statistiek	46
3.6 Analyse van verschillen in uitgangspunten en modellering	47

4.	Resultaten en evaluatie risico-berekeningen.....	49
4.1	Plaatsgebonden risico-contouren en veiligheidsafstanden	49
4.2	Conclusies voor afstanden rond een gemiddeld tankstation	54
4.2.1	Afstanden rond het vulpunt.....	54
4.2.2	Afstanden rond het ondergrondse opslagreservoir	55
4.2.3	Afstanden rond de afleverzuil.....	55
5.	Analyse van de resultaten.....	57
5.1	Invloed van de omzet aan LPG	57
5.2	Invloed van te beschouwen scenario's en modellering van de ondergrondse tank.....	58
5.3	Effectiviteit van een fakkelkast	59
5.4	Consequenties van ontbreken van veiligheidskleppen op de LPG-tankauto	60
5.4.1	Invloed van de druk-ontlastklep	60
5.4.2	BLEVE-frequenties in bestaande situatie (met veiligheidsventielen).....	61
5.4.3	BLEVE-frequentie bij ontbreken van de veiligheidskleppen	62
6.	Kwantificering van aantallen en kosten van potentiële knelpunten.....	65
6.1	Definitie: Wat is een knelpunt?.....	65
6.2	Invloed van de LPG-omzet op knelpunten.	66
6.3	Knelpunten in relatie met de aard van de omgeving	66
6.4	Knelpunten in bestemmingsplan-situaties.....	68
6.5	Resultierend aantal knelpuntsituaties	68
6.6	Indicatie van de kosten van sanering.....	69
7.	Conclusies en Aanbevelingen	71
7.1	Conclusies	71
7.2	Aanbevelingen	73
8.	Literatuur en referenties	75
9.	Verantwoording	77

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling en doel / inhoud van het onderzoek

Het beleidskader ten aanzien van activiteiten met LPG, waaronder LPG tankstations, is beschreven in de LPG-nota van 1985. De nota gaf destijds de aanzet voor het huidige risicobeleid in Nederland. De in de nota gegeven extern aan te houden afstanden zijn gebaseerd op de LPG Integraal studie van TNO, waarin risico's van LPG-activiteiten zijn berekend. De afstanden voor LPG-tankstations zijn in 1988 overgenomen in het saneringsprogramma LPG tankstations en in het Besluit LPG tankstations en de daarbij behorende toelichting.

Het beleidskader normstelling Externe Veiligheid (EV) is in 1994 op enkele punten gewijzigd. Zo wordt voor het groepsrisico geen afzonderlijke norm toegepast voor bestaande situaties. Verder wordt de norm voor het groepsrisico aangeduid als een oriënterende waarde waarvan door het bevoegd gezag gemotiveerd kan worden afgeweken.

Een tweede aspect dat voor het onderzoek waarover thans gerapporteerd wordt, van belang is, is de thans vastgelegde standaard voor het kwantificeren van risico's, namelijk CPR 18E, ook aangeduid als het "Paarse Boek". Hoewel dit zodanig is opgesteld dat de vigerende modellen voor risico analyse hierin zijn vastgelegd, zijn verschillen op onderdelen met de in 1984 gebruikte modellering niet volledig uit te sluiten en is het derhalve van belang geacht dit te evalueren.

Het hier gerapporteerde onderzoek omvat dan ook:

1. inventarisatie van uitvoering, doorzet en omgeving van hedendaagse LPG tankstations in Nederland en vaststellen van een gemiddeld (i.e. het referentie) LPG tankstation
2. op basis van deze inventarisatie, gelet op de normstelling voor plaatsgebonden risico's en gegeven de huidige inzichten in risico-analytische modellering, het uitvoeren van een kwantitatieve risico analyse (QRA) voor het referentie LPG tankstation ten behoeve van de actualisering van het externe veiligheidsbeleid voor deze categorie inrichtingen
3. inzicht vergaren in mogelijke implicaties van beleid, op basis van een schatting van het aantal tankstations waarbij in de huidige of toekomstige situatie niet aan geldende normen of vereiste afstanden wordt voldaan.

1.2 Achtergrond en historie

Rond 1985 is in Nederland het veiligheids- en risicobeleid rond LPG-tankstations tot stand gekomen. Mede naar aanleiding van het zogenaamde Interim-standpunt van de Regionaal Inspecteur voor de Milieuhygiëne van Zuid-Holland (1978) en de door TNO uitgevoerde LPG Integraal Studie [1], en op basis van de aan de Tweede Kamer aangeboden Integrale Nota LPG [2], zijn middels het 'Besluit Sanering bestaande LPG-stations' [3] en de AMvB Besluit LPG-tankstations Hinderwet [4] maatregelen ter beperking van de risico's voor omwonenden verplicht gesteld. De maatregelen hebben zowel betrekking op de uitvoering en het beheer van de tankstations, als van de LPG-tankauto's. Daarnaast is het van belang te vermelden dat er door de Commissie Preventie van Rampen (CPR subcie. Propaan) enkele uitgaven zijn gepubliceerd op propaan / LPG-gebied, te weten CPR 8-1: Autogas (LPG), CPR 8-2: LPG-tankwagens en CPR 8-3: Distributiedepots voor LPG.

Eén van de belangrijkste gevolgen van het in gang gezette risicobeleid was dat veiligheidsafstanden rond de LPG-activiteiten werden vastgesteld. Deze veiligheidsafstanden dienen in het kader van de vergunningverlening en in de ruimtelijke ordening te worden aangehouden tussen woonbebouwing of andere kwetsbare bestemmingen en (onderdelen van) het LPG tankstation. De veiligheidsafstanden gelden ten opzichte van het LPG-vulpunt, rond de (ondergrondse) opslagtank en rond het afleverpunt. De afstanden leggen uiteraard beperkingen op, zowel aan de mogelijkheid om een LPG-tankstation te vestigen als aan de ruimtelijke inrichting (woningbouw e.d.) rond een LPG-tankstation. De afstanden gelden voor ieder onderdeel afzonderlijk, zodat bijvoorbeeld in geval van de aanwezigheid van twee afleverzuilen er ook twee afstandscirkels dienen te worden gehanteerd. Strikt genomen moeten ook separate cirkels worden vastgesteld rond het vulpunt en rond de opstelplaats van de tankauto, maar dat is in de praktijk niet of nauwelijks onderscheiden.

Tussen 1985 en 1988 is in het kader van dit beleid een saneringsprogramma uitgevoerd waarbij een aantal tankstations welke niet aan de gestelde afstandscriteria of andere technische vereisten konden voldoen is geamoveerd. Bij een groot aantal andere, vooral binnen de bebouwde kom gelegen tankstations zijn technische aanpassingen aangebracht waardoor toch een acceptabel risico-niveau werd bereikt. In deze situaties zijn kleinere afstanden toegelaten tussen (de onderdelen van) de tankstations en de kwetsbare objecten in de omgeving dan op basis van de risicoanalyses en voorlopige normering voor nieuwe situaties worden gehanteerd.

Onderstaande tabel geeft de afstanden die, onderscheidenlijk voor bestaande en nieuwe situaties, sindsdien worden aangehouden. Tevens is aangegeven welke (indicatieve) grenswaarden voor plaatsgebonden risico (PR) voor deze afstanden bepalend zijn geweest. De afstanden gelden voor "Woonbebouwing" en "Bijzondere objecten categorie II".

Station-onderdeel	Bestaand		Nieuw	
	PR [jaar ⁻¹]	Afstand [m]	PR [jaar ⁻¹]	Afstand [m]
Ondergronds reservoir	0,1 - 4 x 10 ⁻⁵	20 (15)	0,05 - 1 x 10 ⁻⁶	40
Tankauto / vulpunt	1,5 - 3 x 10 ⁻⁵	20 (15)	0,04 - 3 x 10 ⁻⁶	80
Afleverzuil	0,01 - 5 x 10 ⁻⁵	20	0,01 - 5 x 10 ⁻⁶	20

In deze tabel zijn geen vaste risicowaarden genoemd, maar een range van minimum en maximum risicowaarden. Het toepassen van deze waarden per onderdeel had vooral te maken met de scherpe overgangen in het berekende risiconiveau op de betreffende afstanden. De oorzaken daarvan worden verderop in dit rapport toegelicht. Voor het vaststellen van de veiligheidsafstanden heeft globaal gegolden:

- in geval van bestaande situaties mag het plaatsgebonden risico ter plaatse van kwetsbare bestemmingen een waarde van 1×10^{-5} per jaar niet overschrijden;
- in nieuwe situaties mag het plaatsgebonden risico ter plaatse van kwetsbare bestemmingen een waarde van 1×10^{-6} tot 1×10^{-7} per jaar niet overschrijden;

Deze impliciete grenswaarden voor plaatsgebonden risico rond LPG-tankstations zijn sindsdien ook richtinggevend geworden voor de hantering van risico-normen rond andere gevaarlijke inrichtingen en hebben een belangrijke rol gespeeld bij de ontwikkeling van het risico-beleid in Nederland in de afgelopen 10 à 15 jaar.

De AMvB Milieukwaliteitseisen Externe Veiligheid (ontwerptekst intern VROM d.d. maart 2000) beoogt de risiconormen vast te leggen in de vorm van grenswaarden voor het plaatsgebonden risico. Voor het groepsrisico wordt uitgegaan van het hanteren van de vigerende oriënterende waarde. Bij inwerkingtreden van een Besluit milieukwaliteitseisen externe veiligheid voor inrichtingen, waarbij de normen voor het plaatsgebonden risico de status van grenswaarde krijgen, zal dit ook voor LPG-tankstations ertoe leiden dat aan de risiconormen moet worden voldaan. Daarbij zullen naar verwachting (- conform de concept-tekst van de AMvB -) bestaande situaties worden getoetst aan een plaatsgebonden risico (PR) van 10^{-5} per jaar en nieuwe situaties aan een PR van 10^{-6} per jaar voor kwetsbare bestemmingen. Voor minder kwetsbare bestemmingen, behoudens de in de AMvB genoemde uitzonderingen, geldt dan een grenswaarde voor het PR van 10^{-5} per jaar in zowel bestaande als nieuwe situaties.

1.3 Uitvoering van het onderzoek

Het in dit rapport beschreven onderzoek omvat een aantal fasen. De rapportage over deze onderdelen kan hier en daar enige overlap vertonen. Het gaat om de volgende onderdelen:

- inventarisatie van veranderingen in óf uitvoering van tankstations óf inzichten in risico-analyses, die tot aanpassing van de veiligheidsafstanden zouden moeten leiden;
- inventarisatie van mogelijke knelpuntsituaties bij introductie van risiconormen en berekening van de risico's bij technische aanpassingen aan de LPG-tankauto;

- schatting van de aantallen knelpunten in bestaande bebouwde kom situaties, met name vanwege de ligging van de 10^{-5} -isorisicocontour, teneinde een schadeschatting te kunnen maken voor het opheffen van deze knelpunten.

1.4 Indeling van dit rapport

Dit rapport is als volgt ingedeeld:

- In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten van de fysieke situatie rond LPG-tankstations beschreven, en wordt een voorstel gedaan voor de definitie van een voor de risico-analyse aan te nemen referentie tankstation. Om deze fysieke situatie vast te stellen, zijn circa vijftig tankstations daadwerkelijk bezocht en is informatie over circa 360 stations ontvangen van twee van de LPG-leveranciers in Nederland. In het kader van het laatste deel van het onderzoek is dit laatste aantal later uitgebreid tot bijna 1500.
- In hoofdstuk 3 wordt de uitvoering van de risico-analyse gegeven. De beschouwde scenario's, fenomenen en hun modellering worden ook kort beschreven.
- In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de QRA gegeven en worden de conclusies ten aanzien van de veiligheidsafstanden besproken. Tevens worden de oorzaken van eventuele verschillen met de huidig geldende afstanden belicht.
- In hoofdstuk 5 worden de resultaten geanalyseerd en wordt de gevoeligheid van de resultaten voor station-specifieke aspecten als omzet en ligging besproken.
- Hoofdstuk 6 geeft een schatting van de aantallen LPG-tankstations waar, bij een gegeven risico-grenswaarde, overschrijding van zulke normen zou ontstaan. Dit onderdeel omvat eerst een globale statistische schatting, en daarna de resultaten van een aanvullend onderzoek naar specifieke situaties.
- In een aantal bijlagen (separaat rapport, ref. R 2001/435) tenslotte zijn de uitgangspunten en tussentijdse rapportages vevat die gedurende de studie zijn gecompileerd en in overleg met de Begeleidingscommissie zijn vastgesteld.

1.5 Begeleidingscommissie

Van de zijde van de opdrachtgever is een Begeleidingscommissie (BC) ingesteld die het project naar voortgang en inhoud toetste en suggesties deed voor de uitvoering van deze werkzaamheden. De BC bestond uit de volgende leden:

- Dr. P.H. Bottelberghs (voorzitter), Ministerie van VROM, Directie LMV (eerder directie SVS)
- Ing. J.G.A.M. Verbakel, Ministerie van VROM, Directie LMV (eerder directie SVS)
- Ing. A.J.M. Janssen, DCMR Milieudienst Rijnmond
- Ir. H. van der Veen, Inspectie Milieuhygiëne
- Ir. G. Laheij, RIVM Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- Ing. A.W. Peters, Ministerie van V&W, DGG-VL

- Mw. Drs. A. Wetzter, Provincie Zuid Holland, Directie Milieu en Water
- Dhr. J.B. Krul, Technische Commissie van de Vereniging Vloeibaar Gas.
(N.B.: De twee laatstgenoemde leden zijn in een later stadium tot de BC toegetreden, per mei 2000.)

Ing. J.M. Ham van TNO-MEP was projectleider voor het gehele onderzoek, en voerde ook het secretariaat van de BC. De commissie is gedurende het project 8 maal bijeen geweest. Verder heeft gedurende het project regelmatig afstemming plaatsgevonden tussen TNO en RIVM over interpretatie van modelleringsresultaten welke vanuit toepassing van CPR-18 (het Paarse Boek) gewijzigde inzichten rond de risico's van LPG-tankstations opleverden.

2. LPG-tankstation: Uitgangspunten fysieke situatie

Voor de afstandsnormering rond LPG-tankstations is het gewenst om een ‘karakteristiek’ (d.w.z. voor het risico in kwantitatieve zin representatief) tankstation te definiëren, waarvan diverse aspecten als voldoende representatief gelden voor LPG tankstations in Nederland. De aspecten waar het om gaat zijn onder andere:

- Fysieke uitvoering: welke relevante LPG-onderdelen zijn er, en hoe zijn die gelegen?
- Fysieke omgeving: welke ruimtelijke omgeving (qua type) treft men rond LPG-tankstations aan?
- Hoe groot is de omzet aan LPG van een karakteristiek station? Dit bepaalt immers de frequentie van bevoorrading door een tankauto en van de aanwezigheid van tankende personenauto’s.
- Uitvoering van de tankauto’s: wat is de beladingscapaciteit en welke veiligheidsvoorzieningen en procedures zijn voor de tankauto van kracht?

De belangrijkste vraag die in het kader van dit onderzoek gesteld moet worden is of er in de periode tussen de LPG Integraal Studie (1983), respectievelijk het van kracht worden van het Besluit LPG-tankstations (1988) en heden belangrijke wijzigingen in de situaties rond LPG-tankstations zijn opgetreden die van invloed kunnen zijn op de uitvoering of de resultaten van een kwantitatieve risico-analyse.

2.1 Uitvoering van de inventarisatie

Om het huidige LPG-tankstation te kunnen beschrijven, zijn de volgende bronnen gehanteerd:

- a. De definitie van het LPG-tankstation en de tankauto uit de LPG Integraal Studie (1983) en uit het Besluit LPG Tankstations is beschreven en vervolgens is nagegaan welke aanvullende maatregelen en voorzieningen sindsdien zijn gerealiseerd.
- b. Met vertegenwoordigers van de LPG-leverende bedrijfstak, vertegenwoordigd in (de Technische Commissie van) de Vereniging Vloeibaar Gas, zijn deze uitgangspunten besproken en nader geactualiseerd.
- c. Informatie is verzameld over de ligging en doorzet van circa 360 tankstations welke door de twee grootste LPG-leveranciers in Nederland worden beleverd. Deze tankstations zijn gelegen in de provincies Gelderland en Zuid-Holland. Later is, in het kader van het tweede aanvullende onderzoek, een overzicht beschikbaar gekomen van alle (bijna 1500) LPG-tankstations in Nederland van de twee maatschappijen. De hierna te bespreken statistische conclusies zijn op deze laatste populatie gebaseerd.

- d. In januari 1999 zijn circa vijftig LPG-tankstations bezocht uit de eerder genoemde 360 in Gelderland en Zuid Holland, en zijn gegevens verzameld die voor de uit te voeren risico-analyse van belang zijn. Om een representatief beeld te krijgen, zijn in de steekproef stations opgenomen binnen de bebouwde kom, in buitengebied en langs de snelweg. Het was door de bereidwillige bemiddeling van de LPG-leveranciers dat een goede steekproef van te bezoeken stations werd samengesteld en essentiële gegevens over de individuele stations beschikbaar kwamen.
- e. De uitgangspunten zijn vervolgens aan de Begeleidingscommissie van het project gerapporteerd, waarna een definitie van het “Referentie LPG-tankstation” kon worden opgesteld.

In dit hoofdstuk zijn alleen de belangrijkste waarnemingen en conclusies beschreven die tot de definitie van het referentie-station hebben bijgedragen. De diverse aspecten zijn in meer detail verwerkt in tussenrapportages die gedurende het onderzoek in de Begeleidingscommissie zijn besproken. Deze rapportages zijn in Bijlage 2 van dit rapport opgenomen. Daar wordt ook ingegaan op de representativiteit van zowel de steekproef van statistische informatie als de steekproef van bezochte stations. Deze representativiteit is vooral een statistische. Zoals uit het hierna volgende blijkt, zijn er tussen tankstations onderling grote verschillen, zowel in doorzet als in de geometrische inrichting van het station en zijn ligging in de omgeving.

2.2 Conclusies uit de inventarisatie

De details van de inventarisatie van (technische) uitgangspunten zijn opgenomen in de Bijlagen bij dit rapport. De belangrijkste conclusies zijn onderstaand samengevat:

2.2.1 Technische ontwikkelingen sinds 1988

Het was niet eenvoudig om precies te traceren wanneer en welke technische voorzieningen op tankstations en aan tankauto's zijn aangebracht sedert de uitvoering van de LPG Integraal Studie, welke als het startpunt van dit onderzoek was gekozen. Voorafgaand aan de LPG Integraal Studie was een LPG-tankstation gedefinieerd door de Inspectie Milieuhygiëne van Zuid-Holland, in het zogenaamde Interimstandpunt (1978). Na diepgaander bestuderen van aanvullende studies en overleg met de TC-VVG bleek dat in de risico-berekeningen welke ten grondslag lagen aan het Besluit LPG-tankstations uit 1988 reeds 'alle' aanvullende veiligheidsvoorzieningen aanwezig waren verondersteld. Geconcludeerd moet dan ook worden dat er in technische zin aan de tankstations niet essentieel iets is gewijzigd (respectievelijk verbeterd) in de achterliggende circa twaalf jaren.

2.2.1.1 LPG-tankstations

Uit de inventarisatie van gegevens van de LPG-leveranciers en uit de bezoeken aan de tankstations kunnen de volgende kerngegevens worden afgeleid:

- Er zijn in Nederland circa 2200 LPG-tankstations, die gezamenlijk ongeveer 1.4 miljoen m³ LPG omzetten (cijfers 1994-1998). Dit komt neer op een gemiddelde van 630 m³ per jaar. Tankstations langs snelwegen hebben een gemiddelde omzet van circa 1500 m³ per jaar, die in de bebouwde en buiten-gebieden circa 500 m³ per jaar (cijfers 1997). De onderlinge spreiding in omzetten is echter groot (varieert van minder dan 50 m³ per jaar tot circa 5000 m³ per jaar. Er is overigens sprake van een dalende tendens over de afgelopen jaren (zie §2.2.3).
- In het merendeel van de gevallen (circa 80%) beschikt een LPG-tankstation over één ondergrondse opslagtank met een capaciteit van 20.000 liter. Bij sommige stations (in de steekproef 1 à 2 %) treft men wel eens twee tanks aan. Ook afwijkende volumes komen voor; tanks met een capaciteit van 40.000 liter vindt men vooral bij snelweg-stations. Van de tankstations met een jaaromzet hoger dan 1000 m³ heeft 80% een opslagcapaciteit van 40 m³ of meer. De opslagtanks mogen voor maximaal 85% gevuld worden.
- De meest voorkomende situatie van afleverzuilen is één LPG-eiland met twee afleverslangen.
- Bovengrondse tanks treft men nog zeer sporadisch aan. Uit de statistiek van twee leveranciers bedraagt dit minder dan 3% van het aantal tanks in het land, welke dan meestal langs de snelweg zijn gelegen. Daarnaast treft men in circa 1.5% van de gevallen een ingeterpte tank aan. Ruim 95% is ondergronds geplaatst.

2.2.1.2 LPG-tankauto's

Aan de tankauto zijn sinds de LPG Integraal Studie een aantal voorzieningen aangebracht of gewijzigd die vooral tot doel hadden de veiligheid te vergroten en, meer specifiek, de kans op het ontstaan van een BLEVE te beperken. Het betreft hier de wegrij-alarmering, de noodstopvoorziening en de verplichting tot veiligheidskleppen voor LPG-tankauto's. De verplichting tot deze voorzieningen is opgenomen in de nationale bepalingen in de regelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, het VLG, waarin tevens de internationale regelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, het ADR, is opgenomen. Ook hiervoor is vastgesteld dat de aanwezigheid van deze voorzieningen en vereisten reeds verondersteld is in de risico-berekeningen die zijn uitgevoerd in het kader van de Integrale Nota LPG en het Besluit LPG-tankstations.

Ten aanzien van de specifieke voorzieningen voor LPG-tankauto's wordt nog opgemerkt dat de nationale verplichting in het VLG tot het voorzien van tankauto's met een veiligheidsklep, ingevolge de Europese kaderrichtlijn, per januari 1997 is

komen te vervallen. De internationale regelgeving, het ADR, staat de toepassing van veiligheidskleppen echter wel toe (ADR Randnr. 211.233).

Gezien de intentie van zowel vervoerders als van de LPG-branche, werd het aanvankelijk verantwoord geacht om er in deze risico-inventarisatie van uit te gaan dat de eerder voorgeschreven veiligheidsvoorzieningen, de veiligheidsklep inbegrepen, toegepast zouden blijven worden. Voortschrijdend inzicht heeft er echter toe geleid dat ook het toelaten van (vooral buitenlandse) tankauto's zonder deze veiligheidsklep niet langer uitgesloten mag worden geacht. Deze ontwikkeling heeft ertoe geleid dat in deze studie ook de risico-consequenties van het vervallen van de verplichting zijn bepaald.

Voor deze studie is nog wel één verschil van belang, namelijk dat de capaciteit van de tankauto's groter is geworden. In 1985 is uitgegaan van een tankauto-volume van 44 m³, tegenwoordig is een volume van 56 - 62 m³ gangbaar. Dit betekent overigens dat een tankauto tijdens één rit meerdere tankstations kan bevoorraden. Uitgaande van de capaciteit van de opslagtank op het station van 20 m³, kunnen minstens drie stations worden beladen tijdens één rit van de tankauto. Dit betekent tevens dat een tankauto vaak niet volledig vol bij een tankstation zal arriveren. Met dit aspect is in deze studie rekening gehouden.

N.B.: Op basis van recente informatie vanuit de branche van vloeibaar gas leveranciers mag worden verwacht dat in Nederland tankauto's voor LPG-transport altijd zullen zijn voorzien van veiligheidsventielen.

2.2.2 Ligging en omgeving

Ten aanzien van de ligging van de LPG-tankstations zijn twee zaken relevant: ten eerste de (al dan niet bebouwde) omgeving en ten tweede de fysieke lay-out van het tankstation zelf.

De omgevingen rond tankstations verschillen sterk, van situaties langs de snelweg waar in de wijde omgeving geen woning of andere kwetsbare bestemming aanwezig is, tot situaties waar een school binnen 50 meter afstand staat of zelfs één waar het tankstation min of meer onder een meer dan tien verdiepingen tellende woonflat is gesitueerd. Dé typische omgeving van een LPG-tankstation lijkt dus niet te bestaan. Er is niet in alle situaties expliciet gecontroleerd of de vereiste veiligheidsafstanden worden gerespecteerd. Wel is geconstateerd dat de locatie van met name het vulpunt vaak zodanig gekozen was dat rekening was gehouden met afstanden tot nabijgelegen woonobjecten.

Ook in de lay-out van het tankstation zelf treft men aanzienlijke verschillen aan. In veel situaties is het geheel van LPG-activiteiten op een kleine ruimte geconcentreerd, waarbij tank en vulpunt binnen hetzelfde perceel zijn gelegen waar ook de kiosk en de afleverzuilen staan. Er worden echter ook situaties aangetroffen waar

het vulpunt op grote afstand (150 a 200 meter) van het tankstation zelf ligt. Zulke situeringen lijken vooral te maken te hebben met de benodigde veiligheidsafstanden ten opzichte van woningbouw. De ligging van het vulpunt bepaalt ook de lokatie en geometrie van de opstelplaats van de tankauto. Deze laatste varieert van een aparte parkeerhaven nabij het tankstation, op een plaats waar normaal geen ander verkeer komt, tot parkeren langs de openbare weg waar het passerend verkeer steeds aanwezig is. Een TNO-onderzoek gerapporteerd in [7] geeft diverse mogelijke uitvoeringen van de opstelplaats, waarbij ook een range van kansen op aanrijden door overig verkeer wordt aangeduid. Voor een generiek referentie-station is deze differentiatie echter niet uitvoerbaar.

Een ook meermalen aangetroffen situatie betreft twee tankstations aan weerszijden van een weg/straat van dezelfde eigenaar. In die situaties is meestal sprake van één vulpunt en één opslagtank welke ook, via een leiding onder de straat door, het station aan de overzijde bedient. Ook voor deze aspecten moet dus geconstateerd worden dat een standaard fysieke situatie niet bestaat.

Dit laatste hoeft overigens voor de uitgangspunten van de risico-analyse geen bezwaar te zijn wanneer de veiligheidsafstanden voor de drie belangrijkste activiteiten (tankauto/vulpunt, opslagtank en afleverzuil) separaat gehandhaafd blijven. Voor een integrale, de gehele inrichting omvattende, risico-analyse zouden de onderlinge ligging en afstand wel een rol spelen. Deze zou de uitvoering van een specifieke QRA voor iedere inrichting vergen. Dit zou het overigens wel mogelijk maken om domino-effecten (incident in één onderdeel met gevolgen voor de andere) mede in de risico-analyse te beschouwen. Dat is met de gangbare aanpak niet mogelijk. Voor bijzondere (omgevings-)situaties of voor het in rekening brengen van de uitvoering en ligging van de opstelplaats van de tankauto, kan het aanbeveling verdienen om een specifieke QRA uit te (doen) voeren. In het bijzonder voor tankstations met een grote omzet kan dit nodig blijken; hierop wordt later in dit rapport uitgebreid ingegaan.

2.2.3 Omzet / doorzet

Het totaal aantal LPG-tankstations in Nederland bedraagt circa 2.200, die een totaal omzet van circa 1.4 miljoen m³ autogas per jaar hebben. Dit komt neer op een gemiddelde van 630 m³ per jaar per station. Op dit punt worden wel grote verschillen geconstateerd. Uit een bestand van totaal 360 tankstations blijkt de doorzet te variëren van 10 m³ tot ruim 5.000 m³ per jaar (cijfers 1997). Deze jaaromzet vertaalt zich direct in het aantal leveringen door de tankauto en het aantal afleveringen aan personenauto's, en dus in de daarmee samenhangende risico's. Het aantal tankauto-stortingen varieert van enkele malen per jaar tot meer dan 250 maal per jaar. Conclusie is daarom dat ook op dit aspect geen eenduidige karakteristieke situatie kan worden gedefinieerd. Wel kan uit de onderliggende informatie worden geconcludeerd dat met name de 'snelweg-stations' voor de grotere omzetten verantwoordelijk zijn.

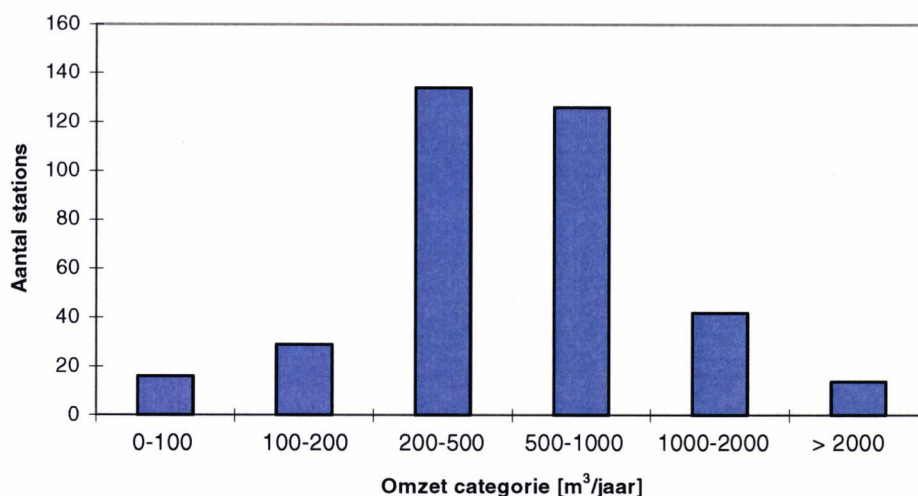
Gezien de verwachte invloed van de doorzet op het berekende risico, is in de loop van de studie besloten om de gevoeligheid voor deze parameter nader te analyseren.

Onderstaand is de verdeling van de omzet over de bestudeerde populatie van 361 stations verder toegelicht, op basis van de beschikbare informatie van de twee grootste LPG-leveranciers in de provincies Gelderland en Zuid-Holland. Aansluitend is de, uit aanvullend onderzoek afgeleide, verdeling voor heel Nederland gegeven.

De geaggregeerde verdeling voor beide bedrijven en voor beide regio's samen ziet er volgt uit (zie tabel 2.1 en figuur 2.1):

Tabel 2.1 Verdeling LPG-omzet in Gelderland en Zuid Holland (1997)

Omzet categorie [m ³ /jaar]	Aantal stations [-]	Verdeling stations [%]	Aandeel omzet [%]	Aandeel omzet [cumul. %]
1. 0 - 100	16	4,4	0,4	0,4
2. 100 - 200	29	8,0	1,8	2,2
3. 200 - 500	134	37,1	20,1	22,3
4. 500 - 1000	126	34,9	37,4	59,7
5. 1000 - 2000	42	11,6	23,9	83,6
6. > 2000	14	3,9	16,3	100,0
Totaal	361			



Figuur 2.1 Aantal tankstations per omzet-categorie (Gelderland en Zuid-Holland)

De verdeling voor heel Nederland is gegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Verdeling LPG-omzet Nederland (1998)

Omzet categorie [m ³ /jaar]	Aantal stations [-]	Verdeling stations [%]	Aandeel omzet [%]	Aandeel omzet [cumul. %]
0 - 100	88	6,1	0,8	0,8
100 - 200	173	12,0	3,5	4,3
200 - 500	619	43,0	27,8	32,1
500 - 1000	420	29,2	38,4	70,5
1000 - 2000	115	8,0	20,2	90,7
> 2000	24	1,7	9,2	100
Totaal	1439			
Geen opgave	57			
Totaal	1496			

Ten aanzien van de ligging van LPG-tankstations in relatie tot hun omgeving geldt het volgende geaggregeerde overzicht (Tabel 2.3), gebaseerd op het deel van de steekproef waarvoor deze informatie beschikbaar was (d.w.z. van één maatschappij). De cijfers laten zien dat bijna tweederde van de LPG-stations binnen de bebouwde kom is gelegen, maar dat deze vooral in de categorie van kleine tot gemiddelde omzetten worden gevonden. Voor LPG omzetten van meer dan 1000 m³/jaar treft men ruim 80% buiten de bebouwde kom vooral en langs auto(snel)wegen aan.

Tabel 2.3 Verdeling LPG-omzet per tankstation, als functie van de ligging / omgeving; tussen haakjes staan steeds de procentuele bijdragen binnen de betreffende omzetcategorie (n.b.: informatie van één leverancier).

Omzet categorie [m ³ /jaar]	Bebouwde kom	Buiten bebouwde kom	Autoweg	Snelweg	Totaal
0 - 100	28 (78%)	7 (19%)	1 (3%)	--	36 (5,4%)
100 - 200	61 (80%)	9 (12%)	6 (8%)	--	76 (11,4%)
200 - 500	205 (69%)	43 (14%)	38 (13%)	11 (4%)	297 (44,4%)
500 - 1000	115 (64%)	25 (14%)	20 (11%)	19 (11%)	179 (26,8%)
1000 - 2000	14 (23%)	1 (2%)	9 (15%)	37 (61%)	61 (9,1%)
> 2000	1 (5%)	--	1 (5%)	18 (90%)	20 (3,0%)
Totaal	424 (63%)	85 (13%)	75 (11%)	85 (13%)	669

Conclusies die uit de bovenstaande tabellen zijn te trekken zijn ondermeer:

- De verdeling van tankstations in omzetcategoriën vertoont tussen Gelderland & Zuid-Holland ten opzichte van heel Nederland enige verschuiving. Voor het overzicht van Nederland geldt dat het aandeel kleinere omzetten ($< 500 \text{ m}^3/\text{jaar}$) iets hoger ligt dan voor de twee genoemde provincies. Niet zeker is of dit veroorzaakt wordt door regionale verschillen of door verschil in het peiljaar (1997 versus 1998). De laatste oorzaak is vrij waarschijnlijk; in de laatste jaren heeft zich in heel Nederland een geleidelijke daling van de verkoop van autogas voorgedaan. Recente fiscale maatregelen ter stimulering van LPG-gebruik in het zakelijk verkeer zullen mogelijk weer tot een stijging van de omzet gaan leiden.
- Het merendeel van de LPG-tankstations (72 %) heeft een omzet tussen 200 en 1000 m^3 per jaar. Dit percentage geldt voor beide steekproeven.
- Ruim 40 % van de totaal omzet valt in de categorie $> 1000 \text{ m}^3/\text{jaar}$; dit omvat echter slechts circa 15% van de stations (Gld&ZH, 1997). Uit aanduidingen van de ligging van deze ‘grote’ stations blijkt dat dit vooral “snelwegstations” zijn. Voor de situatie voor heel Nederland (1998) is het aandeel stations met een omzet hoger dan $1000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ bijna 10% en valt 30% van de totale verkoop in deze omzet-categorie. Ook dit duidt op een verlaging van de omzet over-all.
- De mediane omzet (d.i. de omzet waar de helft van de stations beneden zit, en de andere helft erboven) was in 1997 circa $500 \text{ m}^3/\text{jaar}$: 49.5% valt in de categorie tot $500 \text{ m}^3/\text{jaar}$. In 1998 ligt de mediaan iets lager: circa $420 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Van alle tankstations heeft 61% een omzet lager dan 500 m^3 per jaar.
- Om er bij het vaststellen van de veiligheidsafstanden voor te zorgen dat het merendeel van de LPG-tankstations binnen de rekencriteria zal vallen, kan het aanbeveling verdienen om niet de mediane (50-percentiel) omzet als referentie te definiëren, maar bijvoorbeeld het 80- of 90-percentiel. Daarmee vallen ook de grotere stations binnen het reken criterium, en zullen alleen de écht grote (merendeels snelweg) stations buiten deze beoordeling vallen. Uit de cumulatieve verdeling over de 361 stations in Gld&ZH blijkt:
 - de 50-percentiel-omzet bedraagt: $500 \text{ m}^3/\text{jaar}$
 - de 80-percentiel-omzet bedraagt: $880 \text{ m}^3/\text{jaar}$
 - de 90-percentiel-omzet bedraagt: $1230 \text{ m}^3/\text{jaar}$Ook kan worden overwogen om in de veiligheidsafstanden te differentiëren naar de omzet ¹).
- Van de 36 tankstations die met hun omzet boven het 90-percentiel vallen, blijken er 27 langs rijkswegen te liggen, dus 75 % (Gld&ZH). Voor de situatie voor heel Nederland is de indicatie van ligging door één leverancier opgegeven. Daarbij blijkt dat van de 81 tankstations met een omzet hoger dan $1000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ er 65 langs een snelweg of een autoweg liggen, dus 80%. Volgens opgave liggen er 15 binnen, dan wel aan de rand van de bebouwde kom, dus 18%.

¹ Inmiddels is, naar aanleiding van dit onderzoek, door Ministerie van VROM besloten om de mogelijkheid te onderzoeken om de veiligheidsafstanden te differentiëren voor vier omzet-categoriën: $< 500 \text{ m}^3$, $500 - 1000 \text{ m}^3$, $1000 - 1500 \text{ m}^3$ en $> 1500 \text{ m}^3$ per jaar.

Bij het bovenstaande moet opgemerkt worden dat de cijfers betrekking hebben op de door de leveranciers opgegeven bevoorradingen. De door de exploitant opgegeven omzet van het tankstation kan hier iets van afwijken (bijvoorbeeld vol reservoir aan begin van het jaar en (bijna) leeg reservoir aan eind van het jaar), maar grote afwijkingen zal dit niet betekenen.

Verder wordt opgemerkt dat er naast de twee LPG-leveranciers waarvan de informatie is verkregen, nog ongeveer tien andere leveranciers van autogas zijn. Deze voorzien tezamen ongeveer 30% van de markt. Detailinformatie over deze leveranciers was niet beschikbaar, maar verwacht mag worden dat deze een relatief groter aandeel van hun omzet leveren aan kleinere tankstations en zogenaamde witte pompen die vaak gelegen zijn in woonomgevingen.

Tenslotte is in de eindfase van dit onderzoek informatie verkregen over het verloop van de omzet aan autogas over de afgelopen 10 jaar. Dit cijfermateriaal kon geen essentiële rol meer spelen in dit onderzoek, maar is voor een trend-indicatie wellicht interessant en is daarom in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2.4 *Trend van LPG-verkoop (autogas) over de periode 1990 – 2000 (opgave VVG)*

Jaar	Omzet [1000 ton]	Omzet [1000 m ³]	Trend (1990 = 100)
1990	927,5	1696	100,0
1991	920,5	1683	99,2
1992	922,7	1687	99,5
1993	877,5	1604	94,6
1994	777,8	1422	83,8
1995	755,5	1381	81,4
1996	734,0	1342	79,1
1997	732,9	1340	79,0
1998	724,9	1325	78,1
1999	646,1	1181	69,6
2000	570,4	1043	61,5

Uit dit overzicht blijkt dat gedurende de afgelopen elf jaar de verkoop van autogas met ongeveer 40% is gedaald. Dit lijkt te maken te hebben met de keuze van veel automobilisten om voor het zakelijk verkeer op diesel te gaan rijden. Recente fiscale maatregelen om het gebruik van autogas te stimuleren worden in de trendontwikkeling nog niet geconstateerd.

2.2.4 Beschrijving van het referentie LPG-tankstation voor de QRA

De inzet van deze studie is het evalueren van de veiligheidsafstanden rond de drie relevante LPG-activiteiten: het vulpunt plus tankauto, het stationaire reservoir en de afleverzuil. Hiertoe wordt een referentie tankstation beschreven dat op basis van de uitgevoerde inventarisatie representatief kan worden geacht voor een groot deel van de in Nederland aangetroffen stations. Een analyse van de spreiding in de conclusies, welke vooral door de spreiding in omzetten wordt veroorzaakt, zal bij de QRA worden gegeven (hoofdstuk 5). Uit de QRA-resultaten kan ook (globaal) de invloed van een hogere of lagere omzet worden afgeleid.

Voor de toepassing van veiligheidsafstanden, mede in het kader van ruimtelijke ordening, zijn tankstations in of nabij de bebouwde kom het meest kritisch. Het in deze studie te analyseren referentie-station wordt daarom gebaseerd op de gemiddelde gegevens zoals aangetroffen voor bebouwde kom situaties in de uitgebreide inventarisatie. Dit resulteert dan in de volgende uitgangspunten voor de definitie van het tankstation:

- Het station omvat één ondergrondse opslagtank voor LPG met een capaciteit van 20.000 liter, één vulpunt voor de tankauto en één afleverzuil voor personenauto's.
- Aangezien aparte risico-afstanden worden berekend voor de drie afzonderlijke LPG-onderdelen, speelt hun onderlinge ligging en afstand geen essentiële rol bij de uitkomsten van de QRA.
- De LPG-omzet bedraagt 500 m³ per jaar. Dit komt overeen met circa 35 stortingen vanuit de tankauto, welke daarmee ongeveer 17.5 uur per jaar op het tankstation aanwezig zal zijn.
- De tankauto heeft een capaciteit van 60 m³. Voor de berekeningen wordt verondersteld dat deze bij aankomst in 1/3 van de gevallen 100% vol zal zijn, in 1/3 van de gevallen 67% vol en in 1/3 van de gevallen 33% vol. De uitvoering van de tankauto, alsmede de daarmee uitgevoerde handelingen bij het tankstation, voldoet aan de richtlijnen van publicatie CPR 8-2.
- Voor de technische uitvoering van de verschillende onderdelen zijn geen essentiële veranderingen aangetroffen ten opzichte van die voor berekening van de externe risico's als standaard hebben gegolden voor het Besluit LPG-Tankstations [4] en de uitvoering van de sanering in 1988 [3]. De in de QRA beschouwde ongevalsscenario's zijn daarom op dezelfde onderdelen gericht, waarbij wel nieuwe inzichten en afspraken voor modellering en faalfrequenties zijn gehanteerd zoals vastgelegd in het Paarse Boek [5].
- In de inventarisatie onder de gasleveranciers van de LPG-praktijk in Nederland is erop gewezen dat in de laatste jaren veel aandacht is besteed aan de opzet en handhaving van een veiligheidsmanagementsysteem. Dit omvat ondermeer een gedegen, en regelmatig terugkerende training van tankauto-chauffeurs en ook calamiteiten-oefeningen rond tankstations. Ook moet iedere transporteur van gevaarlijke goederen sinds het jaar 2000 een veiligheidsadviseur in dienst hebben. Er is echter onvoldoende statistische basis beschikbaar om deze manage-

mentfactoren in een kwantitatieve credit in de faalkansen te vertalen. Dit is ook gebleken bij de ontwikkeling van het Paarse Boek (paragraaf 3.A.2.1 van [5]).

2.3 Samenvatting van de verschillen

In deze paragraaf worden de uit de inventarisatie gebleken verschillen tussen de uitgangspunten van de studies in de 80-er jaren en die van heden nog eens kort opgesomd:

Fysieke situatie:

- In de lay-out van LPG-tankstations is in het achterliggende jaren niets wezenlijk veranderd. Tussen stations onderling bestaan wel grote verschillen in lay-out, wat ook invloed heeft op de opstelplaats van de tankauto. Verschillen in technische uitvoering van voor de externe veiligheid essentiële equipment is er nauwelijks.
- Belangrijkste wijziging aan de tankauto is dat deze in de loop der tijd groter is geworden, waardoor meer stations tijdens één rit bevoorraad kunnen worden. Dat laatste was in het verleden ook wel het geval, maar dat werd eerder niet expliciet in de QRA verdisconteerd.
- Er moet voor de toekomst rekening mee worden gehouden dat, door wijzigingen in regelgeving, er tankauto's zullen zijn die niet meer zijn voorzien van overdruk-veiligheidsventielen.

Omzet en aanwezigheid.

- In de eerdere LPG-studies is uitgegaan van een omzet van 500 ton (ofwel 1000 m³) LPG per jaar, per tankstation. Dit resulteerde in 100 leveringen van LPG per tankauto per jaar. Nu vinden we, voor tankstations binnen de bebouwde kom, een gemiddelde omzet van 500 m³/jaar en een beleveringsfrequentie van gemiddeld 35 maal per jaar. De gemiddelde omzet van tankstations langs de snelweg bedraagt circa 1500 m³/jaar. Ook hier geldt dus dat de verschillen tussen de huidige stations groter zijn, dan die tussen een gemiddeld station van vroeger en van nu. In de achterliggende jaren (1995 - 2000) is er wel sprake geweest van een geleidelijke, maar gestage, terugloop in de omzet van autogas. Deze tendens wordt mogelijk omgebogen door de onlangs aangekondigde fiscale maatregelen om het gebruik van autogas aantrekkelijker te maken.
- Het gemiddeld aantal bevoorradings van de ondergrondse opslagtank bedraagt 35 per jaar. In de eerdere studies zijn verschillende waarden gevonden, zowel 50 maal als 100 maal per jaar. Met name voor vaststelling van de BLEVE-frequentie voor de tankauto is het laatste getal gehanteerd [7].

3. Uitvoering kwantitatieve risico-analyse

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten en resultaten gegeven van de risicoberekeningen rond het gedefinieerde referentie LPG-tankstation. In overeenstemming met de gangbare praktijk voor de uitvoering van kwantitatieve risico-analyses rond stationaire inrichtingen, wordt voor de berekening van de risico's rond LPG-tankstations uitgegaan van de aanbevelingen en richtlijnen in de 'Guidelines for Quantitative Risk Assessment' (het zgn. Paarse Boek, CPR-18E [5]), de IPO-richtlijn A-73 [12] en de Notities van de CPR-RE - 95.1 [9]. Faalscenarios en faalkansen voor LPG-tankstations hierin wijken op enkele onderdelen af van de uitgangspunten van de LPG Integraal Studie [1] en de Integrale Nota LPG [2]. Deze verschillen en hun implicaties op het berekende resultaat worden ook in dit hoofdstuk beschreven.

Hoofdstuk 3 geeft achtereenvolgens een overzicht of beschrijving van:

- de ongevalsscenario's (Loss of Containment situations) die bij LPG-tankstations relevant zijn voor de risico's voor de omgeving;
- de effecten, de effect- en schade-modellering en de resulterende effectafstanden die voor die LoC-situaties worden beschouwd, respectievelijk gevonden;
- de kansen / frequenties die aan de betreffende LoC-situaties worden toegekend;
- de resultaten van de berekeningen voor plaatsgebonden risico rond de onderdelen vulpunt, opslagreservoir en afleverzuil;
- een opsomming van verschillen in uitgangspunten en modellering die in deze studie zijn gebruikt ten opzichte van studies uit het verleden.

3.1 Loss of Containment situations

Voor een LPG-tankstation worden de volgende loss of containment situaties, welke uit de aanbevelingen van het Paarse Boek volgen, relevant geacht:

- LPG-vulpunt / tankauto:
 - breuk van de losslang (diameter 3 inch, 75 mm)
 - instantaan falen van de tankauto, met momentaan vrijkomen van de inhoud
 - BLEVE van de tankauto
 - breuk van de grootste aansluiting aan de tank
- Stationair reservoir (ondergrondse opslagtank)
 - instantaan falen van de tank, met momentaan vrijkomen van de inhoud
 - zodanige lekkage dat de tank in 10 minuten leegstroomt
 - uitstroming uit een gat van 10 mm diameter
 - breuk van de vloeistofleiding (diameter 1.25", 30 mm)
- Afleverzuil
 - breuk van de afleverleiding, van opslagtank naar afleverzuil (diameter 1.25", 30 mm)

Overige scenarios (kleinere lekken in leidingen e.d.) blijken, overeenkomstig de berekeningen in de LPG Integraal Studie, tot gevolgafstanden te leiden die voor het externe risico niet relevant zijn.

3.2 Effecten en effectmodellering

In deze paragraaf worden de effecten van het vrijkomen van een brandbaar tot vloeistof verdicht gas beschreven.

3.2.1 Eigenschappen van LPG

LPG (Liquified Petroleum Gas, of autogas) is een mengsel van propaan en butaan, waarbij de mengverhouding afhankelijk van het seizoen kan variëren tussen 70:30 en 30:70. De twee bestanddelen verschillen in een aantal van hun fysische eigenschappen, zoals dampdichtheid, kooktemperatuur, dampspanning, etc.. Enkele waarden worden in onderstaande tabel gegeven:

Tabel 3.1 Fysische eigenschappen van propaan en butaan

Eigenschap	Eenheid	Propaan	Butaan
Molecuulformule	--	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Kookpunt	°C	-42	-0,5
Dampspanning bij 9 °C	bar	6,2	1,5
Dampdichtheid bij 9 °C	kg/m ³	1,91	2,51
Vloeistofdichtheid bij 9 °C	kg/m ³	518	591
Explosiegrenzen LEL / UEL	vol%	2,1 - 9,5	1,9 - 8,4
Adiabatische verdamping bij 9 °C	vol%	28,3	5,9
Percentage in explosieve wolk bij 9 °C	vol%	76,3	11,8

Toelichting en commentaar:

1. In de meeste handboeken worden stofeigenschappen gegeven bij een temperatuur van 20 °C. Hier worden ze vermeld bij 9 °C omdat die temperatuur (282 K) volgens [5] de in risico-analyses aan te houden (gemiddelde) omgevingstemperatuur is in Nederland.
2. In deze studie is gebleken dat er soms verwisselingen optreden in de systeem-inhouden van LPG-installaties, welke meestal worden uitgedrukt in m³ (volume) maar soms ook in tonnen (massa). In dit rapport is steeds de volumemaat [m³] gehanteerd. 1 m³ vloeibaar propaan weegt 518 kg (ruim 0.5 ton), en één ton propaan heeft dus een volume van bijna 2 m³. Bij verdamping kan het dampvolume van propaan ongeveer 250 maal zo groot worden als het oorspronkelijke vloeistofvolume.

3. Vanwege het feit dat de mengverhouding van propaan / butaan in autogas kan variëren en de eigenschappen die effecten bij ontsnapping beïnvloeden daarvan mede afhankelijk zijn, is het moeilijk om een éénduidige relatie tussen deze eigenschappen en de momentaan heersende temperatuur te berekenen. Om die reden wordt voor LPG gewoonlijk propaan als de karakteristieke stof gekozen. Vanwege de hogere vluchtigheid van deze component mag deze vereenvoudiging als een conservatieve benadering worden beschouwd voor de mogelijke effecten.
4. In de studie zijn discrepanties ontmoet met betrekking tot de in literatuur en databases gevonden waarden voor de explosiegrenzen voor propaan en butaan. Voor C_3H_8 varieerden de waarden van 1.7 tot 2.1 vol%, voor C_4H_{10} van 1.3 tot 1.9 vol%. De laagste waarden werden ondermeer aangetroffen in het Chemiekaartenboek, welke deze grenzen aanbeveelt sinds omstreeks 1994. In de database DIPPR en andere Amerikaanse literatuur worden daarentegen de hogere waarden gevonden. Een oorzaak van de gevonden verschillen is de keuze van de gehanteerde norm voor het vaststellen van de explosiegrenzen (bijv. DIN 51649, ASTM E 681085, TGL 30 020/05-12.84); zie ook bijlage 4 bij dit rapport. Omdat in de door het Parse Boek aanbevolen bronnen voor stofparameters uitgegaan wordt van 2.1 vol% is deze waarde ook in deze studie gebruikt. Deze waarde wordt ook aanbevolen in versie 1.3 van SERIDA. Voor de voorspelling van de grootte van effectgebieden van een driftende, vertraagd ontstoken gaswolk is de keuze van met name de LEL een parameter met grote invloed.
5. De adiabatise verdamping geeft het percentage van de vrijkomende vloeistof die, door de warmteinhoud boven het kookpunt, instantaan zal verdampen. Dit ligt voor propaan veel hoger dan voor butaan, als gevolg van het grotere verschil tussen kookpunt en opslagtemperatuur; dit verschil bedraagt voor propaan circa 50 °C en voor butaan circa 10 °C. De werkelijke verdampingsfractie zal hoger liggen dan de gegeven waarden omdat de vorming van aërosol ook tot verdamping van druppeltjes zal leiden. In [5, tabel 4.8] zijn relaties gegeven voor de berekening van de inhoud van de instantane gaswolk op basis van de adiabatise flash-verdamping. Deze relaties zijn ook in dit onderzoek gebruikt

3.2.2 Uitstroming

Uitstroming van een tot vloeistof verdicht gas, zoals LPG, wordt op drie manieren gemodelleerd. Voor berekening van de effecten is gebruik gemaakt van de modellen in het Gele Boek [6].

- Instantaan vrijkomen: Hierbij wordt verondersteld dat de inhoud van een tank of container in 'nul' tijd vrijkomt. Oorzaken voor zo'n incident kunnen zijn inwerking van extern geweld (aanrijding, uit een hijskraan vallend voorwerp, etc.), een externe brand die tot verhoging van de in de tank heersende druk leidt of verzwakking van de tankwand veroorzaakt of een reactie binnen het vat die tot drukverhoging tot boven de ontwerpcondities leidt. Dit laatste is vooral bij pro-

cesvaten van belang, en minder bij opslagreservoirs of transporteenheden.

Daarnaast kan verzwakking van de container door corrosie op zeker moment tot instantaan falen leiden.

- **Uitstroming in 10 minuten:** Dit is een in CPR-verband vastgesteld karakteristiek lek-scenario dat een ‘groot lek van een vat’ (een scheur) veronderstelt. De diameter van het lek is hierbij niet in detail uitgewerkt: het is zodanig groot dat de tank binnen 10 minuten leegloopt.
- **Semi-continu vrijkomen:** Hierbij is sprake van een gat in de wand van een reservoir of van een breuk of lek van een pijpleiding. De uitstroming duurt enige tijd, afhankelijk van de mogelijkheden tot stoppen van het lek en van de snelheid van reactie. Aan de uitstroomduur (en dus hoeveelheid) kunnen ook beperkingen worden gesteld door geïnstalleerde voorzieningen (‘systeem-reacties’), zoals doorstroombegezers of terugslagkleppen in leidingen. Binnen risico-analyses wordt voor semi-continue uitstromingen standaard een maximum duur van 30 minuten gehanteerd.

Uitstroming uit een vat wordt gemodelleerd als uitstroming van een vloeistof, rekening houdend met de systeemdruk (dampspanning plus vloeistofhoogte). Wanneer de uitstroming via een pijp plaatsvindt (of uit een pijp die aan een vat is verbonden) wordt met twee-fasenstroming gerekend. Tijdens het uitstromen vindt dan reeds verdamping van de vloeistof plaats. Door de volume-expansie neemt de weerstand voor transport toe, waardoor het effectieve uitstromingsdebiet afneemt. Dit effect speelt reeds een significante rol bij een pijp-aansluiting met een lengte van enkele tientallen centimeters.

3.2.3 Verdamping

Bij de uitstroming van tot vloeistof verdichte gassen, zoals LPG, treedt altijd een heftige verdamping van de vloeistof op. Onderscheid wordt gemaakt in:

- **Flash-verdamping:** De hoeveelheid warmte die de vloeistof bevat boven zijn kookpunt, komt beschikbaar als verdampingswarmte. Deze hoeveelheid is voor propaan bij 9 °C voldoende om bijna 30% van de uitstroming onmiddellijk in damp te laten overgaan.
- **Aerosol-verdamping:** Tijdens het vrijkomen van tot vloeistof verdicht gas wordt een groot deel van de vloeistof in kleinere of grotere druppels opgebroken. Door warmteuitwisseling met de omgeving (lucht, bodem) zal een aanzienlijk deel van deze aerosol verdampen en zich als gaswolk in de atmosfeer verspreiden.
- **Plasverdamping:** Het gedeelte van de uitgestroomde vloeistof dat niet direct verdampt zal neervallen of uitregenen op de grond en daar een plas vormen. De temperatuur van de vloeistof wordt verondersteld het kookpunt van de uitgestroomde stof te zijn: voor propaan - 42°C. Door warmte-ontrekking aan de ondergrond en door instraling van zonnewarmte op de plas zal deze verdampen en een gaswolk vormen.

De drie genoemde verdampingvormen dragen ieder bij tot de vorming van een LPG-gaswolk in de atmosfeer. De damp-bronsterkte wordt als volgt gemodelleerd:

- Instantaan vrijkomen: Wanneer er sprake is van instantaan falen van een vat, wordt verondersteld dat de drie verdampingstermen in het eerste stadium van de verspreiding tezamen aan de verdamping bijdragen. Volgens het Paarse Boek (table 4.8) zal de verdampingsfractie 82 % bedragen.
- Semi-continu vrijkomen: Bij lekkage van een vat of breuk van een leiding wordt verondersteld dat de volledige uitstroming onmiddellijk in dampvorm overgaat en zich in de atmosfeer verspreidt. De bronterm is dan dus gelijk aan het uitstromingsdebiet. Hierbij wordt de uitstroming als een horizontale jet gemodelleerd.

3.2.4 Vervolggebeurtenissen

Bij het vrijkomen van LPG zijn in beginsel de volgende vervolggebeurtenissen mogelijk die tot gevaar voor de omgeving kunnen leiden:

- Instantaan vrijgekomen LPG wordt direct ontstoken en vormt een vuurbal. Dit fenomeen wordt ook wel geassocieerd met het begrip 'BLEVE'. Op dit begrip wordt in paragraaf 3.3.1 apart ingegaan. Personen aanwezig binnen (de projectie van) de vuurbal worden verondersteld dodelijk getroffen te worden door direct vlamcontact. Erbuiten kunnen zij overlijden door blootstelling aan warmtestraling, waarvan de intensiteit afneemt met de afstand.
- Een instantaan vrijgekomen LPG gaswolk wordt (nagenoeg) direct ontstoken. Dit leidt tot een instantane flash fire (steekvlam) rondom de ongevalsplaats; binnen dit gebied worden aanwezigen dodelijk getroffen. De flash wordt gemodelleerd als een cirkelvormige wolk waarin voldoende lucht is ingemengd om samen met de vrijgekomen LPG een brandbaar gasmengsel te vormen. Bovendien kunnen, afhankelijk van de mate van opsluiting van de wolk, explosie-overdrukken optreden die door directe of indirecte gevolgen (instorten van woningen) tot dodelijk letsel kunnen leiden. Aangezien deze vervolggebeurtenis als een nieuw type scenario is geïntroduceerd welk niet in de LPG Integraal Studie is beschouwd, wordt op de modellering hiervan apart dieper ingegaan in paragraaf 3.3.2.
- De LPG gaswolk (instantaan of semi-continue vrijgekomen) verspreidt zich en wordt vertraagd ontstoken. LPG-damp gedraagt zich als een zwaar gas, en zal zich dus laag over de grond verspreiden. Met dispersiemodellen worden de gasconcentraties in de atmosfeer berekend. Binnen de afmetingen van de gaswolk waar de onder-explosiegrens wordt overschreden, worden aanwezigen dodelijk getroffen. In een cirkel rond het ontstekingspunt kunnen bovendien explosie-overdrukken optreden die door primaire of secundaire effecten dodelijk letsel kunnen veroorzaken. De hoogte van de overdrukken wordt bepaald door de hoeveelheid brandbare damp in het explosieve gebied en de mate van opsluiting van de wolk binnen of tussen obstakels. Overeenkomstig de aanbevelingen in het Paarse Boek wordt verondersteld dat de explosieve massa wordt bepaald

- door de volledige inhoud van de gaswolk waar de concentratie hoger is dan de LEL, en wordt voor de fractie opsluiting een waarde van 0.08 aangehouden.
- Een semi-continue LPG-uitstroming wordt direct ontstoken. De LPG vormt een fakkel waarbinnen direct vlamcontact tot dodelijk letsel leidt, en waarbuiten letsel door warmtestraling kan optreden. Het model dat is gebruikt voor de berekening van de fakkelafmetingen (lengte en breedte) en van de warmtestralingsintensiteit daaromheen is ontleend aan de LPG-Integraal studie [1]. In het Gele Boek [6] is geen adequaat model beschikbaar voor de berekening van fakkels van vloeistofuitstromingen.
 - De LPG gaswolk wordt niet ontstoken. In dat geval is van gevolgen voor personen geen sprake. In het Paarse Boek wordt hiervoor aanbevolen om voor brandbare stoffen altijd ontsteking te veronderstellen, hetzij direct, hetzij vertraagd. De totale kans op ontsteking wordt dus gelijk gesteld aan $p_{ign.} = 1$. Aangezien de onderbouwing van deze (conservatieve) keuze niet geheel vaststaat, wordt aanbevolen om de herkomst na te gaan en zonodig in het Paarse Boek aan te passen. Vooralsnog is de beleidskeuze volgens het Paarse Boek gevolgd.

3.3 Toelichting bij (modellering van) specifieke fenomenen

3.3.1 Het fenomeen BLEVE

De term BLEVE is het acroniem voor Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Onder een 'boiling liquid' (kokende vloeistof) wordt hierbij verstaan een stof die bij de heersende temperatuur onder atmosferische druk gasvormig zou zijn, maar onder druk vloeibaar wordt gehouden. Op deze wijze wordt ook LPG in vloeibare toestand bewaard.

Het fenomeen BLEVE is de expansie van zo'n kokende vloeistof wanneer (plotseling) de container waarin ze zich bevindt, faalt (breekt, openscheurt). De vloeistof expandeert instantaan (zie ook 3.2.3, flash verdamping), onder vorming van druk-effecten. Wanneer de kokende vloeistof een brandbaar materiaal betreft, en er is direct een ontstekingsbron aanwezig, dan vindt de verbranding plaats in de vorm van een vuurbal.

Vaak wordt deze vuurbal een 'BLEVE' genoemd. Dit is strikt genomen niet correct. Het verschijnsel BLEVE heeft betrekking op de manier van vrijkomen, en niet op de ontbrandingsvorm die daar eventueel op volgt. Een BLEVE kan ook voorkomen bij stoffen die volstrekt onbrandbaar zijn, zoals chloor.

Oorzaken van een BLEVE kunnen zijn:

- Het betrokken raken van een tank in een brand. Vooral de aanstraling door warmte van het dampvolume van het vat is hierbij kritisch. Het wandmateriaal zal door de hitte kunnen verzwakken waardoor de tank plotseling openbarst. Wordt alleen de vloeistofhoudende deel aangestraald, dan is de warmteafvoer via die vloeistof meestal voldoende om (snel) falen van het vat te voorkomen, of

- zeker langere tijd uit te stellen. Alleen indien het geïnstalleerde veiligheidsventiel weigert open te gaan of de brand lang aanhoudt, zal de druk tot boven de ontwerpdruk van het vat kunnen stijgen en een BLEVE veroorzaken.
- Het getroffen worden van een tank door extern ‘geweld’: een aanrijding of een vallend voorwerp. Hierbij is dus van brandeffecten (aanvankelijk) geen sprake.

Los van de discussie of een BLEVE mogelijk wordt geacht voor een ondergrondse tank, zou het vervolgeffect vuurbal voor elke vorm van instantaan falen van een vat met brandbaar, tot vloeistof verdicht gas, denkbaar zijn. In deze studie echter wordt aan de ondergrondse plaatsing van de tank een credit toegekend die de vorming van de vuurbal uitsluit.

Bij de berekeningen voor een BLEVE van de tankauto is een barstdruk van het vat verondersteld van 20 bar. Dit is iets hoger dan de afsteldruk van de veiligheidskleppen. Bij verzwakking van de tankwand door directe externe warmte-aanstraling kan de barstdruk echter aanzienlijk lager liggen.

3.3.2 Het fenomeen Instantane Flash fire

Dit effect wordt verondersteld op te treden bij het (nagenoeg) instantaan vrijkomen van een brandbaar tot vloeistof verdicht gas, zoals LPG, waarbij ontsteking niet resulteert in een vuurbal maar waarbij de ontsteking wel optreedt voordat de wolk onder invloed van atmosferische dispersie in benedenwindse richting verspreidt. Dit effect is te beschouwen als een vrij nieuw te beschouwen fenomeen, waarover weinig (gevalideerde) modellering is gevonden. Op basis van expert opinies en van wat hierover in hoofdstuk 2.5.3.8 van het Gele Boek [6] wordt gegeven, is de volgende modellering verondersteld (zie ook bijlage 2.5 en een RIVM-notitie aan de CPR-RE [13]):

- De LPG komt instantaan vrij en expandeert vervolgens onder invloed van de druk en de adiabatische flash. Hierbij treedt ook direct verdamping op, in dit geval circa 80 % van de vrijgekomen hoeveelheid.
- Bij de expansie treedt ook inmenging van lucht op. Er bestaan geen goede relaties om te berekenen hoeveel lucht dit zal zijn, behalve die welke gebaseerd zijn op thermodynamica waarmee berekend kan worden hoeveel (warmte uit) lucht nodig is om de vrijgekomen vloeistof (aerosol) te verdampen. Echter, om een brandeffect te kunnen verkrijgen is minstens verdunning tot beneden de boven-explosiegrens (UEL) nodig. De UEL bedraagt voor propaan 9.5 vol%, zodat een ruim 10 maal zo groot luchtvolume moet worden ingemengd.
- Vervolgens wordt aangenomen dat het ontstane wolkmengsel een halve bol vormt op de grond. Uit het volume van het mengsel, bij een temperatuur gelijk aan het kookpunt van propaan (231 K), kan vervolgens de diameter van het grondoppervlak (de ‘foot-print’) van de wolk worden berekend. Hierbij wordt de omvang begrensd verondersteld door de UEL. De maximale hoogte van de halve bol bedraagt 1/3 van de diameter.

- Wanneer de halve bol-wolk vervolgens wordt ontstoken zal deze als een flash fire verbranden (diffusiebrand). Er zal ook thermische expansie (uitzetting door temperatuurverhoging) optreden. Bij een brandtemperatuur van 1500 K bedraagt deze expansie circa een factor 6. Verondersteld wordt dat de volumevergroting vooral omhoog zal bewegen, waardoor dus geen belangrijke vergroting van de foot-print op grondniveau zal optreden. Indien opsluiting van de wolk mogelijk is, kan de verbranding ook met explosie-effecten gepaard gaan. Conform aanbevelingen in het Paarse Boek wordt hieraan een kans van 0.4 toegekend. De berekening verloopt verder analoog aan wat hierover is gesteld in paragraaf 3.2.4, onder vertraagde ontsteking, waarbij het explosiecentrum gelijk is aan de locatie van het falende onderdeel.

Aangetekend moet hierbij worden dat in de aannames en de wijze van modellering een aantal aspecten voorkomen die de effecten mogelijk onderschatten:

- Het feit dat het ontstane gas/lucht mengsel zwaar is ten opzichte van de omgevende lucht zal ertoe leiden dat de wolk zal uitzakken en een groter grondoppervlak zal omvatten dan de berekende waarde voor de halve bol. Er zijn echter geen goede aanwijzingen voor een realistischere waarde van de hoogte / diameter verhouding van de instantane wolk. Met behulp van een model van Van Ulden worden wel (veel) grotere initiële diameters voorspeld dan die welke volgen uit de aanname van de halve bol.
- Ook de aanname dat de thermische expansie uitsluitend omhoog gaat leidt tot onderschatting van de effecten. Uit videobeelden van een LPG-explosie in Korea, in 1998, kan ook laterale expansie worden geconstateerd. Adequate modellering en validatie ontbreken echter.
- Tenslotte leidt de aanname dat inmenging van lucht 'slechts' tot UEL optreedt tot de kleinst mogelijke nog brandbare wolk, die bovendien, inherent aan het nog juist brandbaar zijn, ook niet zeer heftig zal verbranden. Wanneer opmenging tot een stoichiometrische concentratie was aangenomen, was het wolkvolume ruim twee maal zo groot geweest en zou ook de vorming van sterkere explosie-effecten dienen te worden beschouwd.

Vanuit dit onderzoek verdient een nadere studie en definiëring van het beschouwde scenario nadrukkelijk aanbeveling. Gezien het ontbreken van gevalideerde modellering van het beschreven fenomeen, is bovenbeschreven aanpak voorgesteld bij de CPR commissie Risico-evaluatie (CPR-RE), met aanvullend het voorstel om hieraan bij een herziening van het Paarse Boek aandacht te besteden [13].

3.3.3 Het fenomeen fakkels

Voor het scenario van directe ontsteking van een continue gasuitstroming wordt de vorming van een fakkel (flare fire) verondersteld. Voor de modellering en berekening van de warmtestraling rond de fakkelbrand is hetzelfde model gehanteerd als in de LPG Integraal Studie. Met dit model, afkomstig van API, wordt eerst de lengte en breedte van de vlam berekend, waarna voor berekening van de warmtestralingsintensiteit een bolvormige straler rond het centrum van de fakkel wordt aangenomen.

Meer realistisch is om te veronderstellen dat het stralingsgebied niet cirkelvormig is, maar ellipsvormig. Modellering daarvan wordt in het Gele Boek wel gegeven (Chamberlain), maar het betreffende model is alleen gevalideerd voor 'pure' gasuitstromingen, bijvoorbeeld van aardgas. Voor vloeistofuitstromingen (LPG, propaan) is dit model strikt genomen niet geschikt. Er bestaat softwaremodellering waarin door modificaties van het Chamberlain-model ook fakkels voor vloeistofuitstromingen kunnen worden berekend, maar hierover is in de openbare literatuur verder geen bron gevonden. Dit is een lacune waaraan mogelijk in de toekomst nadere aandacht kan worden besteed. In deze studie is ervoor gekozen om het, weliswaar vrij oude, API-model voor vloeistoffakkels te blijven gebruiken. (API = American Petroleum Institute).

3.4 Berekening en resultaten effectafstanden

In deze paragraaf worden de resultaten van de effect- en schadeberekeningen voor de genoemde scenario's gepresenteerd. Voor scenario's waarbij gaswolkverspreiding en vertraagde ontsteking aan de orde zijn, is alleen de maximale effectafstand gegeven, dus diè welke optreedt bij de voor het scenario meest ongunstige weersconditie (meestal zeer stabiel weer, windsnelheid 1.5 m/s). In de risicoberekeningen zijn de afstanden en de frequentieverdelingen gebruikt die voor elk van de onderscheiden weerklassen gelden (zie ook 3.5.3).

De in de risico-analyse gebruikte schadecriteria zijn vermeld in onderstaande Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Schadecriteria voor de geïdentificeerde effectscenario's

Scenario-type	Effectgebied	Criterium / model
BLEVE	projectie vuurbal	100% letaliteit
	warmtestraling > 35 kW/m ²	100% letaliteit
	warmtestraling < 35 kW/m ²	berekening met probitfunctie; blootstellingsduur max. 20 sec
Fakkels	vlam	100% letaliteit
	warmtestraling > 35 kW/m ²	100% letaliteit
	warmtestraling < 35 kW/m ²	berekening met probitfunctie; blootstellingsduur 20 sec
Gaswolk, flash fire	binnen LEL-contour	100% letaliteit
	buiten LEL-contour	geen slachtoffers
Gaswolk, explosie	piekoverdruk > 0.3 bar	100% letaliteit
	0.3 bar < piekoverdruk < 0.1 bar	PR = 0%; GR = 2.5%
Instantane flash	binnen UEL contour	100% letaliteit
	piekoverdruk > 0.3 bar	100% letaliteit

Tabel 3.2 geeft de samengevatte resultaten van de relevante effecten en de berekende effect-afstanden. In Bijlage 1 zijn tabellen verwerkt waarin per systeem-onderdeel en per scenario de effecten in meer detail zijn gegeven.

Tabel 3.2 Samenvatting maximale effect-afstanden

Activiteit / Onderdeel	Vervolgeffect	Afstand voor %-age letaliteit [m]			
		99%	50%	10%	1%
OPSLAGTANK					
Instantaan falen	lokale flash fire	28			
	flash fire, LEL	171			
	explosie 0.1 bar				138
	explosie 0.3 bar	69			
Leegstromen in 10 min	fakkels	47	47	52	57
	flash fire, LEL	21			
	explosie 0.1 bar				18
	explosie 0.3 bar	9			
Lek d = 10 mm	fakkels	20	20	22	24
	flash fire, LEL	12			
	explosie 0.1 bar				12
	explosie 0.3 bar	6			
Breuk vloeistofleiding	Fakkels	21	23	25	28
	flash fire, LEL	9			
	explosie 0.1 bar				8
	explosie 0.3 bar	4			

Activiteit / Onderdeel	Vervolgeffect	Afstand voor %-age letaliteit [m]			
		99%	50%	10%	1%
TANKAUTO / VULPUNT					
Breuk losslang	fakkels	41	41	46	50
	flash fire, LEL	31			
	explosie 0.1 bar				26
	explosie 0.3 bar	13			
Instantaan falen	Vuurbal	88	200	270	340
	lokale flash fire	40			
	flash fire, LEL	226			
	explosie 0.1 bar				200
BLEVE, 100% gevuld	vuurbal (R=90 m)	158	195	261	320
		135	155	213	262
BLEVE, 66% gevuld	vuurbal (R=79 m)	100	100	146	183
BLEVE, 33% gevuld	vuurbal (R=63 m)	77	78	86	93
Breuk 3" aansluiting	Fakkels	228			
	flash fire, LEL	85			
	explosie 0.1 bar				169
	explosie 0.3 bar				
AFLEVERZUIL					
Breuk vloeistofleiding	Fakkels	16	16	18	20
	flash fire, LEL	9,3			
	explosie 0.1 bar				8
	explosie 0.3 bar	4			

3.5 Kansen en ongevalsfrequenties

De voor de risico-analyse gebruikte ongevalsfrequenties en kanscijfers zijn gebaseerd op het Paarse Boek [5]. Voor die scenario's waarbij de periodieke, niet continue aanwezigheid van risico-veroorzakende activiteiten van invloed is op de kans van optreden, is hiervoor gecorrigeerd.

Opgemerkt wordt dat in het Paarse Boek wordt geconstateerd dat een updating van faalfrequenties op termijn nodig kan blijken, aangezien een aantal review studies erop duiden dat de nu voorgestelde waarden voor een aantal systemen lager liggen dan andere literatuur oplevert (Preface en paragraaf 3.A.2.1 van [5]).

Onderstaand worden de gehanteerde kansgetallen voor het referentie tankstation toegelicht.

3.5.1 Initiële ongevalsfrequenties

Onder ‘initiële ongevalsfrequentie’ wordt verstaan de kans per jaar dat een zeker incident (ontsnapping van LPG) zich voordoet.

3.5.1.1 De ondergrondse opslagtank

- a. Instantaan falen; momentaan vrijkomen van 9200 kg LPG
Frequentie bedraagt 5×10^{-7} per jaar.
- b. Leegstromen in 10 minuten; semi-continue bron van 15.3 kg/s.
Frequentie bedraagt 5×10^{-7} per jaar
- c. Lekkage in tankwand, $d = 10$ mm; semi-continue bron 1.2 kg/s
Frequentie bedraagt 1×10^{-5} per jaar
- d. Breuk vloeistofleiding, 10 m lengte; semi-continue bron 1.4 kg/s
Frequentie bedraagt 1×10^{-5} per jaar

3.5.1.2 De tankauto en het vulpunt

Voor de tankauto wordt een aanwezigheidsfrequentie verondersteld van 35 maal per jaar gedurende 30 minuten per keer. Dit komt overeen met 17.5 uur per jaar, ofwel 0.2% van de tijd. Hiervoor wordt gecorrigeerd in de navolgende initiële faalfrequenties.

- a. Breuk van losslang, semi-continue bron 6.5 kg/s (ca. 1.5 maal pompdebiet)
De basisfrequentie bedraagt 4×10^{-6} per uur. De tankauto is 17.5 uur per jaar op het tankstation aanwezig. De frequentie bedraagt dus op jaarbasis 7×10^{-5} per jaar.
- b. Instantaan falen, momentaan vrijkomen van (maximaal) 28.000 kg
Frequentie bedraagt 5×10^{-7} per jaar $\times 17.5/8760 = 1 \times 10^{-9}$ per jaar.

- c. BLEVE, vuurbal met (maximaal) 28.000 kg LPG
Frequentie is in [7] specifiek berekend op 1.3×10^{-6} per jaar, gebaseerd op 100 overslagen per jaar. Op basis van 35 overslagen per jaar, wordt deze frequentie 4.6×10^{-7} per jaar. Deze frequentie is verdeeld over de kans op hitte-aanstraling van het dampvolume van de tank, voor drie vulgraden van de tank: 100%, 66% en 33% van de maximale vulling. In paragraaf 5.4.2 is de kansbepaling nader toegelicht.
- d. Breuk van de grootste aansluiting, semi-continue bron 100 kg/s
Frequentie bedraagt 5×10^{-7} per jaar $\times 17.5/8760 = 1 \times 10^{-9}$ per jaar.

3.5.1.3 De afleverzuil

Voor de afleverzuil is een gemiddelde aanwezigheidsfrequentie van tankende personenauto's berekend van 14.000 klanten gedurende 2 minuten per keer, ofwel totaal 465 uur per jaar, wat neerkomt op 5.3% van de tijd van het jaar. Echter, aangezien de afleverleiding permanent aanwezig is, wordt niet voor de aanwezigheidsfrequentie van klanten gecorrigeerd.

- a. Breuk van de afleverleiding en falen van de doorstroombegrenzer, semi-continue bron 0.86 kg/s
Basis-faalfrequentie bedraagt 1×10^{-6} per meter per jaar. Uitgaande van een leidinglengte van 75 m en de faalkans van de doorstroombegrenzer $p = 0.15$ per aanspraak, resulteert een uitstroombrequentie van 1.1×10^{-5} per jaar.

3.5.2 Ontstekingskansen

De kansen op ontsteking zijn ontleend aan het Paarse Boek [5]. Deze zijn afhankelijk van de aard van de loss of containment situatie: instantaan of (semi-)continu. Ook de uiteindelijke effect-ontwikkeling is hiervan afhankelijk. In onderstaande tabel zijn beide aspecten samengevat voor de bovenbeschreven relevante scenario's.

Tabel 3.3 Verdeling van ontstekingskansen en resulterende effecten

Scenario	Directe ontsteking		Vertraagde ontsteking	
	Kans	Effect	Kans	Effect
ONDERGRONDSE OPSLAGTANK				
Instantaan falen	0,5	BLEVE: - - flash fire / VCE: 0.3	0,5	flash fire, VCE ¹⁾
Leegstromen in 10 min	0,5	fakkel	0,5	flash fire, VCE
Lek d = 10 mm	0,2	fakkel	0,8	flash fire, VCE
Breuk vloeistofleiding	0,2	fakkel	0,8	flash fire, VCE
TANKAUTO EN VULPUNT				
Breuk losslang	0,2	fakkel	0,8	flash fire, VCE
Instantaan falen	0,4	BLEVE	0,6	flash fire, VCE
BLEVE	1,0	BLEVE	- -	
Breuk 3" aansluiting	0,5	fakkel	0,5	flash fire, VCE
AFLEVERZUIL				
Breuk leiding	0,2	fakkel	0,8	flash fire, VCE

¹⁾ VCE is: vapour cloud explosion, gaswolk-explosie

De gegeven ontstekingskansen zijn generieke waarden. Er is geen expliciete inventarisatie uitgevoerd van binnen of rond de inrichting mogelijk aanwezige ontstekingsbronnen en hun eventuele plaats. De ontstekingsbron van een gaswolk is steeds in het geometrisch centrum van de wolk verondersteld; d.w.z. halverwege de afstand tot waar de LEL wordt bereikt.

3.5.3 Meteo-statistiek

Voor het berekenen van de risico's rond LPG-tankstations is, voor scenario's met gaswolkdispersie en vertraagde ontsteking, de statistische verdeling van meteorologische condities (atmosferische stabiliteit, windsnelheid en windrichting) van belang voor de kans dat een gaswolk zekere afmetingen bereikt. In deze studie, waar de risico-bron (het LPG-tankstation) is geabstraheerd van zijn omgeving, is de verdeling van de windrichting niet opportuun. In de risico-berekeningen is daarom alleen de verdeling van stabiliteit en windsnelheid als invoergegeven gebruikt, gebaseerd op de meteostatistiek van weerstation Schiphol. De windrichting is gelijk verdeeld over de twaalf richtingklassen. De gebruikte weerklassen zijn gekozen conform de aanbevelingen in [5], als weergegeven in Tabel 3.4. De frequenties van (meteorologische) dag en nacht zijn respectievelijk 45% en 55%.

Tabel 3.4 Frequentie-verdeling meteo-statistiek

Stabiliteit / Pasquill	Windsnelheid [m/s]	Frequentie [%]	
		Dag	Nacht
onstabiel: B	3,0	17,1	0,0
neutraal: D	1,5	8,2	11,5
neutraal: D	5,0	26,6	27,1
neutraal: D	9,0	48,1	31,9
stabiel: E	5,0	0,0	11,9
zeer stabiel: F	1,5	0,0	17,6

3.6 Analyse van verschillen in uitgangspunten en modellering

Bij de beoordeling van de in deze studie berekende risico-afstand relaties ten opzichte van de relaties die hebben model gestaan voor de veiligheidsafstanden in het Besluit LPG-tankstations, en eventuele verschillen daarin, spelen de volgende zaken een rol:

1. **Systeem tankstation:** Hierin is niet essentieel iets veranderd sedert 1988. Wel zijn een tweetal 'nieuwe' ongevalsscenario's geïntroduceerd: het instantaan falen van de ondergrondse tank en het leegstromen van deze tank binnen een tijd van 10 minuten. Voor het instantaan falen is ook een nieuw effectfenomeen geïntroduceerd: de lokale flash fire.
2. **Omzet aan LPG:** Voor het 'gemiddelde' station is in deze studie uitgegaan van 35 lossingen van de tankauto per jaar, bij een gemiddelde omzet van 500 m³/jaar. In de LPG Integraal Studie is destijds uitgegaan van een omzet van 500 ton/jaar, hetgeen ongeveer het dubbele is van het nu geregistreerde gemiddelde. Daarbij is een totaal aantal stortingen van 50 per jaar aangenomen. In een aanvullende studie naar (reductie van de kans op) BLEVE's van de LPG-tankauto [7, pg. 28] is uitgegaan van een omzet van 500 ton/jaar en 100 leveringen per jaar. De uitgangspunten blijken op dit onderdeel dus te verschillen.
3. **Grootte van de tankauto:** In de LPG Integraal Studie bedroeg de standaard capaciteit van de tankauto 44 m³, in de huidige studie 60 m³. Overigens is nu in de modellering in rekening gebracht dat de tankauto niet altijd volledig gevuld is wanneer deze aanwezig is op het tankstation; er is gedifferentieerd in drie vulinggraden, wat invloed heeft op de hoeveelheid LPG die bij een BLEVE betrokken kan zijn.
4. **Schademodelering:** De berekening van de warmtestraling door een BLEVE-vuurbal, met name buiten de projectie van de vuurbal zelf, wordt nu realistischer uitgevoerd. In LPG Integraal werd in het gehele gebied buiten de vuurbal tot aan 1% letaliteit door warmtestraling een gemiddelde schade van 1% verondersteld. Dit betekende een belangrijke onderschatting van de warmtestraling in dit gebied; daarvoor nu is gecorrigeerd. Overigens is ook de berekening van de warmte-emissie enigszins veranderd door rekening te houden met de barstdruk van het vat en met het feit dat de vuurbal zich het grootste deel van de tijd hoog

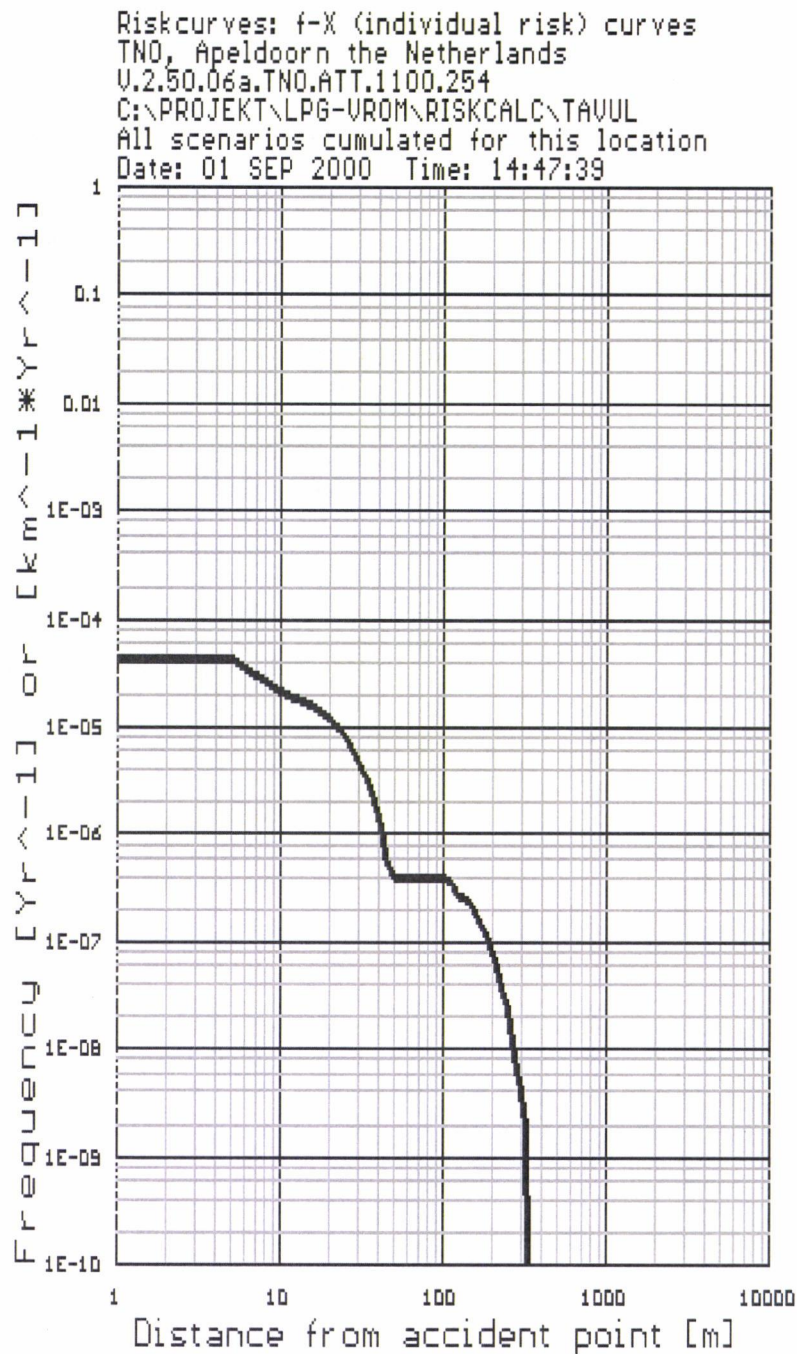
boven de grond bevindt, terwijl vroeger van een (halve) bol op grondniveau werd uitgegaan. Dit laatste leverde in de vroegere studies op korte afstanden hogere warmte-intensiteiten op.

5. Beschouwde scenario's: Aanbevelingen in het onlangs verschenen Paarse Boek introduceren enkele nieuwe definities van scenario's die in de eerdere studies niet werden beschouwd. De belangrijkste is de mogelijkheid van het instantaan falen van de ondergrondse LPG-opslagtank. Weliswaar wordt aan de ondergrondse ligging een credit toegekend voor de kans op dit falen, maar bij de berekeningen voor de Integrale Nota LPG (1985, [2]) werd dit scenario in het geheel niet beschouwd.
6. Effect bij instantaan falen: In vroegere studies werd instantaan falen van een drukvat gelijkgesteld aan een BLEVE, resulterend in een vuurbal. Het Paarse Boek voegt hier een nieuw scenario aan toe, te weten een flash fire van de instantane gaswolk.
7. Credit voor ondergrondse ligging: In LPG-Integraal was voor de kans op instantaan falen van de bovengrondse stationaire opslagtank een waarde van 1×10^{-5} per jaar gebruikt; deze werd geheel toegekend aan het scenario BLEVE. Op basis van de aanbevelingen in het Paarse Boek wordt, indien faaloorzaken als externe impact uitgesloten kunnen worden, aan het instantaan falen van een drukvat (boven- of ondergronds) een kans toegekend van 5×10^{-7} per jaar. Voor een ondergronds geplaatste tank wordt het scenario BLEVE, resp. vuurbal uitgesloten geacht, waardoor voor de gevolgen instantane flash (bij directe ontsteking) en flash fire en/of explosie (bij vertraagde ontsteking) een kans van 3.25×10^{-7} per jaar resteert. Hieruit kan worden afgeleid dat aan het ondergronds brengen van de opslagtank, sinds de LPG-Integraal studie, voor de kansverlaging op instantaan falen een credit van een factor 30 wordt toegekend. Wel moet worden opgemerkt dat een tweede vorm van (nagenoeg) instantaan falen is geïntroduceerd: een zodanig groot gat in de tank dat deze in 10 minuten leegstroomt. Ook hieraan is standaard een kans van 5×10^{-7} per jaar toegekend, waardoor de totale kans op instantaan falen van een ondergrondse druktank 8.25×10^{-7} per jaar bedraagt. Indien de druktank op het LPG-tankstation bovengronds wordt geplaatst, kan de faaloorzaak externe impact niet worden uitgesloten en moet een extra kans van 10^{-5} /jaar worden toegekend. Hierdoor komt de kans op instantaan falen voor een bovengronds geplaatste tank op 1.1×10^{-5} /jaar, hetgeen ongeveer gelijk is aan de kans zoals gehanteerd in de LPG Integraal Studie. Hieruit kan worden afgeleid dat aan het ondergronds brengen van de opslagtank een credit van een factor 12 wordt toegekend voor de kans op instantaan falen.
8. Domino-effecten: Het optreden van domino-effecten, waarbij een incident met de ene activiteit een ongeval bij een andere activiteit veroorzaakt, wordt in deze studie niet beschouwd. Domino-effecten, zoals een scherf van een exploderende vulzuil die in de wand van de tankauto penetreert, worden verondersteld deel uit te maken van de totale kans op externe impact welke in het generieke faalcijfer is opgenomen.

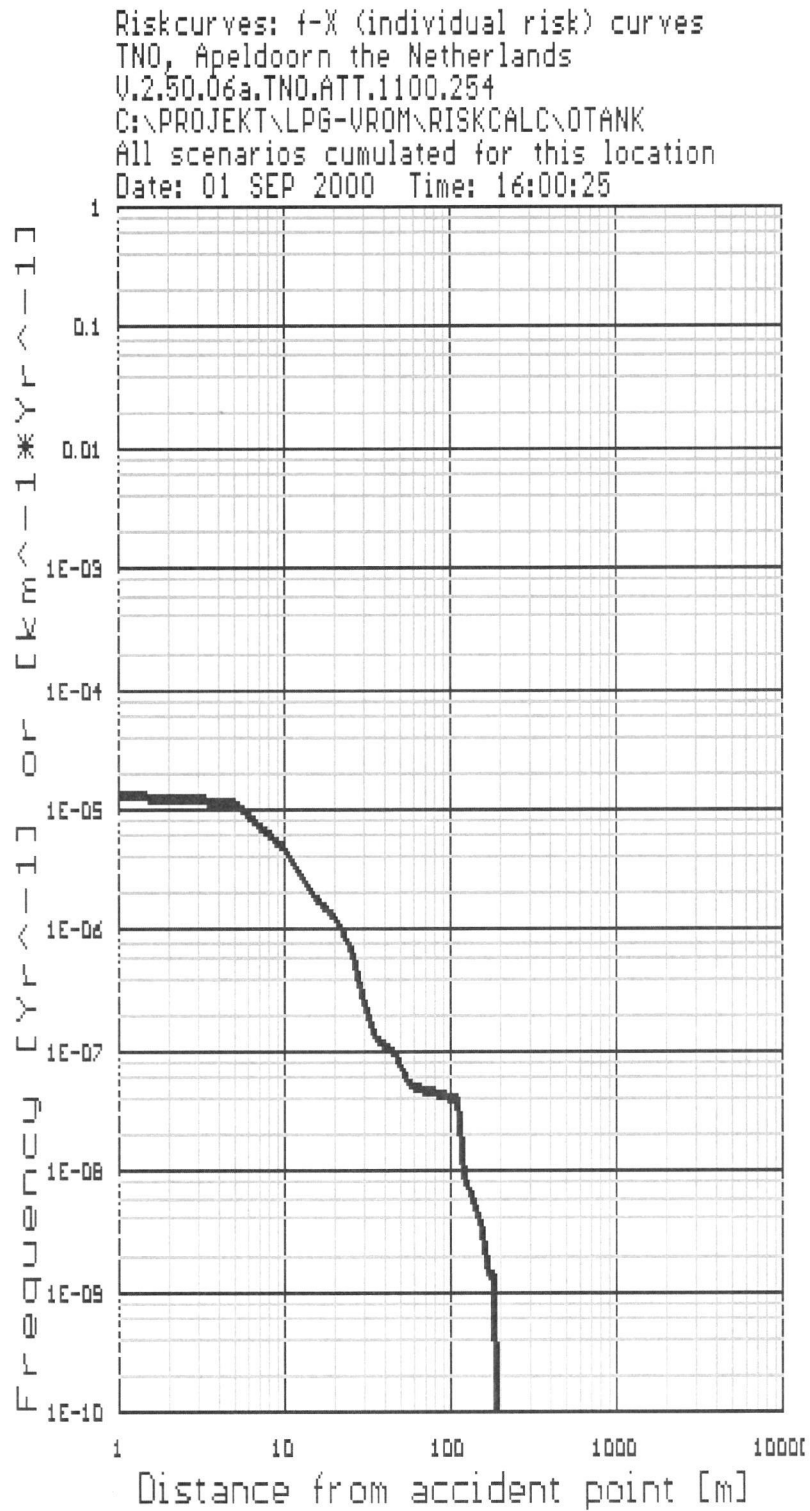
4. Resultaten en evaluatie risico-berekeningen

4.1 Plaatsgebonden risico-contouren en veiligheidsafstanden

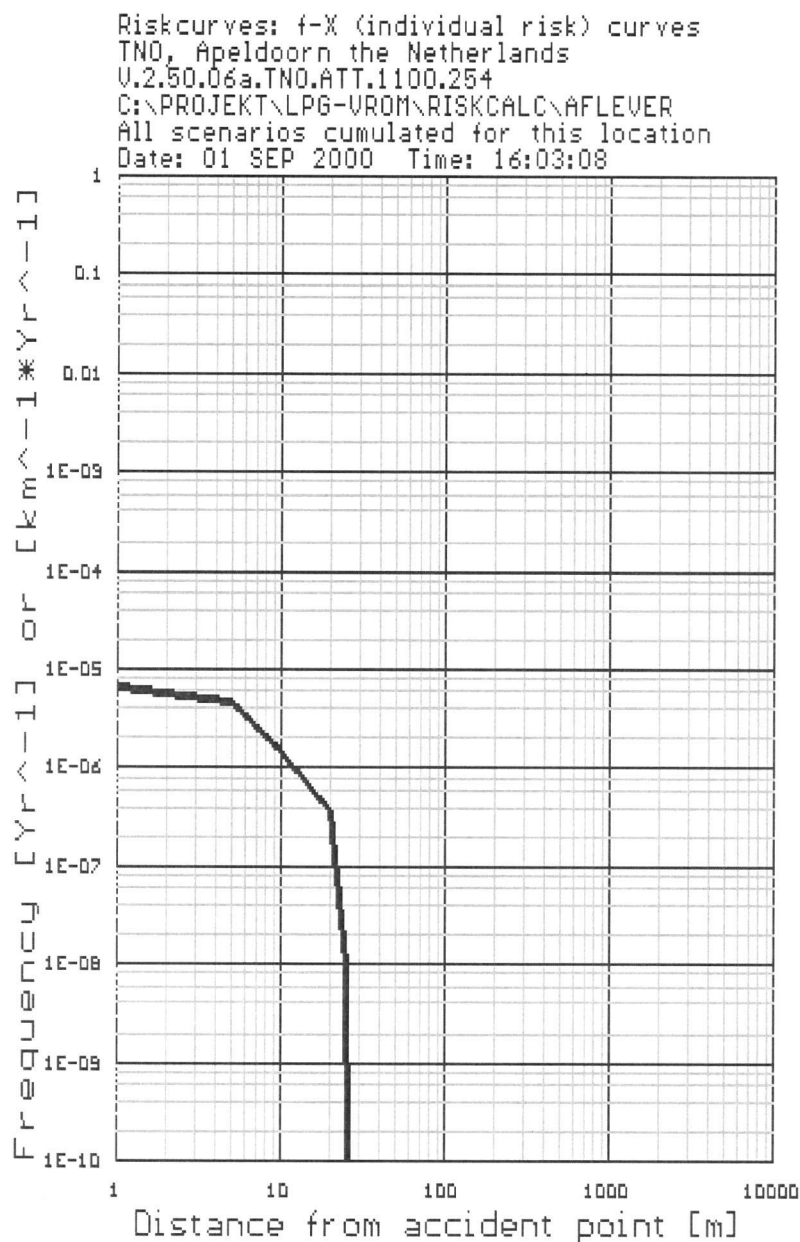
Met behulp van het door TNO-MEP ontwikkelde software programma RISKCURVES Versie 2.5 [8] zijn de risico's van de drie systeem-onderdelen berekend en weergegeven in curven van het plaatsgebonden risico versus de afstand, in zogenaamde f-X-curven. De gegeven resultaten gelden voor het 'gemiddelde' tankstation binnen de bebouwde kom, en voor de situatie waarbij het scenario 'vuurbal' voor de ondergrondse tank uitgesloten wordt geacht.



Figuur 4.1 Plaatsgebonden risico curve voor tankauto en vulpunt



Figuur 4.2 Plaatsgebonden risico curve voor ondergronds opslagreservoir



Figuur 4.3 Plaatsgebonden risico curve voor de afleverzuil

In onderstaande Tabel 4.1 zijn de afstanden gegeven waar respectievelijk het 10^{-5} , 10^{-6} en 10^{-7} plaatsgebonden risico worden berekend. Tevens zijn de vigerende veiligheidsafstanden vermeld voor de meest relevante omgevingscategorie: woonbebouwing en kwetsbare objecten categorie II, zoals gehanteerd sinds de AMvB LPG-tankstations.

Motivatie voor de gegeven risico-niveaus is de volgende:

- PR = 10^{-5} wordt voor bestaande situaties als maximaal aanvaardbaar risico gehanteerd, en zou ook de maatstaf kunnen zijn voor minder kwetsbare bestemmingen, categorie I.

- $PR = 10^{-6}$ is de grenswaarde voor nieuwe situaties van te vestigen inrichtingen en/of ruimtelijke ontwikkelingen.
- $PR = 10^{-7}$ maakte bij de vaststelling van de veiligheidsafstanden in het Besluit LPG-Tankstations (1988) deel uit van de beleidsoverwegingen.

Tabel 4.1 Risico-afstanden voor de onderscheiden systeem-onderdelen, bij omzet van $500 \text{ m}^3/\text{jaar}$

Onderdeel	Vigerende veiligheidsafstand ¹ [m] Woon + Cat.II	Berekende afstanden [m]		
		$PR = 10^{-5}$	$PR = 10^{-6}$	$PR = 10^{-7}$
		Tankauto / vulpunt	80	23
Reservoir, geen vuurbal	40	6	23	44
Afleverzuil	20	--	11	24

¹ Noot: De vigerende veiligheidsafstanden in [4] gelden voor kwetsbare bestemmingen in nieuwe situaties. Voor bestaande situaties konden met aanvullende voorzieningen en onder strikte condities kleinere afstanden worden geaccepteerd.

Nadere bestudering van de relatieve bijdragen van scenario's aan de ligging van de 10^{-6} -risicocontour levert op:

- voor de tankauto / vulpunt:
 - breuk van de losslang gevolgd door vertraagde ontsteking: 56%;
 - de BLEVE's, voor de drie vulgraden tezamen: 44%.
- voor de ondergrondse tank:
 - de fakkel bij directe ontsteking bij een leidingbreuk of bij een 10 mm gat in de tankwand: samen 74%;
 - instantaan falen van de tank: 15%;
 - uitstroming in 10 minuten: 11%.
- voor de afleverzuil:
 - de fakkel bij breuk van de leiding gevolgd door directe ontsteking: 100%.

De relatieve bijdragen van de verschillende scenario's voor de verschillende LPG-onderdelen zijn sterk afhankelijk van de afstand waarop deze worden bepaald. Zo wordt rond het vulpunt binnen de eerste 45 à 50 meter het risico voor meer dan 98% bepaald door een incident met de vulslang, terwijl vanaf 50 meter afstand de BLEVE van de tankauto het risico vrijwel volledig domineert.

4.2 Conclusies voor afstanden rond een gemiddeld tankstation

In deze paragraaf worden de resulterende veiligheidsafstanden beschouwd, ervan uitgaande dat de te bereiken milieukwaliteitseisen uit de (concept) AMvB Milieukwaliteitseisen Externe Veiligheid worden geïntroduceerd. Deze studie is aanleiding geweest om in de te hanteren veiligheidsafstanden differentiatie aan te brengen naar de LPG-omzet van individuele tankstations en de daaruit voortvloeiende risico's. De invloed van deze parameter wordt in deze paragraaf nader geïllustreerd.

4.2.1 Afstanden rond het vulpunt

In het Besluit LPG-Tankstations zijn de veiligheidsafstanden gebaseerd op een risico-niveau van 10^{-6} á 10^{-7} per jaar, voor woongebieden en gevoelige bestemmingen (Cat. II). Door de destijds toegepaste methode van modellering van schade door warmtestraling in geval van BLEVE, was er sprake van een zeer scherpe omslag bij een afstand vanaf het vulpunt van 80 meter (de straal van de vuurbal), waardoor van een meetbaar verschil tussen de 10^{-6} á 10^{-7} afstand geen sprake was. Met de huidige berekeningsmethodiek bedraagt de omvang van dit traject voor een tankstation met een gemiddelde omzet een afstand van 43 tot 190 meter.

Verder valt in figuur 4.1 op dat een horizontaal verloop in het risico op 4×10^{-7} bestaat van 50 meter tot 110 meter afstand. Uit analyse van de bijdragende bronnen blijkt dat dit gedeelte uitsluitend door het scenario BLEVE wordt veroorzaakt. De andere scenario's dragen op deze afstand niet of nauwelijks meer bij.

De kans op een BLEVE is relatief laag. Anderzijds, wanneer een BLEVE optreedt zijn de effectafstanden altijd groter dan die van de andere scenario's rond vulpunt en tankwagen.

De risico's rond het vulpunt zijn recht-evenredig met de omzet van het tankstation. Een tweemaal zo hoge omzet resulteert dus voor iedere afstand in een tweemaal zo hoog risico. De f-x curve schuift verticaal omhoog. Hieruit kan worden afgeleid dat het horizontale deel van de f-x curve bij een omzet van $1250 \text{ m}^3/\text{jaar}$ op het niveau van 1×10^{-6} komt te liggen. Bij deze omzet neemt de vereiste veiligheidsafstand sterk toe, van circa 50 meter naar 110 meter of meer. In paragraaf 5.1 wordt hierop nader ingegaan. De vigerende veiligheidsafstand van 80 meter zou voor de 10^{-6} risico-contour ongeveer bij de genoemde omzet van $1250 \text{ m}^3/\text{jaar}$ liggen.

4.2.2 Afstanden rond het ondergrondse opslagreservoir

In het Besluit LPG-Tankstations zijn de veiligheidsafstanden gebaseerd op een risico-niveau van 10^{-6} á 10^{-7} per jaar, voor woongebieden en gevoelige bestemmingen. Voor de ondergrondse tank is destijds een veiligheidsafstand vastgesteld van 40 meter.

De nu uitgevoerde studie levert hiervoor een afstandstraject van 23 - 44 meter op. De risico's rond de opslagtank hebben in beginsel geen directe relatie met de LPG-omzet. Wel kan er bij grotere stations sprake zijn van òf een grotere opslagtank (bijv. 40 m^3) òf twee of meer tanks. In het eerste geval zal de effect-afstand kunnen toenemen (verschuiving van de f-x curve in horizontale richting naar rechts). In het tweede geval komt de curve hoger te liggen: het risico stijgt evenredig met het aantal tanks.

Aangezien deze grotere omzetten vooral langs autosnelwegen worden aangetroffen, worden vanuit bestaande situaties weinig of geen knelpunten voorzien. Voor nieuwe situaties kan uitvoering van een specifieke QRA wellicht wel te overwegen zijn, juist omdat in toenemende mate nabij tankstations ook een wegrestaurant of een grote parkeerplaats wordt gerealiseerd, wat kan leiden tot de aanwezigheid van grotere aantallen personen.

4.2.3 Afstanden rond de afleverzuil

In het Besluit LPG-Tankstations zijn de veiligheidsafstanden gebaseerd op een risico-niveau van 10^{-6} á 10^{-7} per jaar, voor woongebieden en gevoelige bestemmingen. Hiervoor is destijds voor de afleverzuil een veiligheidsafstand vastgesteld van 20 meter.

De nu uitgevoerde studie levert een afstandstraject van 11 - 24 meter op. Een relatie met de omzet is van dit systeemonderdeel niet te verwachten. Een hogere omzet zal vaak gepaard gaan met meerdere afleverzuilen en -eilanden, maar het LPG-transport vanuit de ondergrondse tank zal toch via één leiding plaatsvinden. Knelpunten worden hierbij daarom niet voorzien.

5. Analyse van de resultaten

De in hoofdstuk 4 gegeven afstanden en daarbij horende conclusies gelden voor het in deze studie gedefinieerde ‘gemiddelde LPG-tankstation’ en voor een expert judgement betreffende de modellering van instantaan falen van de ondergrondse opslagtank. Beide hypothesen hebben een aanzienlijke invloed op de conclusies ten aanzien van het berekende risico rond ieder van de systeem-onderdelen. Hierop wordt hierna volgend nader ingegaan.

5.1 Invloed van de omzet aan LPG

De omzet van een LPG-tankstation heeft bij de berekening van de externe risico's vooral invloed op de resultaten voor de tankauto en het daarbij horende vulpunt. Dit wordt vrijwel volledig veroorzaakt door de evenredigheid van de beleveringsfrequentie door de tankauto (en dus aanwezigheidsduur) en de omzet.

De andere twee activiteiten (opslagreservoir en afleverleidingen) zijn continu aanwezig en beïnvloeden de resultaten van een generieke QRA niet door hun gebruiksfrequentie. Wel kan er bij stations met een hoge omzet sprake zijn van grotere opslagreservoirs wat tot vergroting van de effectgebieden kan leiden.

Voor het in deze studie gedefinieerde referentie LPG-tankstation is uitgegaan van een gemiddelde omzet van 500 m³ LPG per jaar, ofwel 35 leveringen per jaar, wat overeenkomt met een aanwezigheid van de tankauto gedurende 17.5 uur per jaar. Er zijn in de uitgevoerde inventarisatie, gebaseerd op bijna 70% van de LPG-stations in Nederland, zeer uiteenlopende omzetcijfers gevonden; deze blijken te variëren van 10 m³ tot ruim 5000 m³ per jaar. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat:

- stations met een doorzet van minder dan 100 m³ per jaar bij voorkeur niet in de categorie ‘karakteristiek’ dienen te worden beschouwd;
- stations met een omzet van meer dan 2000 m³ per jaar minder dan 5% van de populatie uitmaken, en bijna uitsluitend langs snelwegen worden aangetroffen.

Uit de inventarisatie is geconcludeerd dat ruim 92% van de LPG-tankstations een doorzet heeft die ligt tussen de genoemde 100 m³ en 2000 m³ per jaar. Deze bijdragen blijken bovendien redelijk normaal verdeeld.

Voor de leverfrequentie door de tankauto betekent dit een spreiding van minder dan 10 maal per jaar tot circa 150 maal per jaar. Deze spreiding vertaalt zich lineair in het berekende risico: van vier maal lager tot vier maal hoger dan het gemiddelde.

Hoewel de omzet van een inrichting een moeilijk bruikbaar criterium kan zijn voor vaststelling van het beleid voor handhaving van milieukwaliteitseisen, kunnen deze verschillen toch niet worden genegeerd. Aanbevolen wordt daarom om de mogelijkheid na te gaan om enige differentiatie in de veiligheidsafstanden aan te brengen waarin met de omvang van het tankstation wordt rekening gehouden. Ook kan

overwogen worden om de veiligheidsafstanden te baseren op een grotere populatie tankstations, door bijvoorbeeld de 90-percentiel omzet als karakteristiek te kiezen, in plaats van de nu berekende 50-percentiel. Tussen de vigerende veiligheidsafstanden en die welke nu voor de 10^{-6} risico-contour worden berekend, is wat dat betreft nog enige marge aanwezig (80 meter versus 43 meter, voor tankauto en vulpunt).

In onderstaande tabel 5.1 zijn de berekende afstanden gegeven voor een tweetal risico-niveaus rond het LPG-vulpunt, als functie van de omzet. De gegeven afstanden hebben betrekking op de bovenwaarde van de gegeven range. Bijvoorbeeld: PR = 10^{-6} op een afstand van 110 meter is berekend voor een omzet van circa 1500 m³/jaar.

Tabel 5.1 Afstanden tot verschillende risico-niveaus, als functie van de LPG-omzet

Omzet [m ³ /jaar]	PR = 10^{-6}	PR = 10^{-5}
0 - 500	43 m	23 m
500 - 1000	45 m	30 m
1000 - 1500	110 m	35 m
1500 - 2000	140 m	35 m

5.2 Invloed van te beschouwen scenario's en modellering van de ondergrondse tank

Bij de sanering van LPG-tankstations, in 1988, is ervan uitgegaan dat het ondergronds brengen van de stationaire opslag (meestal 20.000 liter tank) het scenario van instantaan vrijkomen van de inhoud zou voorkomen. In de studies die hieraan verder ten grondslag lagen is steeds verondersteld dat het verschijnsel BLEVE plus vuurbal het resulterende effect van instantaan falen zou zijn, en dat deze vervolgebeurtenis dus voor de ondergrondse tank kan worden uitgesloten.

In de aanbevelingen voor de uitvoering van (generieke) QRA's voor inrichtingen, zoals beschreven in het Paarse Boek, wordt het scenario van instantaan vrijkomen van de inhoud uit een ondergrondse tank wel denkbaar geacht. Er bestaat onzekerheid over hoe met de modellering van vervolgeffecten daarvan om te gaan. Hierbij speelt ook een rol de vraag hoe zo'n situatie kan ontstaan en welke de onderliggende oorzaken kunnen zijn. In deze studie is van de volgende veronderstellingen uitgegaan:

- het ontstaan van een vuurbal wordt uitgesloten, aangezien de daarvoor verantwoordelijk geachte basis-oorzaken voor een BLEVE (externe hitte-aanstraling) bij een ondergrondse tank praktisch niet mogelijk zijn;

- het fenomeen ‘instantane flash-fire’ wordt geïntroduceerd, waarbij een halfbolvormige LPG-wolk rond het ongevalspunt onder ‘milde’ omstandigheden verbrandt, zonder daarbij explosie-effecten te veroorzaken of oppervlaktevergroting door zwaartekracht of thermische expansie te ondergaan.

Op beide aannamen valt, gegeven de veronderstelde mogelijkheid van instantaan falen van een ondergrondse tank, af te dingen. Meer conservatieve modellering van deze gebeurtenis zal tot aanmerkelijke vergroting van de risico-cirkels rond de opslagtank leiden. Anderzijds wordt de kans op instantaan falen van de tank zodanig laag geschat dat uit oogpunt van plaatsgebonden risico geen knelpunt wordt verwacht. Gezien de potentiële consequenties die keuzes hierin kunnen veroorzaken, wordt nadrukkelijk nader feiten- en modelleringsonderzoek naar de mogelijke verschijnselen aanbevolen. Bij toekomstige upgrades van CPR-uitgaven als het Gele of Parse Boek zal aan dit fenomeen aandacht moeten worden besteed.

5.3 Effectiviteit van een fakkelkast

Ten tijde van de Sanering LPG-tankstations, tussen 1985 en 1988, zijn in een aantal bestaande situaties waarvoor 20 meter als minimale afstand tussen vulpunt en kwetsbare bestemmingen werd geaccepteerd, fakkelkasten over het vulpunt geplaatst. Doel van deze voorziening was om, bij een grote lekkage vanuit de vulzuil of de losslang, een ontstane gasfakkel zodanig af te buigen dat ter plaatse van nabij staande woningen kritische warmtebelastingen niet zouden worden overschreden. Na installering van zo'n fakkelkast kon een minimale veiligheidsafstand van 15 meter worden geaccepteerd.

De effectiviteit en de ontwerpisen van een fakkelkast is met experimenten op praktijkschaal onderzocht door Ingenieursbureau SAVE (1986, [14]). Zonder voorzieningen bleek voor een uitstroming van circa 1 kg/s de fakkellengte \pm 15 meter te bedragen, waarbij de kritische warmtebelasting (7.5 kW/m^2) op circa 20 meter van het punt van ontsnapping lag. Met een fakkelkast werd de vlam omhoog afgebogen, waardoor de projectielengte werd verminderd tot \pm 10 meter, en de warmtestralingscirkel op circa 15 meter van de ontsnapping uitkwam. Op basis hiervan is deze kleinere afstand in een aantal gevallen toegelaten.

Er is aanleiding om enkele kanttekeningen bij de conclusies van genoemd onderzoek te plaatsen:

In de eerste plaats blijkt de aangehouden bronsterkte bij breuk van de losslang (1 kg/s) beduidend kleiner dan de uitstroming die nu wordt gevonden (ca. 6.5 kg/s). Dit heeft een grote invloed op de fakkellengte.

Ten tweede is bij de veldproeven ook vastgesteld dat de verpreiding van LPG wanneer geen ontsteking als fakkel plaatsvindt, kan leiden tot een wolk die brandbaar is tot ruim 40 meter afstand, dus een dubbele effectafstand ten opzichte van de fakkel.

En tenslotte, in relatie met het tweede punt, wordt voor de kans op directe ontsteking bij breuk van de losslang een waarde van $p = 0.2$ aanbevolen. De kans op vertraagde ontsteking bedraagt dan $p = 0.8$. Dit betekent dat de fakkelkast slechts in 20% van de faalsituaties daadwerkelijk effectief is voor zijn doel.

Overigens is de effectiviteit van de fakkelkast niet verder als risico (ligging 10^{-5} en 10^{-6} contour) gekwantificeerd. De voorziening komt relatief weinig voor en maakte geen deel uit van het voor deze studie gedefinieerde referentie-tankstation.

5.4 Consequenties van ontbreken van veiligheidskleppen op de LPG-tankauto

Met het oog op harmonisatie van wet- en regelgeving in Europa voor het vervoer van gevaarlijke stoffen zal het waarschijnlijk in de toekomst niet meer verplicht gesteld kunnen worden dat LPG-tankauto's zijn voorzien van veiligheidskleppen (PSV's) voor drukontlasting in geval van opwarming van de tankinhoud.

Doel van dit deel-onderzoek is te berekenen wat de implicaties zijn van het risico door de tankauto indien deze verplichting komt te vervallen. In de berekeningen is conservatief verondersteld dat (op termijn) alle tankauto's deze voorziening niet meer zullen hebben.

5.4.1 Invloed van de druk-ontlastklep

De veiligheids- (of drukontlast-)klep heeft als belangrijkste functie het afdrukken van de dampdruk die kan ontstaan wanneer het tankauto-reservoir aan extreme hitte wordt blootgesteld waardoor LPG wordt opgewarmd en diens gevolg de druk in de tank stijgt. Deze situatie zal zich kunnen voordoen wanneer de tankauto in een externe brand betrokken raakt.

Er doen zich dan twee mogelijke situaties voor:

- De brand straalt (vooral) het damp-volume van de tank aan. De kans hierop is groter naarmate de tank minder is gevuld. In dat geval vindt nauwelijks opwarming van de vloeistof plaats en leidt de verhitting van het tanklichaam tot materiaalverzwakking en uiteindelijk bezwijken van de tank: een BLEVE. Een eventueel aanwezig veiligheidsventiel levert voor deze situatie geen bescherming.
- De brand straalt (vooral) het vloeistof-volume van de tank aan. De warmte van de brand wordt dan door de vloeistof geabsorbeerd, wat leidt tot geleidelijke opwarming van de vloeistof, stijging van de druk in de tank en, bij correct functioneren van het veiligheidsventiel, tot afblazen van de overdruk. Meestal zal dit gepaard gaan met een (vertikaal) fakkelverschijnsel, met hevige warmtestraling in de nabije omgeving. Echter, een BLEVE wordt in deze situatie voorkomen.

Voor de berekening van het BLEVE-risico als gevolg van het weglaten van de PSV's zijn twee zaken van belang:

- de kans dat bij een externe brand het dampvolume van de tank wordt aangestraald, en de PSV dus sowieso weinig of geen functie vervult;
- de kans dat, in geval van aanstraling van het vloeistofvolume, de PSV weigert te openen.

N.B. De huidige in Nederland gangbare LPG-tankauto's zijn voorzien van twee veiligheidskleppen die samen voldoende capaciteit zouden moeten hebben om een aangenomen warmte- en druktoename af te voeren. Mocht er één falen, dan is de afblaascapaciteit zeker onvoldoende. Volgens berekeningen van de noodzakelijke doorlaat en afblaascapaciteit, zouden eigenlijk drie veiligheidskleppen nodig zijn. Dit is echter volgens de huidige regelgeving niet toegestaan. Discussie hierover is in enkele gremia reeds enige tijd gaande, en verdient een spoedige oplossing.

5.4.2 BLEVE-frequenties in bestaande situatie (met veiligheidsventielen)

In [7] is voor de kans op aanstralen van het vloeistofvolume uitgegaan van $p = 0.5$, en voor de faalkans van het overdrukventiel van $p = 0.05$. Er was slechts één vulgraad verondersteld. Bovendien werd destijds slechts één overdrukventiel toegepast, op een toen nog kleinere tankauto.

In de nu uitgevoerde studie zijn drie vulgraden beschouwd: 100%, 67% en 33% van de maximale belading. Voor alle drie is een BLEVE-scenario in de QRA berekend.

Er doen zich dan de volgende situaties voor:

Tabel 5.2 Kans op aanstralen tankauto bij externe brand

Vulgraad	Kans aanstralen vloeistofruimte	Kans aanstralen dampruimte
100 %	0,9	0,1
67 %	0,6	0,4
33 %	0,3	0,7

De kans op falen van het afblaassysteem (één of beide PSV's openen niet bij aanstraling van het vloeistofvolume) bedraagt: $p_1 + p_2 - p_1 p_2 = 0.0975 \sim 0.1$.

Hieruit kan de kans op een BLEVE worden berekend, gegeven een langdurige brand nabij de tankauto:

- vulgraad 100%: $0.9 \times 0.1 + 0.1 = 0.19$
- vulgraad 67%: $0.6 \times 0.1 + 0.4 = 0.46$
- vulgraad 33 %: $0.3 \times 0.1 + 0.7 = 0.73$

De frequentie van een langdurige brand bedraagt volgens [7]: 2.1×10^{-6} , op basis van 100 overslagen per jaar. Voor 35 overslagen wordt dit 0.7×10^{-6} .

Daarnaast kan BLEVE optreden door mechanische inslag, volgens [7] met een frequentie van 2.3×10^{-7} voor 100 overslagen. Voor 35 overslagen wordt dit 7.7×10^{-8} per jaar. Beide basisoorzaken worden, qua kans op optreden, gelijk verondersteld voor de drie vulgraad-situaties.

De BLEVE-frequenties voor de QRA voor het referentie-tankstation worden hiermee in de bestaande situatie:

- vulgraad 100 %: $0.33 \times (0.19 \times 0.7 \times 10^{-6} + 7.7 \times 10^{-8}) = 0.70 \times 10^{-7}$
- vulgraad 67 %: $0.33 \times (0.46 \times 0.7 \times 10^{-6} + 7.7 \times 10^{-8}) = 1.33 \times 10^{-7}$
- vulgraad 33 %: $0.33 \times (0.73 \times 0.7 \times 10^{-6} + 7.7 \times 10^{-8}) = 1.96 \times 10^{-7}$

De totale BLEVE-frequentie bedraagt hiermee: 4×10^{-7} per jaar.

5.4.3 BLEVE-frequentie bij ontbreken van de veiligheidskleppen

BLEVE's kunnen optreden ongeacht of brand-aanstraling op de vloeistof- of op de dampruimte plaatsvindt. De BLEVE frequentie wordt daarmee gelijk aan de som van langdurige brand en mechanische inslag, dus:

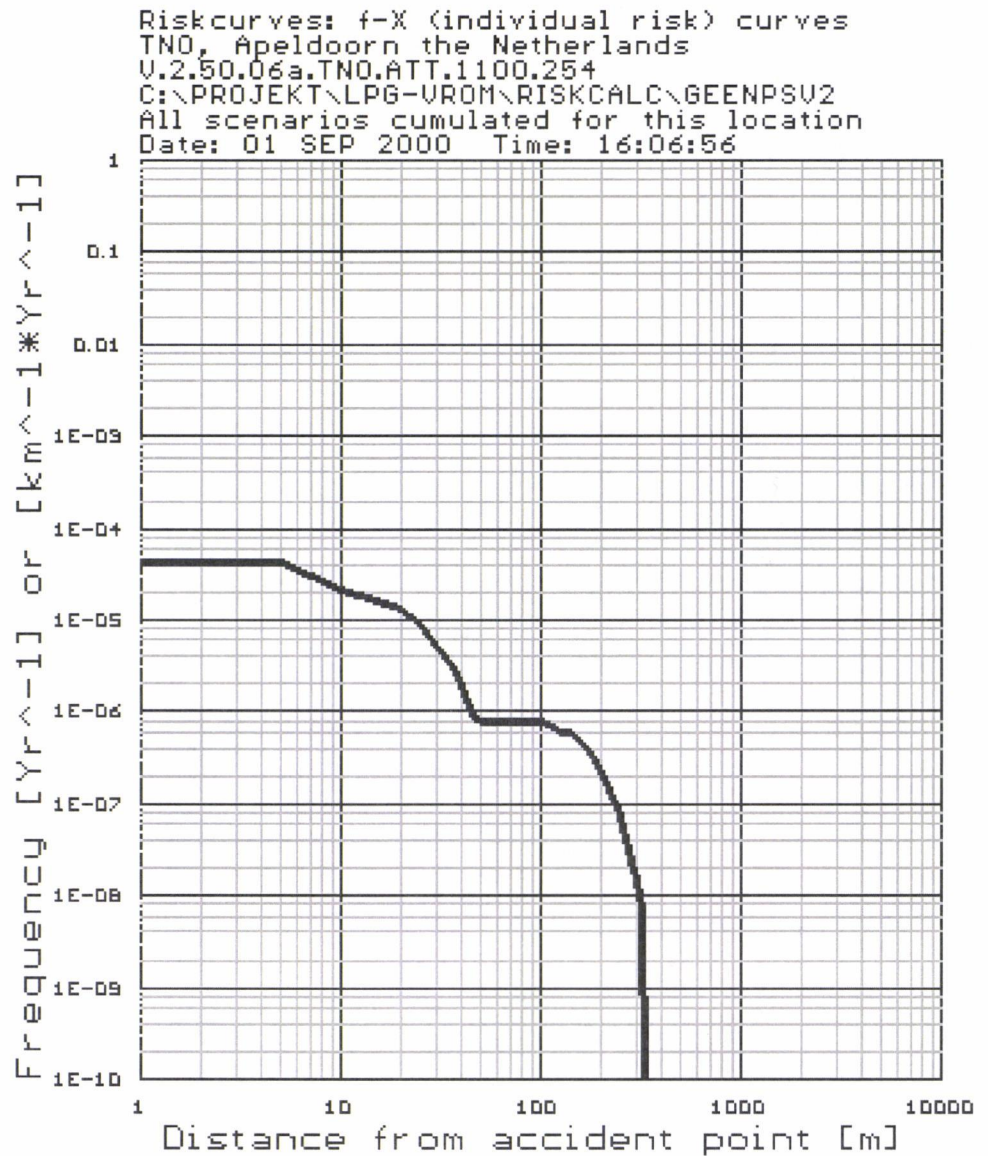
$0.7 \times 10^{-6} + 7.7 \times 10^{-8} = 7.8 \times 10^{-7}$ per jaar. Deze wordt gelijkelijk verdeeld verondersteld over de onderscheiden vulgraad-situaties, dus ieder 2.6×10^{-7} per jaar.

De toename in het optreden van een BLEVE door ontbreken van de veiligheidskleppen bedraagt daarmee bijna een factor 2.

De resulterende plaatsgebonden risico-curve is in bijgaande figuur 5.1 gegeven.

Analyse toont aan:

- Voor het gehele referentie-station neemt de 10^{-6} -risicoafstand toe van 43 meter naar 45 meter.
- Het eerder besproken 'tweede vlakke stuk' van de f-X-curve, in het afstandstraject 50 - 110 meter, ligt nu op een PR-niveau van 8×10^{-7} . Dit betekent dat slechts een geringe toename van de LPG-omzet (zeg tot 650 m^3 per jaar) reeds tot overschrijding van de grenswaarde zou leiden, en voor deze stations een veiligheidsafstand van 110 meter of meer zou moeten gelden. Circa 35 % van de tankstations heeft een omzet hoger dan 650 m^3 per jaar. Er zou dus bij laten vervallen van de veiligheidskleppen een aanzienlijk aantal knelpunten ontstaan rond tankstations waar tot nu toe de veiligheidsafstand op 80 meter was gehandhaafd.



Figuur 5.1 Plaatsgebonden risico-curve voor vulpunt, tankauto zonder veiligheidskleppen

6. Kwantificering van aantallen en kosten van potentiële knelpunten

6.1 Definitie: Wat is een knelpunt?

Onder 'knelpunt' wordt in deze studie verstaan een situatie waar door de ligging van een LPG tankstation in zijn omgeving de norm voor het plaatsgebonden risico in bestaande situaties wordt overschreden. Daarvan is volgens de opzet van de concept AMvB Milieukwaliteitseisen externe veiligheid [10,11] sprake, als de afstand tussen onderdelen van het LPG tankstation en kwetsbare of minder kwetsbare bestemmingen kleiner is dan met de betreffende risiconorm overeenkomt. Het gaat hier dus met name om afstanden die overeenkomen met een plaatsgebonden risico van 10^{-5} per jaar. Dit is de waarde voor het plaatsgebonden risico die volgens de AMvB als grenswaarde zal gelden voor alle bestaande situaties, dus zowel voor minder kwetsbare als voor kwetsbare bestemmingen. Van een knelpunt kan zowel sprake zijn voor bestaande situaties waarbij bij de sanering in 1985 - 1988 onder bepaalde voorwaarden kleinere afstanden zijn toegelaten dan in de toekomst gaan worden vereist, als in nieuwe situaties waar bestemmingsplannen zulke bestemmingen rond bestaande LPG-tankstations toelaten.

Uit de in voorgaande hoofdstukken berekende risico's is vastgesteld dat de aan te houden veiligheidsafstanden rond een gemiddeld tankstation kleiner zijn dan sinds het Besluit LPG-tankstations voor nieuwe situaties is gehanteerd. Met name voor de aan te houden afstand tussen het vulpunt en kwetsbare omgevingsbestemmingen zou voor een PR-criterium van 10^{-6} /jaar een verkleining van de veiligheidsafstand resulteren. In dit onderzoek is aangenomen dat gelet op de eisen in het Besluit LPG-tankstations, sinds 1988 geen nieuwe knelpuntsituaties meer zijn ontstaan in termen van de vigerende veiligheidsafstanden.

Mogelijke knelpuntsituaties die dan resteren, zijn:

- tankstations daterend van vóór de saneringsoperatie, waarbij voor bestaande situaties afstanden tot 20 meter vanaf het vulpunt (en na installering van een fakkelpost 15 meter) werden toegelaten;
- tankstations waarvoor door hun veel groter dan gemiddelde omzet een grotere veiligheidsafstand zou moeten worden gehanteerd dan de vigerende veiligheidsafstand.

Dit deel van het onderzoek richt zich op een schatting van de aantallen situaties in Nederland waar één van beide condities zich voordoet, en resulteert in een schatting van de kosten om de knelpunten op te lossen.

Het onderzoek is grotendeels uitgevoerd in de periode eind 1998 tot eind 2000; de eindrapportage vindt plaats in oktober 2001.

Opgemerkt zij, dat een aantal problemen in dit kader nog niet is onderzocht:

- a. overschrijdingen van de GR norm.
- b. de invloed van het gelijkstellen van bestaande en nieuwe situaties, m.a.w. kwetsbare bestemmingen binnen de 10-6 contour.

De reden dat dit niet is onderzocht, is dat het onderzoek uitsluitend gericht was op het in kaart brengen van de kosten zoals die zouden zijn voortgevloeid uit de normstelling met betrekking tot het plaatsgebonden risico voordat in het NMP4 daarvoor een aangescherpt beleid is geformuleerd. Het onderzoek heeft zich dan ook beperkt tot uitsluitend het plaatsgebonden risico (PR).

Echter, hieruit mag niet worden afgeleid dat er geen problemen zijn met de groeprisico niveaus (GR) als gevolg van LPG tankstations. De voorlopige conclusies van lopend onderzoek in het kader van (de consequenties van implementatie van het NMP-4) blijkt dat die problemen er namelijk wel zijn. Voor de precieze omvang daarvan is echter een apart onderzoek nodig.

6.2 Invloed van de LPG-omzet op knelpunten.

De in dit onderzoek vastgestelde inzichten leiden ertoe dat bij de hantering van veiligheidsafstanden gedifferentieerd moet worden naar de LPG-omzet van het tankstation. Dit geldt in het bijzonder voor de afstand tussen het LPG-vulpunt en de kwetsbare bestemmingen in de omgeving.

Uitgaande van een afstand van 80 meter voor situaties die na 1988 zijn gerealiseerd en een in de concept AMvB aangegeven risico-grenswaarde van 10^{-6} per jaar, zal het voor nieuwe situaties gaan om tankstations met een omzet van rond 1250 m³/jaar. Bij een omzet hoger dan deze waarde zou een veiligheids-afstand groter dan 80 meter moeten worden aangehouden. Bij een omzet van 2000 m³/jaar ligt de 10^{-6} risico-afstand op circa 135 meter.

De inventarisatie van bijna 1500 tankstations heeft uitgewezen dat:

- circa 8% van de stations een omzet hebben hoger dan 1250 m³/jaar
- voor zover informatie over de ligging beschikbaar is, meer dan 90% van deze “hoge-omzet-stations” langs auto(snel)wegen is gelegen. Vijf LPG-tankstations binnen deze (hoge omzet) groep hebben de indicatie ‘rand bebouwde kom’. Extrapolerend voor heel Nederland zou dit resulteren in ongeveer 7 - 8 situaties in of nabij bebouwd gebied waar deze situatie zich voordoet. Het gaat echter om de grenswaarde voor nieuwe situaties, zodat deze niet als zodanig als knelpunt zijn aangemerkt. (Daarvan is pas sprake als zich ook bestemmingen bevinden binnen de 10^{-5} risico-afstand.)

6.3 Knelpunten in relatie met de aard van de omgeving

Verwacht mag worden dat knelpunten zich vooral binnen de bebouwde kom zullen voordoen waar de afstanden tussen tankstations en kwetsbare objecten (woningen e.d.) het kleinst zullen zijn. Knelpunten zijn vooral te verwachten in die situaties waar het LPG-tankstation dateert van vóór de Sanering in de tachtiger jaren en

waar kortere afstanden zijn toegestaan dan 80 meter. Potentieel worden de knelpunten verwacht in situaties waarbij:

- het station dateert van vóór 1985, en
- de omzet hoger is dan 500 m³/jaar, en
- de daadwerkelijke afstand tot kwetsbare objecten kleiner is dan 30 meter.

In dit onderzoek is het identificeren van potentiële knelpunten daarom beperkt tot tankstations die een omzet hebben hoger dan 500 m³/jaar, dateren van vóór de sanering en gelegen zijn in de bebouwde kom. Uit de populatie van bijna 1500 stations waarover informatie beschikbaar is, blijken er circa 80 aan deze drie criteria te voldoen. Aannemend dat de onderzochte populatie representatief is voor de door andere maatschappijen beleverde stations, zouden er in Nederland ongeveer 115 tankstations in eenzelfde situatie bestaan.

Van de genoemde 80 tankstations is informatie verzameld via de LPG-leveranciers (lay-out tekeningen van het tankstation) en via de regionale diensten van het Kadaster (actuele omgevingstekeningen met aanduiding van woningen en andere bouwingen).

Door een groot verschil in kwaliteit van het verzamelde materiaal konden slechts 29 situaties worden onderzocht. Op basis van deze 29 gevallen is een extrapolatie gemaakt voor heel Nederland. Voor elk van deze 29 tankstations is, op kaartmateriaal, de kortste afstand gemeten tussen het LPG-vulpunt en de gevel van een nabijgelegen bouwobject (meestal woning). Uit deze inventarisatie bleek:

- in 4 gevallen zijn objecten aanwezig op een afstand kleiner dan 20 meter vanaf het LPG-vulpunt, ofwel in 14 % van de selectie;
- in 7 gevallen zijn objecten aanwezig op een afstand kleiner dan 23 meter vanaf het LPG-vulpunt (de 10⁻⁵-afstand voor een omzet van 500 m³/jaar), ofwel in 24 % van de selectie;
- in 10 gevallen zijn objecten aanwezig op een afstand kleiner dan 30 meter vanaf het LPG-vulpunt (de 10⁻⁵-afstand voor een omzet van 1000 m³/jaar), ofwel 35% van de selectie;
- in 22 gevallen zijn objecten aanwezig op een afstand kleiner dan 43 meter vanaf het LPG-vulpunt (de 10⁻⁶-afstand voor een omzet van 500 m³/jaar), ofwel 76% van de selectie.

Onder de veronderstelling dat de veiligheidsafstand voor bestaande situaties voor tankstations met een omzet tussen 500 en 1000 m³/jaar op 30 meter wordt gelegd (afstand 10⁻⁵-risico), zal dus circa 35% van de bestaande stations met een omzet > 500 m³/jaar en gelegen binnen de bebouwde kom als knelpunt moeten worden bestempeld. Bovenstaand was berekend dat het aantal stations dat aan de genoemde criteria voldoet (omzet > 500 m³ en gelegen in bebouwd gebied en daterend van voor de sanering) circa 115 bedraagt. Dit resulteert dus in 0.35 x 115 = circa 40 knelpuntsituaties.

Bij de inventarisatie is verder vastgesteld dat het aantal kwetsbare objecten binnen de 10⁻⁵ risico-contour bij de potentiële knelpuntsituaties varieert van 1 tot 7; het

gemiddelde bedraagt 3.3 'woningen' per situatie. In totaal zouden er dus ongeveer 130 kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} -risicocontour rond LPG tankstations vallen.

6.4 Knelpunten in bestemmingsplan-situaties

Het is niet uit te sluiten dat de introductie van de AMvB Milieukwaliteitseisen Externe Veiligheid (AMvB-MEV) invloed zal hebben op het beperken van bestemmingen die in reeds vastgestelde bestemmingsplannen zijn toegelaten. In zulke gevallen zou er t.z.t. sprake kunnen zijn van planshade. Verondersteld is dat bij de ruimtelijke ontwikkelingen in de afgelopen jaren rekening is gehouden met de afstanden die het Besluit LPG-tankstations [4], waarbij 80 meter als veiligheidsafstand moet worden gehanteerd. In de omgeving van reeds bestaande LPG-tankstations zouden dus alleen planshadesituaties worden verwacht voor situaties waar een grotere veiligheidsafstand zou worden verlangd; dit is het geval bij tankstations met een omzet groter dan $1250 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Zulke situaties zullen slechts sporadisch nabij woongebieden worden aangetroffen. Het onderwerp verdient echter wel aandacht in het licht van intensivering van bouwactiviteiten van kantorencomplexen etc. nabij autosnelwegen, waar vooral tankstations met de grotere omzetten worden aangetroffen.

In het onderzoek is gepoogd om dergelijke situaties te identificeren. Echter, de schaal en beperkte detaillering van de informatie liet een uitspraak hierover niet toe. Naar verwachting is consultering van de individuele gemeenten hiervoor nodig.

6.5 Resultierend aantal knelpuntsituaties

Vanuit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat er totaal 45 à 50 knelpuntsituaties in Nederland zullen worden geïdentificeerd, opgebouwd uit:

- 7 à 8 tankstations met een hoge omzet ($> 1250 \text{ m}^3/\text{jaar}$) welke gelegen zijn aan de rand van de bebouwde kom (paragraaf 6.2)
- circa 40 tankstations met een omzet $> 500 \text{ m}^3$ per jaar binnen de bebouwde kom, en daterend van vóór de vorige sanering (paragraaf 6.3).

Het totaal aantal knelpuntsituaties voor overschrijding van $\text{PR} = 10^{-5}/\text{jaar}$ bedraagt hiermee 45 à 50. Gezien de beperkte steekproef waarover binnen het kader van deze studie geschikte informatie kon worden verkregen, wordt de nauwkeurigheid van deze opgave geschat op een factor 2, dus tussen 25 en 100 situaties. Een meer accurate schatting kan waarschijnlijk alleen worden gemaakt door gemeenten individueel te benaderen en daarbij opgaven van de actuele afstand tussen LPG-vulpunt en omgevingsbebouwing te verzamelen.

Het aantal betrokken kwetsbare objecten dat in een bebouwde kom binnen een 10^{-5} PR-contour ligt zal circa 130 bedragen (40×3.3).

Uit het beperkte aantal situaties dat binnen het hier gerapporteerde onderzoek als knelpunt in de zin van de AMvB Mkev wordt aangemerkt, voor zover de saneringskosten hiervan geheel of gedeeltelijk ten laste kunnen komen van de overheid, mag niet de conclusie worden getrokken dat het met de risico's rond LPG tankstations wel meevalt. Bekend is dat het groepsrisico bij veel LPG tankstations een probleem is, maar in dit onderzoek is dat niet gekwantificeerd. Evenmin is in dit onderzoek een getal afgeleid voor het aantal knelpunten dat zal ontstaan als gevolg van het in de komende jaren tot 2010 gelijktrekken van de normen voor bestaande en nieuwe situaties. Ook hier zal het volgens de huidige verwachtingen om aanzienlijke aantallen gaan, maar daarvoor is nog geen inventarisatie uitgevoerd. Tenslotte is ook niet onderzocht in hoeveel gevallen er ook nu al sprake is van een overschrijding van de PR norm doordat niet wordt voldaan aan het 20 m criterium. Deze situaties zijn immers reeds nu saneringssituaties en dienen derhalve niet in het kader van de genoemde AMvB als bestuurslast te worden aangemerkt. Voor een totaalbeeld van de risico's rond LPG tankstations zouden ook deze situaties in beeld moeten zijn, maar dit kan ook in het kader van de handhaving aan de orde komen.

6.6 Indicatie van de kosten van sanering

Door Ingenieursbureau DHV is een onderzoek in breder kader uitgevoerd naar de potentiële financiële schade die voortvloeit uit de invoering van de AMvB-MEV. De DHV-studie omvat diverse soorten inrichtingen, zoals de niet-categoriale inrichtingen (BRZO-bedrijven), CPR-15 opslagen en ammoniak-koelinstallaties. Resultaten uit de voorliggende studie voor LPG-tankstations zijn / worden in de DHV-rapportage geïntegreerd.

Om een schatting te kunnen maken van de kosten die gemoeid zouden zijn met sanering van knelpuntsituaties rond LPG-tankstations, moet onderscheid worden gemaakt in de volgende twee mogelijkheden (of combinaties daarvan):

- amovering van het tankstation, respectievelijk het beëindigen van de vergunning om autogas te leveren;
- amovering van de binnen de veiligheidsafstanden liggende kwetsbare objecten, dan wel er een minder kwetsbare bestemming aan toe te kennen (bijvoorbeeld onttrekken aan woonbestemming).

Primair zal moeten worden nagegaan welke situaties met behulp van beperkte bronmaatregelen zoals een wijziging in de lay-out van het tankstation met beperkte kosten op te lossen zouden zijn. De mogelijkheden hiertoe zijn in deze studie niet nagegaan.

De hierna gegeven kostenschattingen gaan uit van de veronderstelling dat deze situaties niet met zulke maatregelen op te lossen zouden zijn zodat men direct op hogere sanerings- c.q. amoveringskosten uitkomt. Anderzijds is in dit onderzoek

niet nagegaan welke knelpuntssituaties zich buiten de relevant geachte groep LPG tankstations voor zouden kunnen doen, en er zijn daarvoor dus geen kosten geschat. De gegeven schatting geeft dus een grootte-orde van mogelijke kosten om knelpunten op te lossen, maar zal alleen door een gedetailleerd onderzoek kunnen worden gepreciseerd.

Met een eventuele sanering van deze knelpunten zijn op grond van deze studie gemoeid: óf circa 50 tankstations óf circa 130 woningen, of combinaties daarvan. Om de met eventuele sanering samenhangende kosten te kunnen schatten, moet onderscheid gemaakt worden in:

- Sanering door amovering van de ongeveer 130 woonbestemmingen. Bij een gemiddelde waarde per woning op basis van prijspeil 2001 van f 413.000,- resulteert dan een schadebedrag van circa 55 miljoen gulden. Voor de bepaling van de gemiddelde waarde van een woning is de NvM geraadpleegd. Volgens deze bron bedroeg de gemiddelde prijs van een koopwoning in de eerste helft van 1999: f 329.000,-. De prijsontwikkeling over de jaren 1995 – 1998 laat een stijging zien van de woningprijs van 47%, ofwel gemiddeld 12% per jaar. Deze prijsstijging is aangenomen voor extrapolatie naar van de huidige waarde.
- Sanering door amovering van het tankstation. Hierbij zal de winstmarge op LPG en een redelijke compensatietermijn (vijf tot acht jaar) bepalend zijn voor de schade. Indien wordt uitgegaan van een winstmarge van f 0,10 per liter (schatting, niet geverifieerd!!), een gemiddelde omzet van 700.000 liter per jaar en een compensatietermijn van zeven jaar, dan resulteert voor 50 tankstations een schade van circa 25 miljoen gulden.

In het kader van de sanering LPG-tankstations in de 80-er jaren is voor Ministerie VROM een model ontwikkeld waarin met meerdere parameters voor verliescompensatie rekening wordt gehouden, inclusief bijvoorbeeld het omzetverlies van andere artikelen in de kiosk van het tankstation. Volgens vertegenwoordigers van de autogas-branche is ook deze omzetpost aanzienlijk. Dit zal de kosten voor verliescompensatie kunnen verhogen. Overleg met de LPG-branche en mogelijk updaten van het eerder gebruikte model met actuele invoerparameters is zeker aan te bevelen om de schadeschatting nauwkeuriger te maken.

(N.B.: Benadrukt wordt dat de hierboven gehanteerde bedragen als indicatief moeten worden beschouwd. Bij implementatie van de veronderstelde regelgeving wordt nadere verificatie aanbevolen).

7. Conclusies en Aanbevelingen

7.1 Conclusies

In opdracht van het Ministerie van VROM heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie een onderzoek uitgevoerd naar de risicosituatie rond LPG-tankstations. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van de voorbereiding van een AMvB Milieukwaliteitseisen Externe Veiligheid, waarin grenswaarden voor het plaatsgebonden risico worden vastgelegd.

Sinds het van kracht worden van het Besluit LPG-tankstations (1988) zijn veiligheidsafstanden gehanteerd tussen de drie relevante activiteiten op een autotankstation (de -meestal ondergrondse- opslag van LPG, het vulpunt waar de tankauto wordt aangesloten en het afleverpunt voor automobilisten) en kwetsbare bestemmingen in de omgeving. Binnen deze afstanden worden beperkingen opgelegd aan de aanwezigheid van woonbebouwing en van andere kwetsbare bestemmingen. In dit onderzoek is een evaluatie uitgevoerd van de veiligheidsafstanden om vast te stellen of wijzigingen in de risicobepalende elementen in of rond LPG tankstations of gewijzigde inzichten met betrekking tot de risico-analyse methodiek aanleiding zijn om tot nieuwe inzichten te komen over de risico's rond LPG tankstations, en daarmee over te hanteren veiligheidsafstanden.

Een uitgebreide, zowel statistische als fysieke, inventarisatie onder een representatieve steekproef van LPG-tankstations in Nederland heeft het volgende uitgewezen:

- de veiligheidsvoorzieningen (- d.w.z. de uitvoering daarvan -) van zowel het LPG tankstation als van de tankauto zijn niet wezenlijk veranderd ten opzichte van de situatie waarvan bij de risico-analyses voor de vaststelling van de veiligheidsafstanden in 1988 is uitgegaan.
- de ligging en lay-out van LPG-tankstations verschillen onderling sterk, en er kan daarom moeilijk een 'karakteristieke' uitvoering worden gedefinieerd. Niettemin is de exacte uitvoering geen belemmering voor een gestandaardiseerde risico-analyse en voor het daarop baseren van te hanteren veiligheidsafstanden.
- er bestaan grote verschillen (meer dan een factor 100) in de LPG-omzet tussen de tankstations; gezien de rechtstreekse relatie tussen deze omzet en de aanwezigheidsduur van (en het risico door) de tankauto op het tankstation, vormt het omzetcijfer een cruciaal invoergegeven voor het berekende risico van met name het vulpunt voor de omgeving.

De risico-berekeningen in dit onderzoek zijn uitgevoerd voor een 'referentie' tankstation met een LPG-omzet van 500 m³ per jaar. Dit komt qua omzet overeen met het gemiddelde voor tankstations in de bebouwde kom.

Nieuwe inzichten en uitgangspunten in modelleringsaspecten in de risico-analyse hebben invloed op de resulterende veiligheidsafstanden. De belangrijke wijzigingen (zie bijlage 2), c.q. nadere detailleringen (sinds 1988) hebben betrekking op:

- de aanwijzing van generieke ongevalsscenario's
- de wijze van berekening van het risico door warmtestraling bij een BLEVE
- toevoeging van het scenario instantaan falen van de ondergrondse opslagtank
- toevoeging zwaargas-dispersiemodellering
- te hanteren faalkans-cijfers

In onderstaande tabel zijn de afstanden gegeven welke met de huidige inzichten resulteren voor drie niveaus van plaatsgebonden risico voor een tankstation met een gemiddelde omzet van 500 m³/jaar.

Tabel 7.1 Afstanden voor plaatsgebonden risico als functie van de LPG-omzet

Onderdeel	Vigerende veiligheidsafstand [m] Woon + Cat.II	Berekende afstanden [m]		
		PR = 10 ⁻⁵	PR = 10 ⁻⁶	PR = 10 ⁻⁷
Tankauto / vulpunt	80	23	43	190
Reservoir, geen vuurbal	40	6	23	44
Afleverzuil	20	--	11	24

Bij toepassing van de 10⁻⁶ risico-contour als normatief voor kwetsbare objecten zoals woonomgeving, zullen er naar verwachting voor het gedefinieerde referentietankstation geen nieuwe knelpunten ontstaan.

Wel kunnen er bestaande situaties zijn waar in het verleden, onder strikte condities, kleinere afstanden zijn geaccepteerd waardoor niet aan de voorgenomen kwantitatieve milieukwaliteitseisen kan worden voldaan. Verder kan bij tankstations met een omzet hoger dan circa 1250 m³/jaar de noodzaak van beduidend grotere afstanden blijken welke wel tot een knelpunt kunnen leiden. Aangezien dergelijke stations nauwelijks in woonomgevingen worden aangetroffen, is het aantal te verwachten knelpuntsituaties vermoedelijk beperkt.

Een inventarisatie duidt erop dat bij invoering van de grenswaarde van 10⁻⁵/jaar voor het plaatsgebonden risico in bestaande situaties het aantal te verwachten knelpunten in Nederland circa 40 à 50 zal bedragen, waarbij ongeveer 130 woonbestemmingen zijn betrokken. De kosten die gemoeid zijn met sanering van deze situaties worden geschat op 25 – 50 miljoen gulden.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Ten aanzien van te hanteren veiligheidsafstanden wordt in overweging gegeven om een differentiatie te hanteren op basis van de omzet van het LPG tankstation, omdat deze omzet een aanzienlijke invloed kan hebben op het plaatsgebonden risico en de afstand waar een grenswaarde wordt bereikt. In onderstaande tabel zijn de resulterende veiligheidsafstanden gegeven die worden berekend voor verschillende omzetcategorieën bij twee te hanteren risico-niveaus.

Omzet [m ³ /jaar]	PR = 10 ⁻⁶	PR = 10 ⁻⁵
0 - 500	43 m	23 m
500 - 1000	45 m	30 m
1000 - 1500	110 m	35 m
1500 - 2000	140 m	35 m

Voor LPG tankstations met een grote omzet, bijv. boven 1200 à 1500 m³ per jaar, is uitvoering van een specifieke QRA te overwegen waardoor beter dan voor een referentiestation, met lokale omstandigheden rekening kan worden gehouden.

Voor het nauwkeuriger in kaart brengen van de aard en aantallen knelpuntsituaties is een inventarisatie bij de lokale bevoegde gezagen waarschijnlijk noodzakelijk.

Gelet op de in het NMP4 genoemde beleidsvernieuwing m.b.t. externe veiligheid zijn er twee elementen die strekken tot de aanbeveling voor nader onderzoek als gevolg hiervan:

1. het opheffen van de norm voor bestaande risico's uiterlijk in 2010.
2. het beleid m.b.t. het omgaan met het groepsrisico, meer in het bijzonder de noodzaak om het preventiebeleid voor rampen te versterken, vergt een inventarisatie van de GR knelpunten.

Op grond hiervan wordt aanbevolen:

- a. een landsbrede inventarisatie uit te voeren naar de overschrijding van de GR norm bij LPG tankstations
- b. een landsbrede inventarisatie uit te voeren naar LPG tankstations waar zich kwetsbare bestemmingen bevinden binnen de 10-6 contour of de daarmee overeenkomende veiligheidsafstand, en tevens aantal en soort bestemmingen daarbij vast te stellen.

In de modellering van enkele fysische effectmodellen die samenhangen met LPG-ontsnappingsen is verbetering mogelijk. In het bijzonder gaat het daarbij om:

- de modellering van de warmtestralingsbelasting van LPG-fakkels
- het fenomeen instantane flash fire
- de modellering van BLEVE's

8. Literatuur en referenties

- [1] LPG Integraal Studie
Vergelijkende risico-analyse van de opslag, de overslag, het vervoer en het gebruik van LPG en benzine
TNO, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie, 1983
(In deze studie is vooral deel 1123 gebruikt: Opslag en overslag van LPG op het autotankstation)
- [2] Integrale Nota LPG
Ministeries van VROM, EZ en V&W, 1985
- [3] Nota Sanering bestaande LPG-stations
Ministerie van VROM, april 1985
- [4] Besluit LPG-Tankstations Hinderwet
Ministerie van VROM, Staatsblad 1988, nr. 95
- [5] Guideline for Quantitative Risk Assessment; Part one: Establishments
(het 'Paarse Boek', uit te geven door de Commissie Preventie van Rampen)
P.A.M. Uijt de Haag en B.J.M. Ale; RIVM, juni 1999
- [6] Methods for the calculation of physical effects, Third Edition
(het 'Gele Boek', uitgegeven door de Commissie Preventie van Rampen)
CPR-14^E, Den Haag; 1997
- [7] Reductie BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een autotankstation
O.P.M. Kok en C.M. Pietersen
TNO Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie
Ref. nr. 85-01237, februari 1985
- [8] TNO-MEP's software RISKCURVES Versie 2.5
- [9] Notities van de Sub-commissie Risico-evaluatie van de CPR:
CPR-RE 95.1
- [10] AMvB Milieukwaliteitseisen Externe Veiligheid (concept 20 april 2000),
inclusief Nota van Toelichting.
- [11] Regeling van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordeening en
Milieubeheer, houdende regels betreffende de berekening van het plaatsge-
bonden risico en van het groepsrisico ter uitvoering van het Besluit kwali-
teitseisen externe veiligheid inrichtingen milieubeheer.
(Concept TK 2 februari 2000)

-
- [12] Richtlijn voor het opstellen en beoordelen van een Extern Veiligheidsrapport
Interprovinciaal Overleg, publicatie IPO-A73
 - [13] Notities “Faalfrequenties” en “Modellering brandbare stof” (concept)
RIVM, 8 juni 1999; ter kennis gebracht van CPR-RE

9. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Ministerie van VROM
Directoraat-Generaal Milieuhygiëne
t.a.v. Dr. P.H. Bottelberghs
Postbus 30945, IPC 565
2500 GX Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ing. J.M. Ham - projectleider
Mw. Ing. A.W.T van Blanken - projectmedewerkster
Ing. B.F.P. van het Veld - projectmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

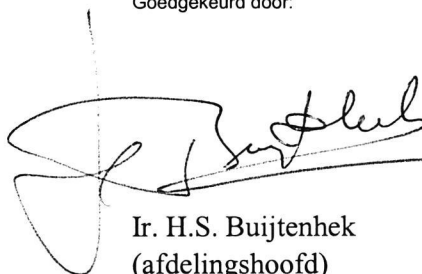
augustus 1998 – juni 2001

Ondertekening:



Ing. J.M. Ham
(projectleider)

Goedgekeurd door:



Ir. H.S. Buijtenhek
(afdelingshoofd)