

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 98 37

TNO-rapport

85-01237

**Reductie BLEVE-frequentie van een
LPG-tankauto op een autotankstation**

Datum	28 februari 1985
Auteurs	Ing. O.M.P. Kok Ir. C.M. Pietersen
Projectnummer	8727-13021
Trefwoorden	- risico-analyse - LPG-tankauto - autotankstation - BLEVE
Bestemd voor	Ministerie VROM

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.

INHOUDSOPGAVE	Pag.
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	5
2. METHODIEK VOOR DE BEREKENING VAN DE FREQUENTIEREDUCTIE VAN EEN BLEVE VAN EEN LPG-TANKAUTO	6
2.1 Frequentie van een BLEVE van de LPG-tankauto in de LPG-integraalstudie.	6
2.2 Frequentiereductie van een BLEVE van de LPG-tankauto.	6
3. LANGDURIGE LPG-LEKKAGE NABIJ DE LPG-TANKAUTO	10
3.1 Initiërende gebeurtenissen en de frequentie van optreden.	10
3.2 Systeemreacties; faalkansen van systeemreacties.	11
3.3 De frequentie van het optreden van een langdurige lekkage.	13
3.4 Reductie van de frequentie van langdurige lekkage.	14
3.4.1 Reductie van de frequentie van de initiërende gebeurtenissen.	14
3.4.2 Gereduceerde faalkansen op systeemreacties.	15
3.4.3 Gereduceerde frequentie langdurige lekkage (resultaat).	17
4. MECHANISCHE INSLAG VAN DE LPG-TANKAUTO DOOR AANRIJDINGEN	18
4.1 Kans op een aanrijding van een LPG-tankauto tijdens lossen op een autotankstation.	19
4.2 Botsingsscenario's.	19
4.3 Kansenschatting botsingsscenario's.	21
4.4 De frequentie van een BLEVE door mechanische inslag.	24
5. OMGEVINGSBRAND	27
5.1 De frequentie van een brand op een autotankstation.	27
5.2 Brand op een autotankstation gedifferentieerd naar plaats/activiteit.	28
5.3 Maximale afstanden voor BLEVE-potentie van omgevingsbranden.	30
5.4 Frequentie van een omgevingsbrand gedifferentieerd naar plaats.	31
5.5 Reductie van de frequentie van omgevingsbranden.	33

6.	RESULTATEN	35
6.1	BLEVE-frequentie	35
6.2	F-x krommen	39
7.	BESCHOUWING VAN DE RESULTATEN	43
8.	LITERATUURLIJST	45

Bijlage 1: Lekkage frequenties

- 2: Het gedrag van LPG-tankwagens tijdens botsingssituaties
- 3: Foutenboom t.b.v. berekening BLEVE-frequentie
- 4: Testfrequentie afsluiter tankauto; automatisch afsluitsysteem
LPG-installatie in geval van brand.
- 5: Frequentie van kantelen ten gevolge van een verkeerde manoeuvre
van de tankauto.
- 6: Benodigde warmtestraling om een BLEVE van een tankauto te ver-
oorzaken.
- 7: Technische gegevens.
- 8: Effecttabellen
- 9: Ontwikkelingen matrices

SAMENVATTING

Uit de LPG-Integraalstudie [4] blijkt dat de BLEVE van de LPG-tankauto het risico van het autotankstation domineert (bij ondergrondse opslagtank).

In deze studie is nagegaan wat de invloed is van een aantal mogelijk te treffen voorzieningen aan de LPG-tankauto en het LPG-autotankstation op de frequentie van een BLEVE van de LPG-tankauto.

De te treffen voorzieningen betreffen het voorkomen van (langdurige) branden van het LPG-systeem (tankauto, opslagtank), het veiliger opstellen van de LPG-tankauto in verband met ernstige aanrijdingen en (langdurige) branden van andere systemen (gebouwen, benzinetankauto's enz.).

Het resultaat van de studie is dat de frequentie van de BLEVE van de LPG-tankauto maximaal een factor 100 gereduceerd kan worden door implementatie van de bovengenoemde voorzieningen afhankelijk van de lokatie van de opstelplaats van de tankauto. Door implementatie van de technische voorzieningen wordt een reductiefactor voor de BLEVE-frequentie van de LPG-tankauto bereikt van ieder geval 30. Deze factor loopt op tot 100 wanneer de opstelplaats van de LPG-tankauto zodanig is dat deze niet meer getroffen kan worden door branden van een lossende benzinetankauto, gebouwen of LPG-afleverzuil en wanneer de opstelplaats óók zodanig is dat botsingen van personenauto's met een snelheid > 30 km/h op de leidingkast uitgesloten kunnen worden.

Wanneer ook branden van de benzineafleverzuil de LPG-tankauto niet kunnen treffen is de opstelplaats met betrekking tot aanrijdingen niet meer zo relevant. Het totale risico van een LPG-autotankstation wordt voor afstanden groter dan 50-60 meter vanaf het vulpunt ook met een factor 100 gereduceerd. Voor kleinere afstanden neemt deze factor af tot ongeveer 1 vlak bij het vulpunt (10 - 20 meter).

Het totale (gereduceerde) risico van het autotankstation is, analoog aan de LPG-Integraalstudie, gepresenteerd in een individueel risico-afstandskromme.

1. INLEIDING

In opdracht van het Ministerie VROM heeft de afdeling Industriële Veiligheid van MT-TNO een onderzoek gedaan naar de mogelijkheden tot het reduceren van de frequentie van een BLEVE van een LPG-tankauto op een autotankstation. Uit de door dezelfde afdeling van TNO, uitgevoerde LPG-Integraalstudie [4] blijkt dat de BLEVE van de LPG-tankauto het risico van een autotankstation domineert. Dit geldt alleen bij ondergrondse opslagtanks. In de Integrale nota LPG [5] is echter reeds aangekondigd dat de verplichting bestaat tot het ondergronds plaatsen van deze tanks, binnen de bebouwde kom voor bestaande stations en algemeen voor nieuwe autotankstations. Het onderhavige onderzoek is een uitvloeisel van het in de nota aangekondigde beleid. In deze studie is achtereenvolgens voor de 3 scenario's die een BLEVE van de LPG-tankauto kunnen initiëren nagegaan wat de invloed is op de frequentie van de BLEVE, wanneer door aanvullende voorzieningen de frequenties van de genoemde scenario's gereduceerd zouden worden.

Het eerste en belangrijkste scenario is een brand van het LPG-systeem die lang genoeg is om een BLEVE te kunnen veroorzaken. Daartoe zijn voorzieningen aan de LPG-tankauto en tankstation van belang die de uitstroming van LPG (automatisch) stoppen ingeval van brand. Ook de invloed van het verladen zonder dampretour en het installeren van een wegrijalarmering komen aan de orde.

Het tweede scenario is de mogelijkheid van het ontstaan van een BLEVE door mechanische inslag (aanrijdingen). Voor de bepaling van mogelijkheden tot reductie van deze frequentie zijn door TNO-IWECO een beperkt aantal (globale) berekeningen uitgevoerd met betrekking tot de sterkte van een LPG-tankauto in botsingssituaties. Aan de hand daarvan is een aantal botsingssituaties gekarakteriseerd, die gekoppeld aan mogelijke opstelplaatsen van LPG-tankauto's leiden tot een aantal situaties waarbij inderdaad van enige reductie van de frequentie van mechanische inslag sprake kan zijn.

Het derde scenario dat van belang is zijn branden, anders dan van het LPG-systeem (omgevingsbranden). Er is een aantal voorwaarden geformuleerd waaraan de opstelplaats van de tankauto moet voldoen met betrekking tot afstanden van gebouwen of bijvoorbeeld de opstelplaats van benzinetankauto's opdat van een zekere frequentiereductie sprake kan zijn.

2. METHODIEK VOOR DE BEREKENING VAN DE FREQUENTIEREDUCTIE VAN EEN BLEVE VAN EEN LPG-TANKAUTO.

2.1 Frequentie van een BLEVE van de LPG-tankauto in de LPG-Integraalstudie.

De frequentie van een BLEVE van een LPG-tankauto op een autotankstation zoals die gehanteerd is in de LPG-Integraalstudie is afkomstig uit de casuïstiek (gebaseerd op de BLEVE in Nijmegen 1979). Deze frequentie per tankstation bedraagt $2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{jr}^{-1}$.

Na de totstandkoming van de rapportage van de risico-analyse van het autotankstation, is een algemene methodiek opgezet om voor de andere lokaties (boerderijen, campings, depot etc.) waarvoor geen casuïstiek beschikbaar was, de BLEVE-frequentie te kunnen inschatten. Deze methodiek is weergegeven in foutenboom 1 (zie bijlage 3 en LPG-I, 1113).

De BLEVE-frequentie van de LPG-tankauto op een autotankstation, bepaald met deze foutenboom, bedraagt $8 \cdot 10^{-6} \cdot \text{jr}^{-1}$. De overeenstemming met de casuïstiek is voldoende te noemen.

2.2 Frequentiereductie van een BLEVE van de LPG-tankauto

Door het treffen van een aantal extra veiligheidsvoorzieningen, voorschriften of een andere procesvoering kan de frequentie van de BLEVE gereduceerd worden. In deze studie wordt de reductie bepaald ten gevolge van de volgende voorzieningen.

1. In geval van brand bij de tankauto worden de binnenliggende afsluiters van de tankauto en de afstandsbedienbare afsluiters van het LPG-systeem op het autotankstation, automatisch afgesloten.
2. Verhoging van de tesfrequentie van de pneumatische afsluiter van eens in de 3 jaar, naar eens in de 6 maanden.
3. De binnenliggende bodemkleppen bevinden zich onder de tank.
4. Op de tankauto bevindt zich een wegrijalarmering.
5. De verlading geschiedt zonder gebruik van de dampretour.
6. Een onderscheid naar opstelplaatsen voor de tankauto met het oog op de kans om door een omgevingsbrand getroffen te worden of aangereden te worden.
7. Tijdens het lossen van LPG bevindt er zich geen andere tankauto met brandbare stoffen binnen 25 m van de LPG-tankauto.

De onder punt 1 en 2 genoemde voorzieningen hebben betrekking op systeemreacties. In de LPG-Integraalstudie zijn systeemreacties verwerkt met behulp van gebeurtenissenbomen. Deze extra voorzieningen kunnen als zodanig het beste rechtstreeks worden ingebracht in de gebeurtenissenbomen zoals deze in de LPG-Integraalstudie gepresenteerd zijn. Op deze wijze kan een frequentiereductie berekend worden voor langdurige uitstromingen die in principe een BLEVE kunnen veroorzaken.

De onder punt 4 en 5 genoemde voorschriften hebben betrekking op de frequentie van uitstromingen. De wegrijalarmering reduceert de frequentie van breuk van de vloeistofleiding en bij de verlading zonder dampretour vervallen de dampuitstromingen. De frequenties van uitstromingen zijn in de LPG-Integraalstudie berekend met de hiervoor genoemde gebeurtenissenbomen.

De reductie van de lekkage-frequentie vóór en na het instellen van de extra voorzieningen/voorschriften kan in foutenboom 1 (bijlage 3) vereenvoudigd worden tot "langdurige lekkage bij tankauto" (zie foutenboom 2) omdat kansen uit foutenboom 1 reeds verwerkt zijn in de gebeurtenissenbomen.

De bepaling van de frequentie voor langdurige lekkage wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 3.

De onder punt 3, 6 en 7 genoemde voorschriften hebben betrekking op de frequentie van omgevingsbranden en aanrijdingen zodanig dat deze een BLEVE van de tankauto kunnen veroorzaken.

In de LPG-Integraalstudie is een vrij globale schatting gemaakt van de frequentie van een omgevingsbrand op autotankstations die voldoende groot is. Hetzelfde geldt voor de aanrijdingsfrequentie van de (geparkeerde) LPG-tankauto, zodanig dat LPG-uitstroming kan optreden. Met deze globale schattingen kon volstaan worden omdat de BLEVE-frequentie volledig bepaald werd door de frequentie van lekkage van het eigen LPG-systeem van de tankauto en de verlaadleiding (meer dan een factor 10 hoger dan de andere frequenties).

Bij een frequentiereductie voor langdurige lekkages van LPG wordt het van belang de frequenties voor omgevingsbrand en aanrijding nader te beschouwen. Met behulp van casuïstiek is de frequentie van een omgevingsbrand op een autotankstation opnieuw bepaald. Daarnaast is

een differentiatie van deze frequentie naar lokatie van de brand op het autotankstation gemaakt. Deze differentiatie is gerelateerd aan lokaties van systemen die een brand kunnen veroorzaken (benzine-tankauto, gebouwen etc.).

Met behulp van effectberekeningen zijn maximale afstanden voor direct vlamcontact ten gevolge van genoemde branden bepaald. Dit resulteert in een onderverdeling van de opstelplaatsen van de LPG-tankauto met verschillende kansen op een omgevingsbrand die een BLEVE van de tankauto kan veroorzaken. Zie voor een nadere uitwerking hiervan hoofdstuk 5.

Onder mechanische inslag wordt hier verstaan een zodanige aanrijding van de LPG-tankauto dat een relatief grote uitstroming optreedt. Met behulp van berekeningen van de sterkte van de tank en de appendagekast van de tankauto bij een aanrijding van de stilstaande tankauto met een bepaalde snelheid (uitgevoerd door TNO-IWECO zie bijlage 2), en een analyse van de mogelijke opstelplaatsen in relatie met voorkomende rijksnelheden ter plaatse, wordt een differentiatie in opstelplaatsen voor de tankauto gemaakt voor wat betreft de frequentie van mechanische inslag (zie voor een nadere uitwerking hiervan hoofdstuk 4).

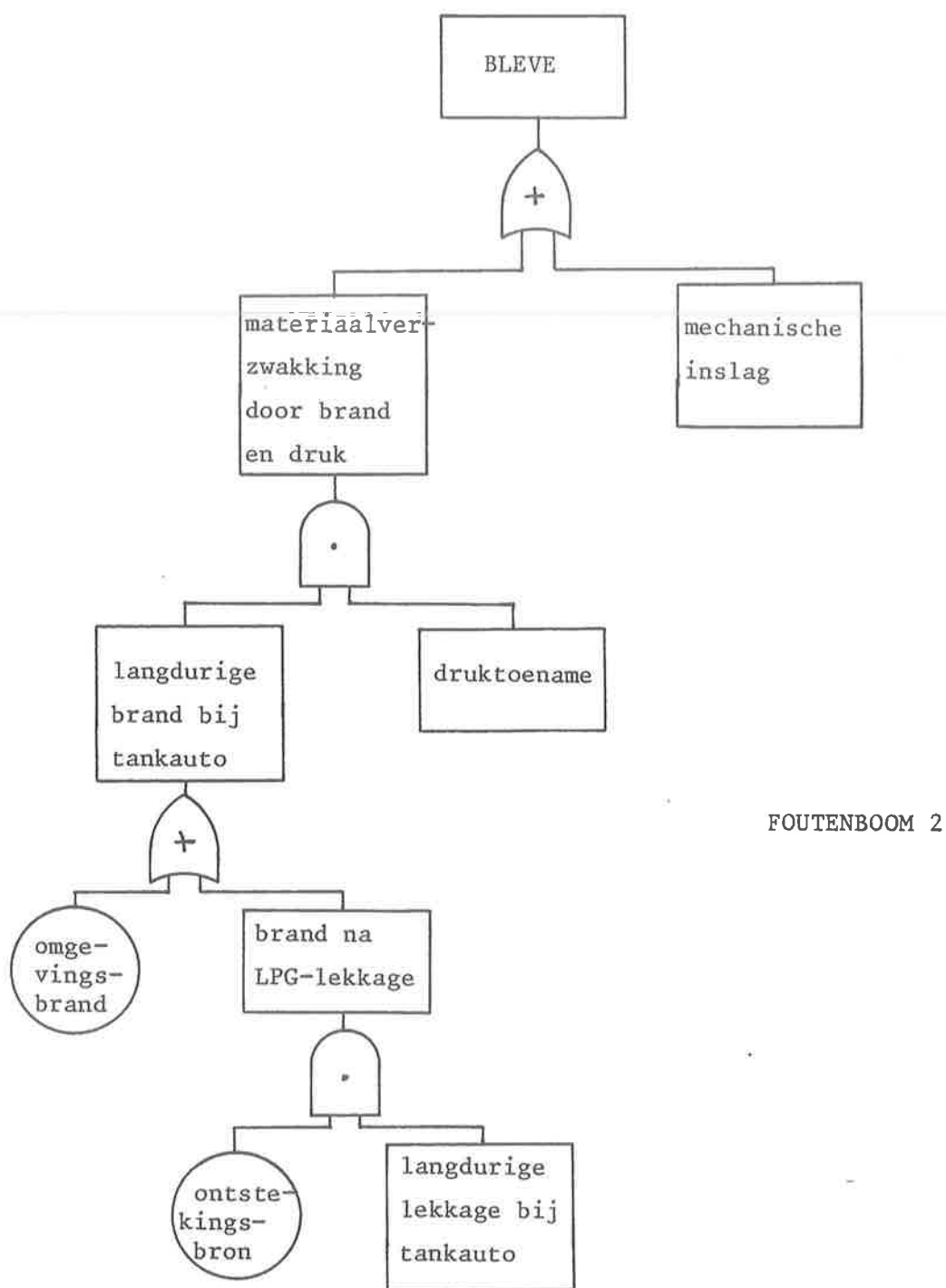
Bij de bepaling van de uiteindelijke frequentiereductie wordt een vereenvoudigde versie van foutenboom 1 gebruikt: nl. foutenboom 2, figuur 2.1, op grond van de hiervoor genoemde overwegingen

De basiskansen die gebruikt zijn voor de kans op ontsteking en druktoename worden gegeven in bijlage 3.

De frequentie van het optreden van een BLEVE wordt dus bepaald door:

- langdurige lekkage van LPG bij de tankauto;
- omgevingsbrand;
- mechanische inslag.

Op deze drie factoren wordt in deze studie nader ingegaan.



FIGUUR 2.1

3. LANGDURIGE LPG-LEKKAGE NABIJ DE LPG-TANKAUTO.

Een van de oorzaken van een BLEVE van de LPG-tankauto op een autotankstation is een brand ten gevolge van langdurige lekkage van LPG vanuit de tankauto of vanuit de opslagtank.

De frequentie van het optreden van deze lekkages wordt op de volgende manier bepaald:

1. Bepaling van de frequentie van optreden van de initiërende gebeurtenissen (zie 3.1).
2. Bepaling van de systeemreacties na het optreden van de initiërende gebeurtenissen (zie 3.2).
3. Bepaling van de kans op het optreden van de systeemreacties (zie 3.2).

De mogelijkheden om de lekkage-frequentie te reduceren met behulp van aanvullende voorzieningen aan de tankauto en aan de installatie en met behulp van nieuwe voorschriften worden eveneens in dit hoofdstuk beschouwd.

De getalsmatige onderbouwing van dit hoofdstuk wordt in bijlage 1 gegeven.

3.1 Initiërende gebeurtenissen en de frequentie van optreden

De initiërende gebeurtenissen worden in de LPG-Integraalstudie o.a. bepaald met behulp van storingsanalyse.

LPG-lekkages geven geringe directe effecten en schades en zijn daarom in de LPG-Integraalstudie op een globale wijze beschouwd. Lekkages kunnen echter wel een BLEVE initiëren; uitstromingen vanuit de tankauto en/of de opslagtank kunnen een BLEVE van de tankauto veroorzaken. In het onderhavige onderzoek wordt daarom naast breuk van een leiding tevens lekkage beschouwd.

De volgende initiërende gebeurtenissen zijn van belang voor het ontstaan van een BLEVE:

- falen van een dampretourleiding:
 - A: breuk dampleiding 2 van de tankauto;
 - B: lekkage dampleiding 2 van de tankauto;
 - C: breuk dampleiding 3 van de installatie (het gedeelte van de leiding dat zich bij het vulpunt bevindt);
 - D: lekkage dampleiding 3 van de installatie.

- falen van de vloeistofleiding.

E: breuk vloeistofleiding (7 van de tankauto of 4C van de installatie);

F: lekkage vloeistofleiding (7 (TA)/4C).

Zie voor de leidingnummers de tekeningen van de installatie en de tankauto in bijlage 7.

N.B.: Falen leiding 4 van de tankauto wordt niet verder uitgewerkt daar de frequentie van deze gebeurtenis te verwaarlozen is ten opzichte van de andere frequenties.

In tabel 3.1 worden de frequenties van de initiërende gebeurtenissen samengevat.

Tabel 3.1: Frequentie van de initiërende gebeurtenissen (zonder extra voorzieningen).

initiërende gebeurtenis	frequentie	herkomst/verwijzing
A breuk leiding 2 (TA)	$1.10^{-4}/\text{jr}$	LPG-I, 1123, blz.5-9
B lekkage leiding 2 (TA)	$1.10^{-3}/\text{jr}$	bijlage 1, blz. 5
C breuk leiding 3	$0,4.10^{-4}/\text{jr}$	bijlage 1, blz. 9
D lekkage leiding 3	$0,4.10^{-3}/\text{jr}$	bijlage 1, blz. 11
E breuk leiding 7 (TA)/4C	$1.10^{-4}/\text{jr}$	LPG-I, 1123, blz. 5-9
F lekkage leiding 7 (TA)/4C	$1.10^{-3}/\text{jr}$	bijlage 1, blz. 15

3.2 Systeemreacties; faalkansen van systeemreacties.

Bij het plaatsvinden van een van de genoemde initiërende gebeurtenissen, treedt LPG-uitstroming op. Deze uitstroming kan in de meeste gevallen gestopt worden door reacties van het systeem (automatisch of door menselijk handelen). Slechts in die gevallen waarin de uitstroming door het falen van de systeemreacties niet gestopt kan worden, treedt een langdurige lekkage op (continue uitstroming). In bijlage 1 wordt aangegeven welke systeemreacties mogelijk zijn bij de verschillende initiërende gebeurtenissen. Dit gebeurt aan de hand van gebeurtenissenbomen uit LPG-Integraal. Bij de bepaling van de kans op langdurige lekkage zijn nu uitsluitend die takken van de gebeurtenissenbomen van belang die een continue uitstroming vertegenwoordigen. Tevens wordt de faalkans bepaald van de systeemreacties (bijlage 1).

De faalkans wordt met behulp van foutenbomen bepaald wanneer een combinatie van het falen van veiligheidsvoorzieningen en handelingen van chauffeur of pompbediende de oorzaak van het falen is. In tabel 3.2 wordt een samenvatting van de bepaalde kansen gegeven.

Tabel 3.2: De faalkans van systeemreacties (zonder extra voorzieningen).

initiërende gebeurtenis/ gebeurtenissenboom	systeem reactie	kans	verwijzing in bijlage 1
A breuk leiding 2 (TA) gebeurtenissenboom 1 (g.b. 1)	falen afsluiten tankauto	0,1	blz. 2
	falen afsluiten opslagtank	0,012	blz. 3
B lekkage leiding 2 (TA) g.b. 1	falen afsluiten tankauto	0,25	blz. 5
	falen afsluiten opslagtank	0,012	blz. 6
C breuk leiding 3 g.b. 2	falen afsluiten tankauto	0,25	blz. 9
	falen afsluiten opslagtank	0,012	blz. 9
D lekkage leiding 3 g.b.2	falen afsluiten tankauto	0,063	blz. 11
	falen afsluiten opslagtank	0,012	blz. 11
E breuk leiding 7 (TA) /4C g.b. 3	pomp stopt niet	0,2	blz. 13
	falen afsluiten tankauto	0,5	blz. 13

zie voor vervolg pag. 13.

Tabel 3.2 vervolg: De faalkans van systeemreacties (zonder extra voorzieningen).

initiërende gebeurtenis/ gebeurtenissenboom	systeem reactie	kans	verwijzing in bijlage 1
F lekkage leiding 7(TA) /4C g.b. 4	falen terugslag- klep 6 (t.s.k.6)	0,15	blz. 13
	falen tsk 24	0,06	blz. 13
	falen afsluiten opslagtank	0,2	blz. 13
	falen afsluiten tankauto	0,025	blz. 15
	falen afsluiten opslagtank	0,012	blz. 16

3.3 De frequentie van het optreden van een langdurige lekkage.

De gegevens uit de vorige paragrafen gecombineerd leveren de frequentie van het optreden van een langdurige lekkage in de nabijheid van de tankauto.

In tabel 3.3 worden de frequenties van deze langdurige lekkages (continue uitstromingen) samengevat.

Tabel 3.3; Frequentie van langdurige lekkages (zonder extra voorzieningen).

initiërende gebeurtenis/ gebeurtenissenboom	frequentie langdurige lekkage per jaar
A breuk leiding 2 (TA), g.b. 1	$0,11 \cdot 10^{-4}$
B lekkage leiding 2 (TA), g.b. 1	$0,26 \cdot 10^{-3}$
C breuk leiding 3, g.b. 2	$0,10 \cdot 10^{-4}$
D lekkage leiding 3, g.b. 2	$0,30 \cdot 10^{-4}$
E breuk leiding 7 (TA)/4C, g.b. 3	$0,60 \cdot 10^{-4}$
F lekkage leiding 7 (TA)/4C, g.b. 4	$0,37 \cdot 10^{-4}$
Totaal	$0,41 \cdot 10^{-3}$

3.4 Reductie van de frequentie van langdurige lekkage.

In deze paragraaf wordt nagegaan wat de invloed is van een aantal extra voorzieningen aan de tankauto op de frequentie van langdurige lekkage.

Het gaat om de volgende voorzieningen:

1. Wegrijalarmering.
2. Binnenliggende afsluiters die afstandbedienbaar zijn en automatisch sluiten in geval van brand rond de tankauto.

Naast deze voorzieningen worden nog de volgende voorzieningen/voorschriften beschouwd:

3. Verhoging van de testfrequentie van de binnenliggende afsluiter tot eens in de 6 maanden.
4. Bij de LPG-verlading geen dampretour gebruiken.
5. In geval van brand rond de tankauto alle afstandbedienbare afsluiters van het LPG-systeem op het autotankstation automatisch afsluiten.

Punt 1 verlaagt de frequentie van de initiërende gebeurtenissen (zie 3.4.1). Punt 4 heeft tot gevolg dat breuk/lekkage van dampleidingen uitgesloten kan worden om een langdurige LPG-uitstroming te veroorzaken.

De punten 2, 3 en 5 hebben invloed op de systeemreacties. In het hiernavolgende wordt de reductie van de frequentie van langdurige lekkage bepaald. Voor de getalsmatige onderbouwing wat betreft de punten 1 en 2 wordt verwezen naar bijlage 1.

3.4.1 Reductie van de frequentie van de initiërende gebeurtenissen

Het aanbrengen van een wegrijalarmering verlaagt de kans op omvertrekken van het vulpunt (de tankauto wordt weggereden terwijl de losslang nog niet afgekoppeld is). De frequentiereductie ten gevolge van de wegrijalarmering is gering (ongeveer een factor 0,6) omdat andere faaloorzaken dezelfde grootte-orde qua frequentie hebben. Bij breuk/lekkage van leiding 2 en 7/4C wordt de breukfrequentie mede bepaald door de volgende faaloorzaken: falen koppeling, niet sluiten afsluiter vulpunt, beschadiging vulslang (zie LPG-I 1123 blz. 5-20). Bij breuk/lekkage van leiding 3 (C en D) bepaalt de kans op het omvertrekken van het vulpunt mede de breukfrequentie. In tabel 3.4 komt de (geringe) frequentiereductie tot uitdrukking. In deze tabel zijn de frequenties zoals ze in § 3.1 bepaald zijn voor de tankauto zonder aanvullende voorzieningen, eveneens opgenomen.

Tabel 3.4: Frequenties van initiërende gebeurtenissen (met extra voorzieningen).

initiërende gebeurtenis	frequentie	verwijzing	niet-gereduceerde frequentie (zie tabel 3.1)
A breuk leiding 2 (TA)	$1.10^{-4}/\text{jr}$	bijlage 1 blz.17	$1.10^{-4}/\text{jr}$
B lekkage leiding 2(TA)	$1.10^{-3}/\text{jr}$	bijlage 1 blz.21	$1.10^{-3}/\text{jr}$
C breuk leiding 3	$0,25.10^{-4}/\text{jr}$	bijlage 1 blz.23	$0,4.10^{-4}/\text{jr}$
D lekkage leiding 3	$0,25.10^{-3}/\text{jr}$	bijlage 1 blz.26	$0,4.10^{-3}/\text{jr}$
E breuk leiding 7 (TA) /4C	$1.10^{-4}/\text{jr}$	LPG-I, 1123, blz 5-9	$1.10^{-4}/\text{jr}$
F lekkage leiding 7(TA)/4C	$1.10^{-3}/\text{jr}$	bijlage 1, blz. 31	$1.10^{-3}/\text{jr}$

In het geval de LPG-verlading zonder gebruik van dampretour plaatsvindt, zijn slechts de initiërende gebeurtenissen E en F relevant (bij de overige gebeurtenissen kan dan geen uitstroming meer plaatsvinden).

3.4.2 Gereduceerde faalkansen op systeemreacties

Het aanbrengen van op afstand bedienbare afsluiters in de tank-auto, die automatisch sluiten in geval van brand, reduceert de faalkans van het afsluiten van de tankauto in geval van breuk of lekkage. In bijlage 1 is dit verder uitgewerkt.

Het verhogen van de testfrequentie van de bovengenoemde afsluiters tot eens per 6 maanden reduceert deze kans nog verder. Het aanbrengen van een automatisch afsluitsysteem voor de afstand-bedienbare afsluiters van het LPG-systeem op het autotankstation reduceert de faalkans op het afsluiten vanaf de opslagtank. In bijlage 4 wordt de getalsmatige onderbouwing van deze 2 laatste punten gegeven.

Eén en ander wordt samengevat in tabel 3.5. In deze tabel zijn de faalkansen zoals ze in § 3.2 bepaald zijn, voor de situatie zonder extra voorzieningen, ter vergelijking eveneens opgenomen.

initiërende gebeurtenis gebeurtenissenboom (g.b.)	systeemreactie: falen afsluiten tankauto (kansen per aanspraak)			systeemreactie: falen afsluiten opslagtank (kansen per aanspraak)	
	§ 3.2	automatisch afsluiten TA	testfrequentie 6 mnd.	§ 3.2	automatisch afsluiten opslagtank
A breuk leiding 2 (TA) g.b. 1	0,1	$0,26 \cdot 10^{-2}$	$0,42 \cdot 10^{-3}$	0,012	$0,48 \cdot 10^{-5}$
B lekkage leiding 2 (TA) g.b. 1	0,25	0,013	$0,21 \cdot 10^{-2}$	0,012	$0,81 \cdot 10^{-4}$
C breuk leiding 3 g.b. 2	0,25	0,026	$0,11 \cdot 10^{-2}$	0,012	$0,48 \cdot 10^{-5}$
D lekkage leiding 3 g.b. 2	0,063	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \cdot 10^{-3}$	0,012	$0,81 \cdot 10^{-4}$
E breuk leiding 7(TA)/4C g.b. 3 en g.b. 5	0,5	$0,78 \cdot 10^{-3}$	$0,13 \cdot 10^{-3}$	0,2	$0,48 \cdot 10^{-5}$
F lekkage leiding 7(TA)/4C g.b. 4	0,025	$0,13 \cdot 10^{-2}$	$0,22 \cdot 10^{-3}$	0,012	$0,81 \cdot 10^{-4}$

Tabel 3.5: kansen op systeemreacties (met extra voorzieningen)

3.4.3 Gereduceerde frequentie langdurige lekkage (resultaat)

De frequentie voor langdurige lekkage na het treffen van de voorzieningen is in de vorige paragrafen bepaald. In tabel 3.6 worden de frequenties afhankelijk van het wel/niet treffen van een aantal voorzieningen samengevat. Ter vergelijking is de frequentie van lekkage uit § 3.3 eveneens opgenomen (frequentie vòòr het treffen van voorzieningen).

Tabel 3.6: Frequenties voor langdurige lekkage (met extra voorzieningen).

wegrijalarming	automatisch afsluitsysteem tankauto	testfrequentie 6 mnd.	automatisch afsluitsysteem opslagtank	verlading zonder dampretour	frequentie langdurige lekkage
—	—	—	—	—	$0,42 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$ (zie § 3.3)
x	x	—	—	—	$0,44 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$
x	x	x	—	—	$0,31 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$
x	x	x	—	x	$0,12 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$
x	x	x	x	—	$0,26 \cdot 10^{-5}/\text{jr}$
x	x	x	x	x	$0,29 \cdot 10^{-6}/\text{jr}$

4. MECHANISCHE INSLAG VAN DE LPG-TANKAUTO DOOR AANRIJDINGEN.

In het kader van dit onderzoek heeft TNO-IWECO enige berekeningen uitgevoerd naar het gedrag van LPG-tankauto's in botsingssituaties. De belangrijkste conclusies uit die berekeningen worden hieronder weergegeven. Een uitgebreide rapportage is opgenomen in bijlage 2.

Uitgaande van een tweedimensionaal model van een loodrechte botsing van een vrachtwagen met een massa van 26 ton tegen een volle LPG-tankwagen die langs een stoep staat geparkeerd is gevonden dat bij een snelheid van de vrachtwagen van meer dan 30 km/h de geramde tankwagen zou kunnen kantelen. Uitgaande van een vrachtwagen met een massa van 50 ton zou de tankwagen kunnen kantelen bij een snelheid van de vrachtwagen van meer dan 20 km/h. Als de tank van de tankwagen vervolgens op een paaltje terecht komt is er, mits het paaltje voldoende stijf is en op een voldoende harde ondergrond staat, een reële kans op lekkage. Als een personenwagen loodrecht op de tank van de gekantelde LPG-tankwagen botst zal, mits er geen scherpe randen op de personenauto ontstaan, geen lekkage optreden als de snelheid van de personenauto lager is dan 80 km/h. Alle hierboven genoemde getallen moeten natuurlijk worden gezien in het licht van de vereenvoudigde analyse. Als zodanig geven ze een orde van grootte aan.

De hierboven gegeven berekeningsresultaten worden nu gebruikt om een differentiatie te maken naar kansen op uitstroming van LPG ten gevolge van aanrijding van de LPG-tankauto afhankelijk van de mogelijke snelheden van verkeer ter plaatse en de mogelijke aanrijdingsplaats (achterop, opzij). Deze differentiatie vindt plaats door na te gaan of op specifieke situeringen van opstelplaatsen uitstroming van LPG ten gevolge van een aanrijding mogelijk is en zo ja door welk botsingsscenario (snelheid/ achterop, opzij enz.).

Op deze wijze is het mogelijk te stellen dat een aantal botsingsscenario's voor specifieke situeringen van opstelplaatsen geen LPG-uitstroming tot gevolg zal hebben. Dit uiteraard met dezelfde (on)nauwkeurigheid die door TNO-IWECO wordt aangegeven.

4.1 Kans op een aanrijding van een LPG-tankauto tijdens lossen op een autotankstation.

De aanrijdingsfrequentie (A) wordt in de LPG-Integraalstudie met behulp van de volgende gegevens bepaald:

B. Aantal aanrijdingen met geparkeerde vrachtvoertuigen per jaar, waarbij letsel is opgetreden B = 221,

waarvan aanrijdingen door personenauto's: 204 = 92%

aanrijdingen door zwaar verkeer: 17 = 8%.

C. Fractie van het totale vrachtvervoer dat LPG-tankauto is, berekend op basis van afgelegde kilometers C = $2 \cdot 10^{-3}$.

D. Fractie van de tijd dat een geparkeerde LPG-tankauto op een autotankstation geparkeerd is D = 0,5.

E. Aantal autotankstations waar LPG verkocht wordt, E = 1500.

De frequentie dat een LPG-tankauto tijdens het lossen op een autotankstation aangereden wordt, kan als volgt berekend worden:

$$A = \frac{B \times C \times D}{E} = \frac{221 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}{1500}$$

$$A = 1,5 \cdot 10^{-4} / \text{j.}$$

4.2 Botsingsscenario's

De volgende botsingsscenario's worden onderscheiden:

1. personenauto botst achterop de tankauto;
2. personenauto botst opzij, tegen de leidingkast^{*)} van de tankauto;
3. personenauto botst opzij tegen de tankauto (niet tegen de leidingkast);
4. vrachtauto botst achterop de tankauto;
5. vrachtauto botst opzij, tegen de leidingkast van de tankauto;
6. vrachtauto botst opzij tegen de tankauto;
7. de tankauto rijdt achteruit tegen een star lichaam.

Wanneer de tankauto opzij door een vrachtauto aangereden wordt met een snelheid hoger dan 20 km/h is aangenomen dat de tankauto kantelt, hierbij wordt veronderstelt dat de tankauto tegen een

^{*)} Er wordt hier vanuit gegaan dat in de toekomst bij de tankauto's de bodemklep altijd onder de tank geplaatst is. Alleen wanneer de leidingkast tussen de wielen van de tankauto geplaatst is, kan bij een aanrijding de bodemklep zo vervormd worden dat lekkage optreedt.

stoeprand geparkeerd staat (zie bijlage 2). Ten gevolge hiervan kunnen de volgende botsingsscenario's nog gedefinieerd worden:

6a. de tankauto kantelt en komt op een paaltje terecht;

6b. de gekantelde tankauto wordt door een personenauto aangereden.

6c. de gekantelde tankauto wordt door een vrachtauto aangereden.

In tabel 4.1 wordt aangegeven welke botsingsscenario's lekkage tot gevolg kunnen hebben, en de minimale snelheden van het aanrijdende voertuig waarbij lekkage kan optreden (zie IWECO-rapport bijlage 2).

Tabel 4.1: Omschrijving botsingsscenario's.

mogelijk- heid	korte omschrijving	lekkage mogelijk	v. max.: maximale snelheid om lek- kage uit te sluiten	scenario nummer
1	personenauto achterop	—	—	I
2	personenauto opzij op leidingkast	x	30 km/h	
3	personenauto opzij niet op leiding- kast	—	—	
4	vrachtauto achterop	—	— *)	II
5	vrachtauto opzij op leidingkast	x	15 km/h *)	
6	vrachtauto opzij	—	—	
6a	kantelen op paaltje	x	20 km/h	III
6b	personenauto op gekantelde tankauto	x	80 km/h	IV
6c	vrachtauto op gekantelde tankauto	x	15 km/h	V
7	achteruit tegen star lichaam	x	< 10 km/h	VI

*) Deze gegevens worden niet in het IWECO rapport gegeven, maar zijn een inschatting op basis van vergelijking met scenario I en beschouwing over energieopname van de bumpers.

De in tabel 4.1 weergegeven minimumsnelheden waarbij lekkage kan optreden leidt tot het uitsluiten van de mogelijkheid van LPG-uitstroming voor de in tabel 4.2 weergegeven situaties.

Tabel 4.2: Uitsluiten scenario's op basis van snelheden.

voorkomende snelheden zijn lager dan:	scenario dat uitgesloten wordt:
80 km/h	IV
30 km/h voor zijdelingse aanrijdingen	I
15 km/h	II, III, V

4.3 Kansenschatting botsingsscenario's

De volgende kansen zijn bepaald:

- A : de aanrijdingsfrequentie (zie § 4.1).
 $A = 1.5 \cdot 10^{-4} / \text{jr.}$
- p(personenauto) : de fractie van de aanrijdingen die door personenauto's gebeuren.
 $p(\text{personenauto}) = 0,92$ (zie § 4.1).
- p(vrachtauto) : de fractie van de aanrijdingen die door vrachtauto's gebeuren.
 $p(\text{vrachtauto}) = 0,08$ (zie § 4.1).
- p(zijkant) en p(achterkant) : de kans dat LPG-tankauto van opzij of van achteren aangereden wordt. Verondersteld is dat meer aanrijdingen tegen de achterkant plaatsvinden dan aan de zijkant.
 $p(\text{zijkant}) = 0,4$.
 $p(\text{achterkant}) = 0,6$.
- p(leidingkast) : de kans dat bij een aanrijding tegen de zijkant van de tankwagen, de leidingkast aangereden wordt. De leidingkast bestaat uit een vijfde deel van de lengte van de tank. Meegerekend dat het aanrijdende voertuig

gedeeltelijk de leidingkast kan raken wordt de volgende kans verondersteld:

$$p(\text{leidingkast}) = 0,33.$$

$p(\text{obstakel})$: de kans dat wanneer de tankauto kantelt, deze op een obstakel terecht komt dat de tank kan doorboren. Gegeven het feit dat bij de opstelplaats van de tankauto een reële kans op de aanwezigheid van obstakels bestaat wordt de volgende kans verondersteld:

$$p(\text{obstakel}) = 0,1.$$

H : handelingsfout van de chauffeur (Zie LPG-I, 1113).

$$H = 5 \cdot 10^{-4}/a.$$

$p(\text{star object})$: de kans dat indien de tankauto achteruit wordt weggereden, zich een star object achter de tankauto bevindt.

Deze kans is vrij laag ingeschat vanwege de algemene uitvoering van autotankstations.

$$p(\text{star object}) = 0,001.$$

O : aantal overslagen per jaar (zie hoofdstuk 5).

$$O = 100/\text{jr.}$$

$p(\text{instantane uitstroming})$: - gegeven een aanrijding van de tank met voldoende snelheid (tabel 4.1):
de kans dat instantane uitstroming (BLEVE door mechanische inslag) optreedt

$$p(\text{instantaan}) = 0,1.$$

- gegeven een aanrijding van de leidingkast met voldoende snelheid (zie tabel 4.1):

de kans dat zodanige schade aan de leidingkast c.q. tank ontstaat dat een instantane uitstroming optreedt. Deze kans wordt een orde lager geschat dan de kans bij direct aanrijden van de tank van de tankauto.

$$p(\text{instantaan}): 0,01.$$

De frequentie wordt voor de verschillende botsingsscenario's bepaald:

$$f(I) = A \cdot p(\text{personenauto}) \cdot p(\text{zij}) \cdot p(\text{leidingkast}) \cdot p(\text{instantane uitstroming}).$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,92 \cdot 0,4 \cdot 0,33 \cdot 0,01.$$

$$= 1,8 \cdot 10^{-7} / \text{jr.}$$

$$f(II) = A \cdot p(\text{vrachtauto}) \cdot p(\text{zij}) \cdot p(\text{leidingkast}) \cdot p(\text{instantane uitstroming}).$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,08 \cdot 0,4 \cdot 0,33 \cdot 0,01.$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-8} / \text{jr.}$$

$$f(III) = A \cdot p(\text{vrachtauto}) \cdot p(\text{zij}) \cdot p(\text{geen leidingkast}) \cdot p(\text{paaltje}) \cdot p(\text{instantane uitstroming}).$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,08 \cdot 0,4 \cdot 0,67 \cdot 0,1 \cdot 0,1.$$

$$= 3,2 \cdot 10^{-8} / \text{jr.}$$

$$f(IV) = A \cdot p(\text{vrachtauto}) \cdot p(\text{zij}) \cdot p(\text{geen leidingkast}) \cdot A \cdot p(\text{personenauto}) \cdot p(\text{instantane uitstroming}).$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,08 \cdot 0,4 \cdot 0,67 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,92 \cdot 0,1.$$

$$= 4,4 \cdot 10^{-11} / \text{jr.}$$

$$f(V) = A \cdot p(\text{vrachtauto}) \cdot p(\text{zij}) \cdot p(\text{geen leidingkast}) \cdot A \cdot p(\text{vrachtauto}) \cdot p(\text{instantane uitstroming}).$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,08 \cdot 0,4 \cdot 0,67 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,08 \cdot 0,1.$$

$$= 3,9 \cdot 10^{-12} / \text{jr.}$$

$$f(VI) = H \cdot H \cdot p(\text{star objekt}) \cdot p(\text{instantane uitstroming}) \cdot 0.$$

$$= 5 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,001 \cdot 0,1 \cdot 100.$$

$$= 2,5 \cdot 10^{-9} / \text{a.}$$

Tabel 4.3: Samenvatting kansschatting botsingsscenario's.

botsingsscenario	frequentie
I	$1,8 \cdot 10^{-7} / \text{jr.}$
II	$1,6 \cdot 10^{-8} / \text{jr.}$
III	$3,2 \cdot 10^{-8} / \text{jr.}$
IV	$4,4 \cdot 10^{-11} / \text{jr.}$
V	$3,9 \cdot 10^{-12} / \text{jr.}$
VI	$2,5 \cdot 10^{-9} / \text{jr.}$

4.4 De frequentie van een BLEVE door mechanische inslag

De frequentie van een BLEVE door mechanische inslag wordt bepaald door verschillende mogelijke situeringen van opstelplaatsen van LPG-tankauto's bij autotankstations in relatie met voorkomende rijksnelheden en mogelijkheden voor de verschillende botsings-scenario's.

Gegevens uit § 4.2 over de minimale aanrijdingssnelheden en gegevens uit § 4.3 met betrekking tot de frequenties van de botsingsscenario's worden hierbij gebruikt.

In tabel 4.5 zijn verschillende voorbeeldsituaties van opstelplaatsen die beschouwd zijn, opgenomen. Voor die situaties is op basis van een beschouwing over voorkomende rijksnelheden en mogelijkheden tot aanrijdingen een frequentie van mechanische inslag bepaald. Er wordt op gewezen dat het slechts voorbeelden tot hantering van mechanische inslag betreft. Voor specifieke situaties is het denkbaar dat meer of minder scenario's worden uitgesloten dan is aangegeven. Dat geldt bijvoorbeeld voor situatie A, wanneer de opstelplaats gelegen is aan een T-splitting.

Op plaatsen waar snelheden boven de 80 km/h niet zijn toegestaan of aanrijdingssnelheden boven de 80 km/h niet mogelijk zijn wordt scenario IV uitgesloten. Zo zal voor autotankstations aan wegen met maximale snelheden < 80 km/h en voor autotankstations met opstelplaatsen niet op de openbare weg scenario IV worden uitgesloten.

Qua frequentie echter is scenario IV te verwaarlozen ten opzichte van de frequentie van de andere scenario's.

Op plaatsen waar snelheden bij zijdelingse aanrijdingen boven de 30 km/h niet mogelijk worden geacht, wordt scenario I uitgesloten.

Deze situatie wordt geacht aanwezig te zijn bij opstelplaatsen waar de maximaal toegestane snelheid 50 km/h is, en op die plaatsen waar het verkeer vanuit stilstand weggrijdt en waar eventueel hogere snelheden toegestaan zijn (voorbeeld situatie E en G).

Het uitsluiten van scenario I heeft een frequentiereductie met een factor ± 10 tot gevolg.

Op plaatsen waar aanrijdingssnelheden hoger dan 15 km/h niet voorkomen worden scenario II, III en V uitgesloten. Deze situatie wordt alleen daar aanwezig verondersteld waar de opstelplaats niet bereikbaar is, voor eventueel uit de koers geraakt of langskomend verkeer (voorbeeld situatie H).

Het uitsluiten van de scenario's II, III en V heeft nog een verdere frequentiereductie met een factor ± 10 tot gevolg.

Dit kan als volgt in tabel 4.4 samengevat worden:

Tabel 4.4: Gereduceerde frequentie van mechanische inslag gedifferentieerd naar de situatie van de opstelplaats.

plaats	frequentie
. "geïsoleerde" opstelplaats	$2,5 \cdot 10^{-9}/\text{jr.}$
. toegestane snelheid 50 km/h . toegestane snelheid 70 km/h . opstelplaats op wegrijstrook	$4,8 \cdot 10^{-8}/\text{jr.}$
. overige situaties	$2,3 \cdot 10^{-7}/\text{jr.}$

In tabel 4.5 worden een aantal mogelijke situaties gespecificeerd als voorbeeld.

In het geval de opstelplaats voor de tankauto "geïsoleerd" is ten opzichte van het overige verkeer en de frequentie van een mechanische inslag tot zover gereduceerd is, gaan andere ongevals-scenario's qua frequentie weer een rol spelen. Bijvoorbeeld kantelen van de tankauto ten gevolge van een verkeerde manoeuvre door de chauffeur of door te snel een bocht doorrijden. In bijlage 5 wordt een globale schatting van de frequentie van dit scenario opgenomen. Deze frequentie bedraagt $\pm 3 \cdot 10^{-9}/\text{jr.}$

Als minimale frequentie voor mechanische inslag wordt $5 \cdot 10^{-9}/\text{jr}$ gebruikt.

Tabel 4.5: Voorbeeldsituaties opstelpunt t.o.v. de rijweg

SITUATIE	toegestane snelheid < 70 km/h			toegestane snelheid > 70 km/h		
	maximale aanrijdings- snelheden v_{\max} in km/h	uitgesloten scenario's (zie tabel 4.2)	frequentie mechanische inslag	maximale aanrijdings- snelheden v_{\max} in km/h	uitgesloten scenario's (zie tabel 4.2)	frequentie mechanische inslag
A	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $v_{\max} > 80$ zij: $30 < v_{\max} < 80$	—	$2,3 \cdot 10^{-7}$
B	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $30 < v_{\max} < 80$	IV	$2,3 \cdot 10^{-7}$
C	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $30 < v_{\max} < 80$	IV	$2,3 \cdot 10^{-7}$
D	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $30 < v_{\max} < 80$	IV	$2,3 \cdot 10^{-7}$
E	achterop: $15 < v_{\max} < 30$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $15 < v_{\max} < 30$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$
F	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $30 < v_{\max} < 80$ zij: $30 < v_{\max} < 80$	IV	$2,3 \cdot 10^{-7}$
G	achterop: $15 < v_{\max} < 30$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$	achterop: $15 < v_{\max} < 30$ zij: $15 < v_{\max} < 30$	I, IV	$4,8 \cdot 10^{-8}$
H	achterop: $v_{\max} < 15$ zij: $v_{\max} < 15$	I, II, III IV, V	$5 \cdot 10^{-9}$	achterop: $v_{\max} < 15$ zij: $v_{\max} < 15$	I, II, III IV, V	$5 \cdot 10^{-9}$

• : vulpunt opstelpaats.

Toelichting: Het uitsluiten van alleen scenario IV ($f=4,4 \cdot 10^{-11}$ /jr, zie tabel 4.3) heeft geen frequentiereductie tot gevolg. Het uitsluiten van scenario I ($f=1,8 \cdot 10^{-7}$ /jr) heeft een reductie van \pm een factor 10^{-3} tot gevolg. Het (naast ook scenario I) uitsluiten van de scenario's II ($f=1,6 \cdot 10^{-3}$ /jr), III ($f=3,2 \cdot 10^{-3}$ /jr) en scenario V ($f=3,9 \cdot 10^{-12}$ /jr) heeft nog een verdere reductie met \pm een factor 10 tot gevolg. Voor deze reductie zij het uitsluiten van de scenario's II en III verantwoordelijk.

5. OMGEVINGSBRAND.

De frequentie van een brand op een autotankstation is berekend met behulp van gegevens van het CBS. Een aantal van deze branden kunnen aangemerkt worden als omgevingsbrand voor de LPG-tankauto op de opstelplaats bij het vulpunt. Branden ten gevolge van lekkage van het LPG-systeem (Tankauto en/of LPG-opslag) zijn geen omgevingsbranden.

Op basis van casuïstiek uit databank FACTS (TNO) is het mogelijk branden te koppelen aan bepaalde plaatsen/activiteiten op autotankstations.

Op deze manier is het mogelijk een onderscheid te maken naar opstelplaatsen voor de tankauto met betrekking tot de mogelijkheden van veroorzaken van een BLEVE van de tankauto. Hierbij spelen dan afstanden van de opstelplaats tot gebouwen, opstelplaats benzine tankauto enz. een rol.

5.1 De frequentie van een brand op een autotankstation.

Bij de berekening van deze frequentie wordt van de volgende gegevens gebruik gemaakt:

Aantal branden bij autotankstations in Nederland.									
Jaar	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Aantal	4	6	6	12	7	7	7	7	11

Gemiddeld aantal branden per jaar: 7,4 (=Nb.) Bron: CBS.

- Aantal autotankstations in Nederland.

Jaar	1977	1983
Aantal	8000	8600

Gemiddeld: 8300 (=Ns) Bron: CBS en BOVAG.

- Verblijftijd op een autotankstation:

doorzet	: 500 ton/jr
max. overslagdebiet	: 20 m ³ /hr
overslaghoeveelheid	: 10 m ³
overslagduur	: 30 min. per overslag
verblijftijd	: 45 min. per overslag
bij 100 overslagen per jaar	: verblijftijd: 0,009 jr. (=f)

De kans op een brand op een autotankstation terwijl daar een LPG-tankauto aanwezig is, wordt nu:

$$\frac{N_b}{N_s} * f = \frac{7,4}{8300} * 0,009 = 8.10^{-6} / \text{jr.}$$

5.2 Brand op een autotankstation gedifferentieerd naar plaats/activiteit.

De CBS-gegevens (5.1) geven geen informatie over de lokatie van de branden op de autotankstations.

Daarom zijn op basis van casuïstiek uit databank FACTS, 40 branden op autotankstations gedifferentieerd naar plaats c.q. activiteit. Deze casuïstiek betreft 35 branden uit de "CBS" periode 1975-1983 (54%), 3 branden uit 1984 en 2 van voor 1975. Onderzocht is welke van de geregistreeerde branden qua omvang en tijdsduur voldoende groot zijn om in principe een BLEVE van een LPG-tankauto te kunnen veroorzaken.

In tabel 5.1 worden de resultaten hiervan samengevat.

Tabel 5.1: Differentiatie van branden op autotankstations naar plaats en omvang.

Plaats	Aantal branden	Aantal branden qua omvang/tijdsduur zodanig dat ze een tank-auto langdurig zouden kunnen aanstralen	Fractie van de branden
Totaal aantal onderzochte branden	40		
LPG-afleverzuil t.b.v. personenauto's	15	2	0,05 ^{*)}
Benzine afleverzuil t.b.v. personenauto's	4	1	0,025
Opstelplaats benzine-tankauto	2	2	0,05
Gebouwen	6	6	0,15
Overig	1	1	0,025
Branden t.g.v. de verlading van LPG bij de opstelplaats voor LPG-tankauto's of t.g.v. de LPG-opslag. Deze branden zijn geen "omgevingsbranden" maar branden t.g.v. lekkage van het LPG-systeem.	12		

*) Bij een automatisch afsluitsysteem van de LPG-installatie in geval van brand wordt deze fractie met meer dan een factor 100 verlaagd.

5.3 Maximale afstanden voor BLEVE-potentie van omgevingsbranden.

Per plaats/activiteit, zoals deze in tabel 5.1 genoemd worden, kan een maximale afstand ($a_{\max.}$) toegekend worden. Buiten $a_{\max.}$ is de kans dat een BLEVE veroorzaakt worden door een brand op de desbetreffende plaats verwaarloosbaar klein. Dit gemiddeld genomen. Er kunnen zich op specifieke lokaties omstandigheden voordoen (opstelplaats LPG-tankauto zodanig dat benzinelekkage zich ook op grotere afstanden onder de LPG-tankauto verzamelen kan bijv.) dat de kans dat een dergelijke brand de LPG-tankauto treft groter is.

Voor wat betreft de branden bij de afleverpunten van benzine en LPG en bij de opstelplaats voor de benzine-tankauto, is de maximale afstand voor direct vlamcontact gelijk gesteld aan $a_{\max.}$. De maximale afstanden voor direct vlamcontact zijn afkomstig uit de LPG-Integraalstudie.

Plaats/activiteit	$a_{\max.}$ in m.
Brand bij de LPG-afleverzuil (fakkel)	15
Brand bij de benzine afleverzuil (plasbrand)	5
Brand bij de opstelplaats van de Benzine-tankauto (BLEVE plaatstalen tankauto).	25

De maximale afstand ($a_{\max.}$) voor brand in gebouwen wordt gebaseerd op gegevens van de stralingsterkte van branden in gebouwen [lit. 1] en de hoeveelheid warmte die een LPG-tankauto kan verdragen zonder te bezwijken (zie bijlage 6).

	$a_{\max.}$ in m.
* gebouw zonder brandbescherming	
hoogte < 5 m	5
5 m < hoogte < 10 m	10
hoogte > 10 m	20
* gebouw met brandbescherming (50% gevelopeningen)	
hoogte < 5 m	2,5
5 m < hoogte < 10 m	5
hoogte > 10 m	15

Voor de branden onder het kopje "overig" wordt geen maximale schadeafstand bepaald ($a_{\max.} = 0$ m). Deze branden zijn een verzameling van allerlei branden die zich overal op het autotankstation kunnen voordoen.

5.4 Frequentie van een omgevingsbrand gedifferentieerd naar plaats.

De frequentie van een omgevingsbrand voor een LPG-tankauto kan met behulp van gegevens uit de vorige paragrafen berekend worden. Voor een specifiek autotankstation kan worden nagegaan of de opstelplaats van de LPG-tankauto binnen de maximale afstand van de verschillende branden valt (§ 5.3).

De fractie van de branden die in principe een BLEVE kunnen veroorzaken wordt bepaald (§ 5.2). Deze fractie vermenigvuldigt met de frequentie van een brand op een autotankstation (§ 5.1), levert de frequentie voor een omgevingsbrand voor het onderzochte autotankstation.

Voorbeeld:

. afstand opstelplaats LPG tankauto tot:

- LPG-afleverzuil	10 m
- benzine afleverzuil	10 m
- opstelplaats benzine tankauto	15 m
- gebouw (hoogte 3 m)	5 m

. fractie van de branden die plaatsvinden bij de:

- LPG-afleverzuil	0,05
- opstelplaats benzine tankauto	0,05
- overig	0,025

. frequentie omgevingsbrand:

$$(0,05 + 0,05 + 0,025) * 8 \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 10^{-6} / \text{jr.}$$

In tabel 5.2 worden de frequenties voor omgevingsbranden in schema gebracht.

Tabel 5.2: Frequentie van omgevingsbranden gedifferentieerd naar plaats.

afstand van de tankauto op de opstelplaats binnen:					CATEGORIE frequentie omgevingsbrand/jr
15 m vanaf LPG-aflieferzuil	5 m vanaf de benzine aflieferzuil	25 m vanaf de opstelplaats voor benzine-tankauto's	a_{\max} voor gebouwen (zie § 5.3)	overig ($a_{\max} = 0$)	
x x x x	x x x x	x x x x	x x x x x x	x x x x x x	1 $2 \cdot 10^{-6}$
x x	x	x x	x	x x x	2 $1 \cdot 10^{-6}$
x	x x	x		x x	3 $8 \cdot 10^{-7}$
x		x		x x	4 $6 \cdot 10^{-7}$
	x			x	5 $4 \cdot 10^{-7}$
				x	6 $2 \cdot 10^{-7}$

5.5 Reductie van de frequentie van omgevingsbranden.

De frequentie van een omgevingsbrand voor de LPG-tankauto kan aanzienlijk gereduceerd worden door het nemen van maatregelen en het uitbreiden van de voorschriften waaronder LPG-overslag naar de opslagtank plaatsvindt.

De invloed op de frequentie van de BLEVE van de volgende twee voorschriften/maatregelen wordt beschouwd:

1. Het niet gelijktijdig lossen van een LPG-tankwagen en een andere tankwagen voor motorbrandstoffen, tenzij de LPG-tankwagen zich op meer dan 25 m afstand bevindt van deze tankwagen.
2. Het LPG-tankstation is met zodanige voorzieningen uitgerust dat indien de tankwagen uitwendig wordt verhit (b.v. door omgevingsbrand) zodanig dat de tankauto kan bezwijken, alle op afstand bedienbare afsluiters van het LPG-systeem automatisch sluiten.

Punt 1 heeft tot gevolg dat de fractie van de branden, bij de opstelplaats voor de benzine-tankauto, uitgesloten wordt geacht een BLEVE te kunnen veroorzaken. Punt 2 heeft tot gevolg dat de frequentie van langdurige uitstromingen bij de LPG-afleverzuil verlaagd wordt. Deze frequentie wordt niet meer bepaald door het falen van de bediening maar door het falen van de afsluiter op de opslagtank ($f = 8 \cdot 10^{-5}/a$). De fractie van de branden bij het LPG-afleverpunt welke voldoende groot geacht worden een BLEVE van de tankauto te kunnen veroorzaken wordt met een factor groter dan 100 gereduceerd (zie ook bijlage 4). Qua frequentie worden deze branden dan verwaarloosbaar ten opzichte van de andere mogelijkheden voor omgevingsbrand.

Deze punten worden verwerkt in tabel 5.2 en dit resulteert in tabel 5.3.

Tabel 5.3: Gereduceerde frequentie voor omgevingsbranden
gedifferentieerd naar plaats.

afstand vanaf de tankauto op de opstelplaats, binnen:			CATEGORIE	frequentie omgevings- brand/jr
5 m vanaf benzine af- leverzuil	a _{max} vanaf gebouwen	overig a _{max} = 0		
x	x	x	1	$2 \cdot 10^{-6}$
	x	x	2	$1 \cdot 10^{-6}$
x		x	5	$4 \cdot 10^{-7}$
		x	6	$2 \cdot 10^{-7}$

6. RESULTATEN

6.1 BLEVE-frequentie.

De frequentie van het optreden van een BLEVE van de tankauto kan door het treffen van een aantal technische voorzieningen gereduceerd worden. De reductie is bepaald ten opzichte van de situatie in de LPG-Integraalstudie en betreft de volgende extra voorzieningen:

- 1) Op meerdere plaatsen afstand bedienbare pneumatische binnenliggende afsluiters onder de tank van de tankauto.
- 2) Testfrequentie van bovengenoemde afsluiters, eens in de 6 maanden.
- 3) De tankauto is voorzien van een systeem, dat in geval van brand bij de tankauto, de afsluiters van de tankauto automatisch sluit.
- 4) Het LPG-tankstation is met zodanige voorzieningen uitgerust, dat indien de LPG-tankwagen uitwendig wordt verhit, zodanig dat de tank kan bezwijken, alle op afstand bedienbare afsluiters van het LPG-systeem automatisch sluiten.
- 5) De verlading geschiedt zonder gebruik te maken van de dampretourleidingen.
- 6) Het is verboden een tankwagen met motorbrandstof gelijktijdig met een LPG-tankwagen te lossen, tenzij de afstand tussen beide meer dan 25 m bedraagt.
- 7) De tankauto is uitgerust met een wegrijalarmering.

Bij de bepaling van de BLEVE-frequentiereductie is nader onderscheid gemaakt naar reductiemogelijkheden voor langdurige lekkage (hfdst. 3), mechanische inslag (hfdst. 4) en omgevingsbrand (hfdst. 5).

Deze basisgebeurtenissen bepalen de kans op een BLEVE (zie foutenboom, figuur 6.1).

De voorzieningen 1 tot en met 5 hebben invloed op de frequentie van langdurige lekkage; maatregel 6 op de frequentie van omgevingsbrand.

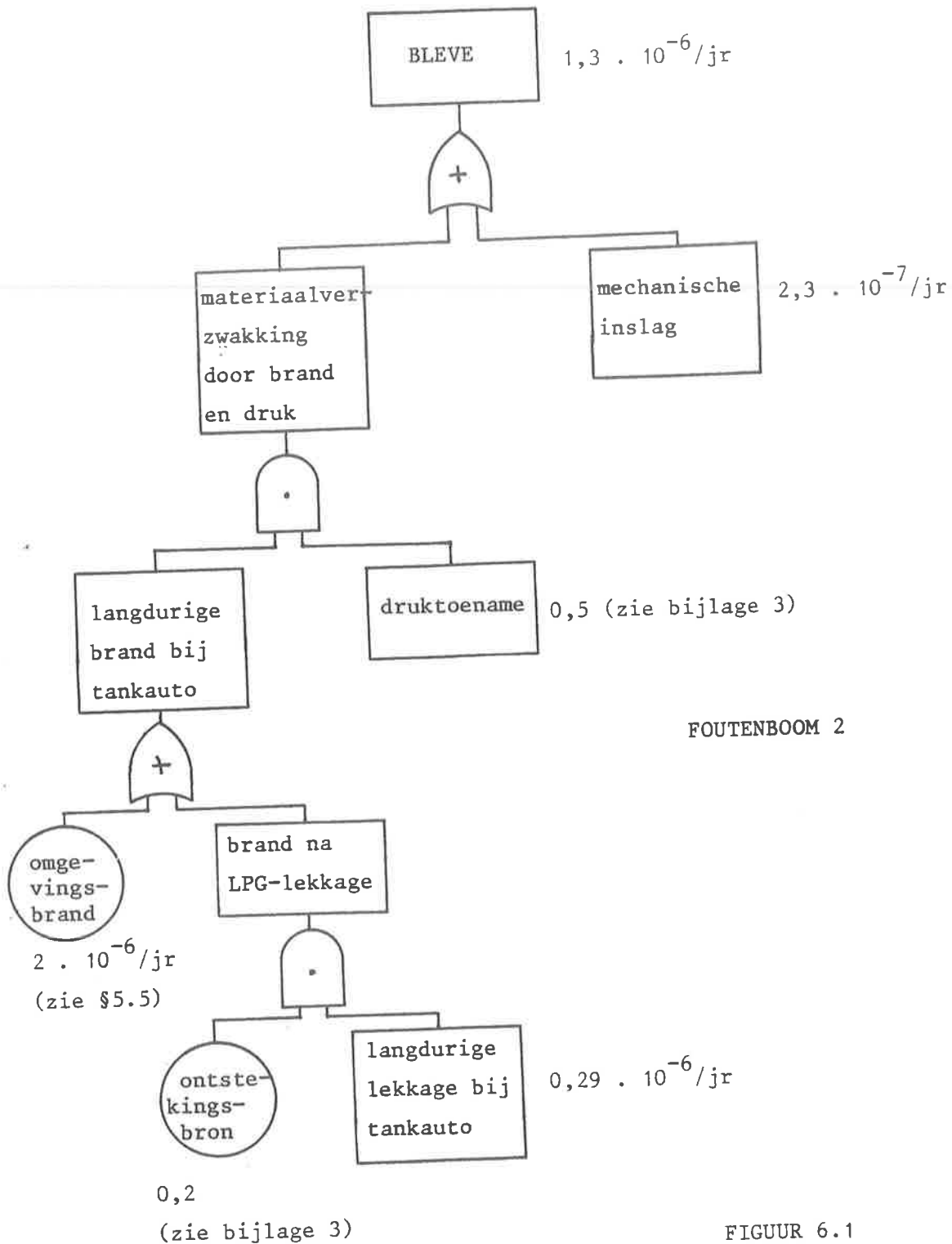
Situering opstelplaats LPG-tankauto:

Verder zijn afhankelijk van de situering van de opstelplaats van de LPG-tankwagen op het autotankstation de frequentie van een mechanische inslag en omgevingsbrand bepaald.

In tabel 6.1 wordt voor de verschillende mogelijke opstelplaatsen van de tankauto de frequentie van een BLEVE bepaald met behulp van foutenboom 2. Figuur 6.1 geeft een voorbeeld van de methode. De BLEVE-frequentie in de situatie zonder de extra voorzieningen wordt eveneens met deze methodiek bepaald $f(\text{BLEVE, oud})$: $4,2 \cdot 10^{-5}/\text{jr}$ (zie tabel 6.1).

Hierbij worden de frequenties van omgevingsbrand en mechanische inslag gebruikt zoals zij in de LPG-Integraalstudie vermeld zijn. De berekende BLEVE-frequenties voor de tankauto met extra voorzieningen en een differentiatie naar omgevingsbrand en mechanische inslag, worden aan $f(\text{BLEVE, oud})$ gerelateerd. Hieruit volgt een reductiefactor voor de BLEVE-frequentie.

Deze reductiefactor wordt toegepast op de door casuïstiek bepaalde BLEVE-frequentie van een tankauto op een autotankstation. Het resultaat hiervan wordt gebruikt bij de bepaling van de f-x-krommen.



FIGUUR 6.1

$$F(\text{BLEVE}) = \{(0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2) + 2 \cdot 10^{-6}\} \cdot 0,5 + 2,3 \cdot 10^{-7} = 1,3 \cdot 10^{-6}/\text{jr}$$

Tabel 6.1: BLEVE-frequentie.

frequentie langdurige lekkage/jr (zie § 3.4.3.)	frequentie omgevings- brand/jr (zie § 5.5)	frequentie mechanische inslag/jr (zie § 4.4)	tussen resul- taat BLEVE-frequentie /jr. (volgens foutenboom methodiek)	reductie- factor	Resultaat BLEVE- frequentie/jr (gebaseerd op op casuïstiek)	nummer (zie tabel 6.2)
$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-8}$ (LPG-1)	$7 \cdot 10^{-7}$ (LPG-1)	$4,2 \cdot 10^{-5}$	—	$2 \cdot 10^{-5}$	oud
$0,29 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	30	$6,7 \cdot 10^{-7}$	10
		$4,8 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	40	$5,0 \cdot 10^{-7}$	11
		$5 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	40	$5,0 \cdot 10^{-7}$	11
$0,29 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$7,6 \cdot 10^{-7}$	55	$3,6 \cdot 10^{-7}$	12
		$4,8 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$	70	$2,9 \cdot 10^{-7}$	13
		$5 \cdot 10^{-9}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	80	$2,5 \cdot 10^{-7}$	14
$0,29 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	90	$2,2 \cdot 10^{-7}$	15
		$4,8 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7*}$	100	$2 \cdot 10^{-7}$	16
		$5 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-7*}$	100	$2 \cdot 10^{-7}$	16
$0,29 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7*}$	100	$2 \cdot 10^{-7}$	16
		$4,8 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7*}$	100	$2 \cdot 10^{-7}$	16
		$5 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-7*}$	100	$2 \cdot 10^{-7}$	16

* zie pag. 39

- *) Als minimale BLEVE-frequentie wordt 2.10^{-7} /jr aangehouden. Bij een verdere reductie wordt het frequentieniveau zo laag dat de onnauwkeurigheid van de basisgegevens (o.a. IWECO-resultaten) een grotere rol gaan spelen.

6.2 F-x krommen. (individueel risico)

De gereduceerde BLEVE-frequentie is verwerkt in de f-x kromme voor alleen overslag, en voor opslag en overslag op het auto-tankstation.

De ongewenste gebeurtenissen en de effecten daarvan zijn overgenomen uit de LPG-Integraalstudie met de volgende uitzonderingen:

- BLEVE van de opslagtank (ondergronds of ingeterpt) wordt uitgesloten.
- Falen van de dampretourleiding tijdens overslag leidt niet tot LPG-uitstroming en is zodoende niet als ongewenste gebeurtenis opgenomen.
- De ontwikkelingskansen na falen van leiding 7/4C (zie bijlage 7) bij directe ontsteking zijn aangepast. De extra voorzieningen beïnvloeden deze kansen omdat in geval van brand (directe ontsteking) het automatisch afsluitsysteem in werking treedt. De ontwikkelingskansen bij vertraagd ontsteken zijn overgenomen uit de LPG-Integraalstudie.
- De faalfrequentie van leiding 4 (tank/pomp) wordt in de LPG-Integraalstudie bepaald door de aanrijdingsfrequentie (7.10^{-7} /jr). Doordat deze frequentie gereduceerd wordt, wordt de breukfrequentie van de leiding $1.10^{-6} \cdot 0,009$ (verblijftijd) = $.9.10^{-8}$ /jr.

In bijlage 8, tabel 1 t/m 3 zijn de ongewenste gebeurtenissen en de effecten bij de overslag naar de opslagtank opgenomen; tabel 4 tot en met 6 betreffen de stationaire installatie en tabel 7 tot en met 9 de overslag naar de personenauto.

De volgende individueel risicokrommen zijn bepaald:

* figuur 6.2: overslag op het autotankstation, alle extra technische voorzieningen zijn aanwezig.

In deze figuur zijn drie lijnen getekend.

- a. alleen BLEVE (nr. 16, laatste kolom tabel 1, bijlage 8);
- b. overslag met BLEVE (nr. 16);
- c. overslag met BLEVE (nr. 10).

Bij b en c zijn de overige nummers van de scenario's (laatste kolom tabel 1, bijlage 8) 20-23, 30-36, 40-45. Situaties b en c geven de meest gunstige en meest ongunstige situaties voor de BLEVE-frequentie weer, na het aanbrengen van de technische voorzieningen en treffen van maatregelen.

Voor beide krommen is een ontwikkelingenmatrix (zie LPG-Integraal) gegeven in tabel 1 en 2, bijlage 9.

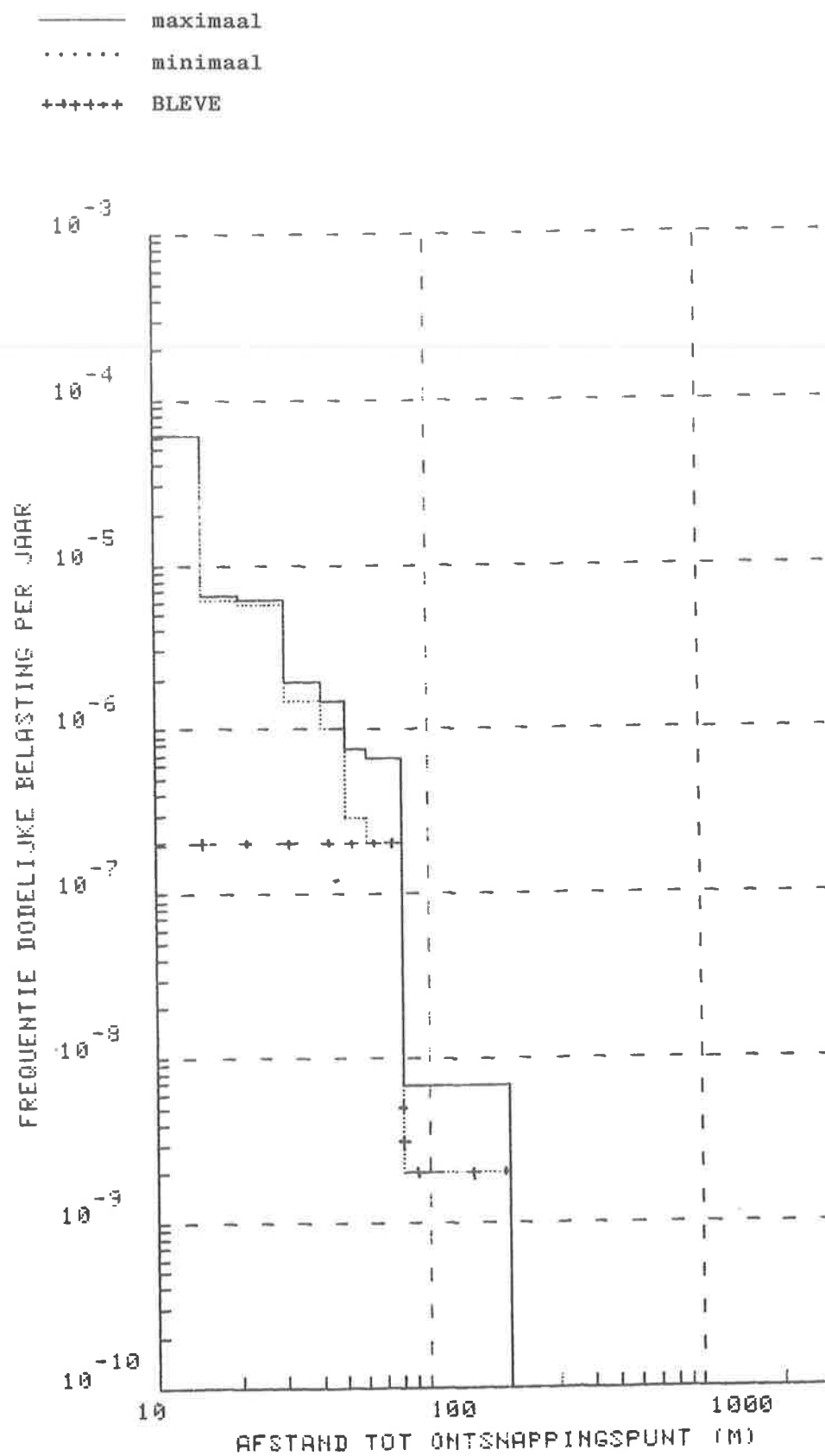
* figuur 2, bijlage 8 opslag en overslag op een autotankstation.

In deze figuur zijn drie lijnen getekend:

- a. opslag en overslag zoals in de LPG-Integraalstudie weergegeven (deelrapport 1226, figuur 4.5.3) (de opslagtank ondergronds);
- b. opslag en overslag autotankstation, nieuwe situatie.
($2 \cdot 10^{-7}$ /jr.) BLEVE (nr. 16, tabel 1, bijlage 8);
- c. overslag, BLEVE (nr. 16, tabel 1, bijlage 8) ($2 \cdot 10^{-7}$ /jr.).

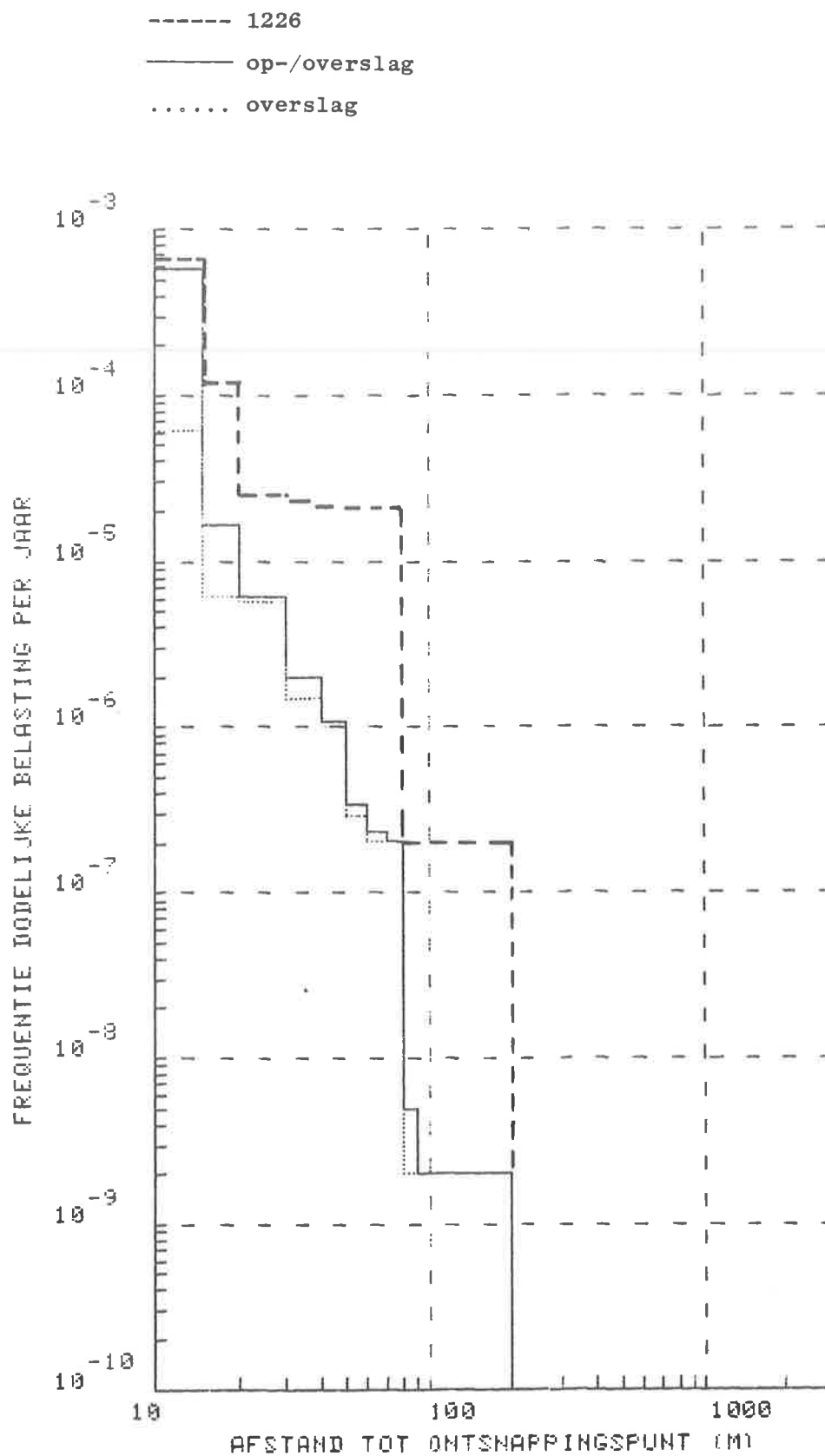
De overige scenariomnummers bij de twee laatste lijnen zijn:

20 t/m 23, 30 t/m 35, 40 t/m 45, 50 t/m 67, 70 t/m 73 (zie bijlage 8, tabel 1, 4 en 7 laatste kolom).



AUTOTANKSTATION, OVERSLAG
EXTRA TECHNISCHE VOORZIENINGEN

Figuur 6.2.



AUTOTANKSTATION, OPSLAG EN OVERSLAG
EXTRA TECHNISCHE VOORZIENINGEN

Figuur 6.3.

7. BESCHOUWING VAN DE RESULTATEN/CONCLUSIES

Door implementatie van de technische voorzieningen wordt een reductiefactor voor de BLEVE-frequentie van de LPG-tankauto bereikt van ieder geval 30. Deze factor loopt op tot 100 wanneer de opstelplaats van de tankauto zodanig is dat de LPG-tankauto niet meer getroffen kan worden door branden van een lossende benzinetankauto, gebouwen of LPG-afleverzuil en wanneer de opstelplaats óók zodanig is dat botsingen van personenauto's met een snelheid > 30 km/h op de leidingkast uitgesloten kunnen worden.

Wanneer ook branden van de benzineafleverzuil de LPG-tankauto niet kunnen treffen is de opstelplaats met betrekking tot aanrijdingen niet meer zo relevant.

De individueel risicokromme van de overslag van LPG van de tankauto naar de opslagtank op een autotankstation na het implementeren van de extra voorzieningen en maatregelen (zie o.a. hoofdstuk 6) is gegeven in figuur 6.2. In deze figuur is ook de BLEVE van de tankauto weergegeven waarbij de maximale BLEVE-frequentiereductie is toegepast. Bij het construeren van de individueel risicokrommen is er steeds vanuit gegaan dat de opslagtank ondergronds geplaatst is.

Uit deze figuur blijkt dat voor afstanden groter dan 60 meter de BLEVE-frequentie bepalend is.

Uit de ontwikkelingenmatrix (tabel 6.11,6.12) en de individueel risicokrommen in figuur 6.2 kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

Op afstanden groter dan 50 - 60 meter vanaf het vulpunt wordt de kromme volledig gedomineerd door de BLEVE van de tankauto. De 'sprongen' in de krommen tussen 30 en 50 meter zijn afkomstig van de scenario's 'vertraagd ontsteken' van uitstromingen uit de leiding bij de tankauto (L7/4C). Deze scenario's hebben geen frequentiereductie ondergaan ten gevolge van de extra voorzieningen omdat die alleen effectief zijn in brandsituaties (direct ontsteken).

Het individuele risico voor 0 - 30 meter wordt gedomineerd door de scenario's direct ontsteken van de uitstromingen die 120 seconden duren.

Uit figuur 6.2 blijkt ook dat de extra frequentiereductie die gehaald kan worden door eisen te stellen aan de lokatie van de opstelplaats van een LPG-tankauto in relatie tot mogelijke omgevingsbranden en mogelijkheid tot ernstige aanrijdingen niet zo groot is. Dat wil zeggen dat de reductie voornamelijk bepaald wordt door de reductie van de frequentie van de fakkels van het LPG-systeem.

In figuur 6.3 is ook de oorspronkelijke kromme van het autotankstation opgenomen (zie LPG-Integraal, 1226). Hierdoor is duidelijk te zien dat de maximale reductiefactor (100) bij de kortere afstanden niet gehaald wordt omdat de BLEVE daar een minder grote rol speelt.

In figuur 6.3 is ook de opslag- + overslagsituatie opgenomen, zijnde de nieuwe totaalkromme van het autotankstation.

Concluderend kan gesteld worden dat uit de berekeningen en beschouwingen in deze studie blijkt dat de reductie van de BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een autotankstation maximaal een factor 100 kan zijn wanneer voldaan wordt aan een aantal voorwaarden (technische voorzieningen/maatregelen).

In het totaalrisico van het autotankstation (opslagtank ondergronds) werkt deze reductie rechtstreeks door in het risico voor afstanden groter dan 70 meter vanaf het vulpunt. Voor afstanden kleiner dan 60 - 70 meter neemt de reductiefactor verder af naarmate de afstand kleiner is. Voor de afstand 10 - 20 meter is er nauwelijks of geen reductie.

8. LITERATUURLIJST

- [1] Brandoverslag door straling, Brandveiligheidsinstituut TNO,
Ir. Lie Tiam Tjoan.

- [2] Rapport "Onderzoek van een geëxtraplodeerde LPG-tank",
Metaalinstituut TNO, rapport nr. 79M/013409/PES/PLU.

- [3] VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang; Verein
Deutscher Ingenieure,
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1977.

- [4] LPG-Integraalstudie.

- [5] Integrale Nota LPG.

BIJLAGE 1

LEKKAGE FREQUENTIES

BIJLAGE 1

Bepaling van een frequentiereductie van een thermische BLEVE van een tankauto tijdens verlading op een autotankstation.

1. INLEIDING

Door het aanbrengen van de aanvullende voorzieningen* aan de tankauto zal de kans op een BLEVE (t.g.v. brand) van de tankauto verminderen. In deze bijlage wordt nagegaan hoe groot deze reductie is.

De methodiek is als volgt:

- Er wordt volledig aangesloten bij de in LPG-Integraal gehanteerde methode voor het bepalen van de invloed van systeemreacties, nl. via de daar gegeven gebeurtenissenbomen. De frequenties die gehanteerd worden zijn ook ontleend aan LPG-I;
- Aangenomen wordt dat breuk én lekkage kunnen leiden tot een BLEVE. Bij lekkages zullen echter niet alle systeemreacties plaatsvinden (doorstroombegrenzers worden niet aangesproken);
- Alleen continue bronnen kunnen een BLEVE veroorzaken.

De ongewenste gebeurtenissen die tot een BLEVE van de tankauto kunnen leiden zijn de volgende:

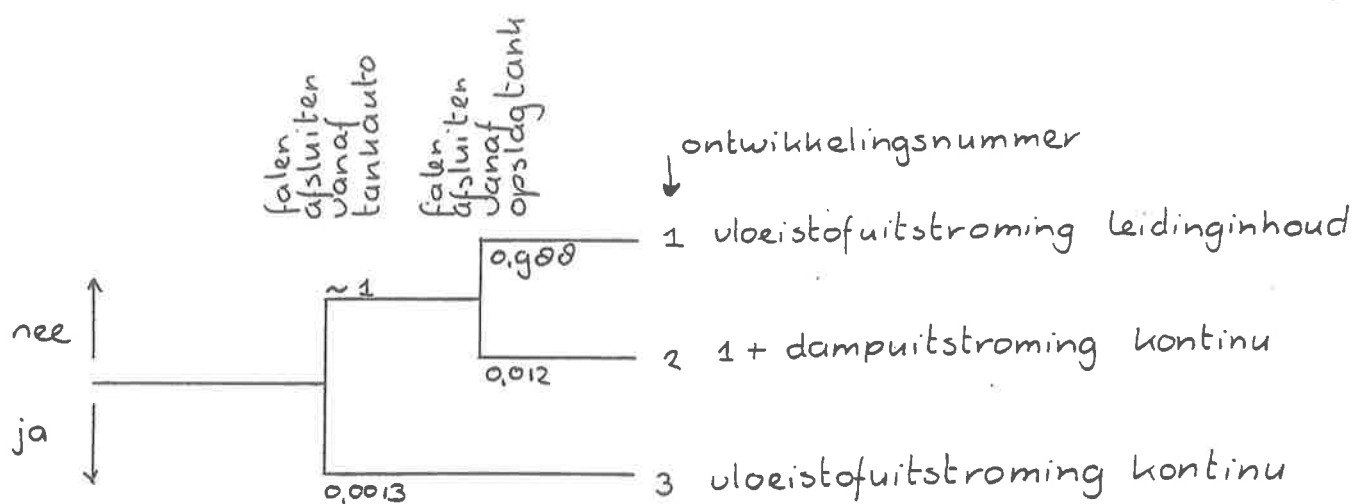
- falen van de dampretourleiding : breuk/lekkage
- falen van de vloeistofleiding : breuk/lekkage

* wegrijalarmering/afstandsbediende afsluiters/automatisch afsluitsysteem van de tankauto bij brand.

- ad. 1) Pomp stopt niet bij breuk: $0.2/a$. (LPG-I, 1123, blz. 5-11).
 Pomp stopt niet bij lekkage: $0,5 \times 0,2 = 0,1/a$.
- ad. 2) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken.
- ad. 3) Faalkans pneumatisch bediende afsluiter $F = \frac{1}{2}\lambda \cdot T$,
 $F = 0,013$. (LPG-I, 1113, blz. 25).
- ad. 4) Chauffeur faalt bij breuk: $0,1/a$ (Foutenboom 15).
 Chauffeur faalt bij lekkage: $0,5 \times 0,1 = 0,05/a$.
- ad. 5) Deze kans is in ieder geval kleiner dan 10^{-2} .

- falen afsluiter vanaf tank $0,012/a$.

(zie foutenboom 4)



Gebeurtenissenboom 4

initiërende gebeurtenis:		$1 \cdot 10^{-3}/jr$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	$0,99/a$	
	2:	$0,012/a$	*
	3:	$0,13 \cdot 10^{-2}/a$	*
bijdrage BLEVE-frequentie:		$0,13 \cdot 10^{-4}/jr$	

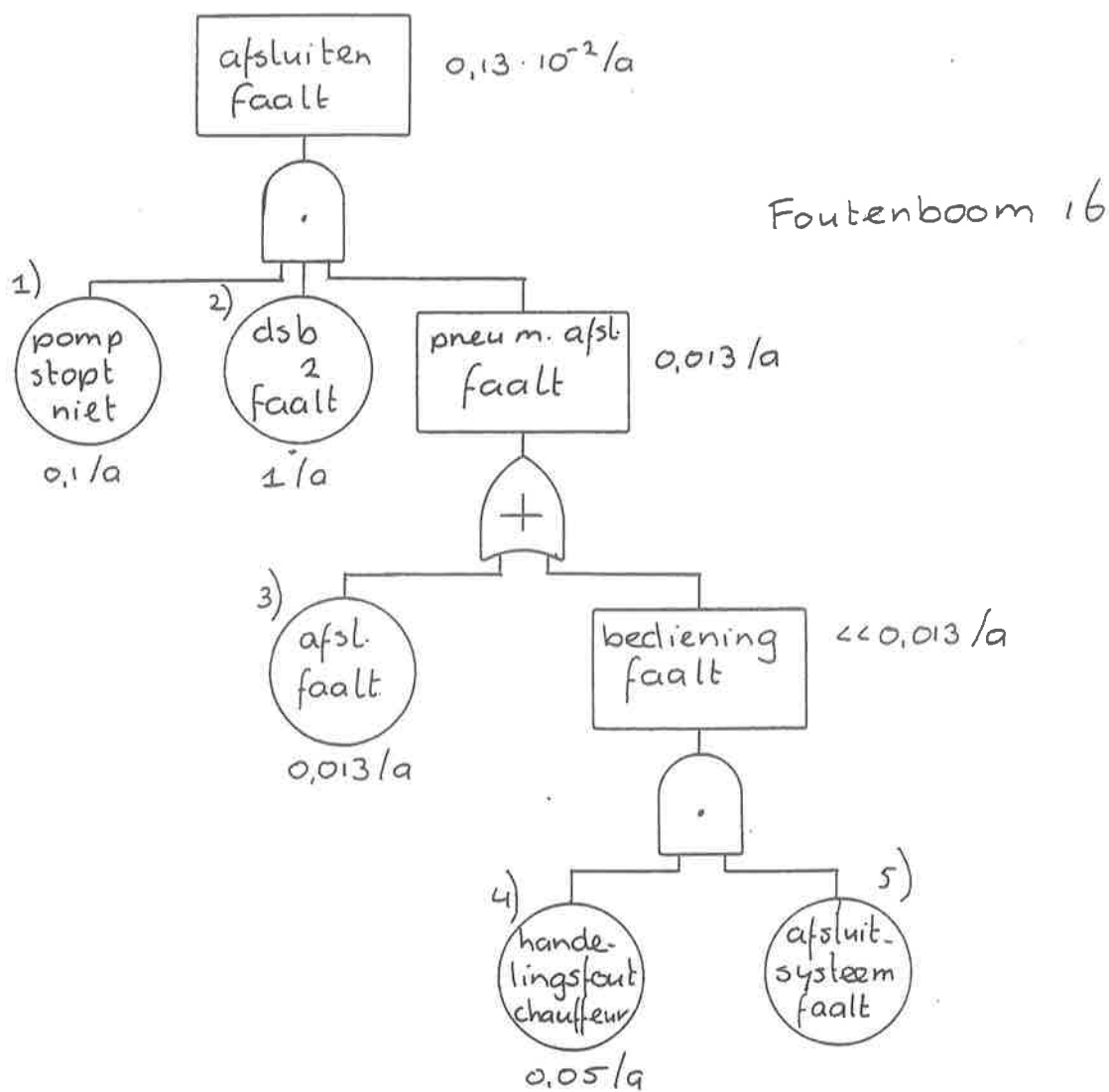
Tabel 12: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van lekkage
 leiding 7/4C

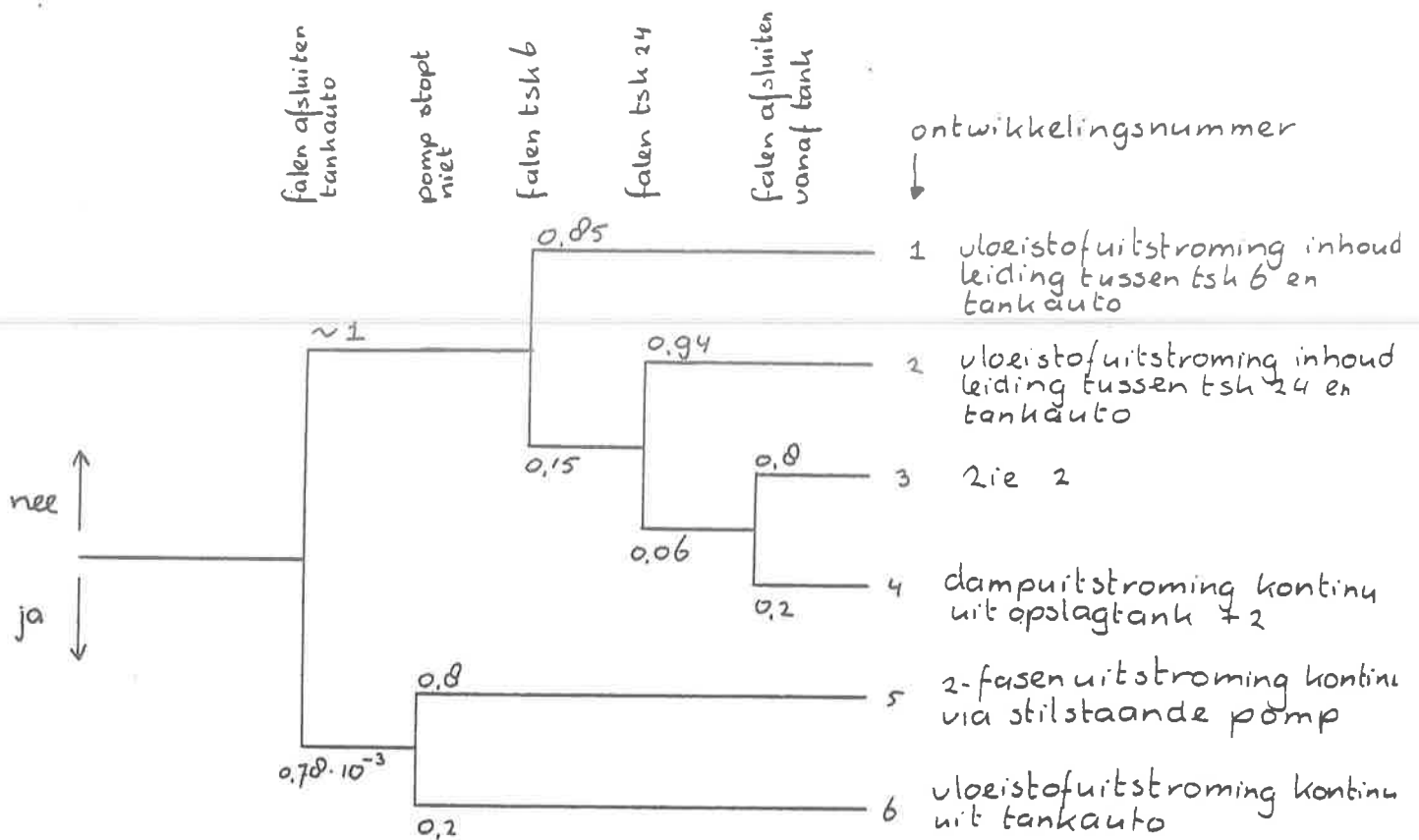
Lekkage leiding 7 van de tankauto / 4C van de installatie

De mogelijke systeemreacties worden in gebeurtenissenboom 4 geanalyseerd.

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke reacties

- lekkage leiding 7/4C: $1 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$;
De lekkagefrequentie wordt 10 x zo hoog als de breukfrequentie geschat.
- falen afsluiten tankauto: $0,13 \cdot 10^{-2}/\text{a}$.

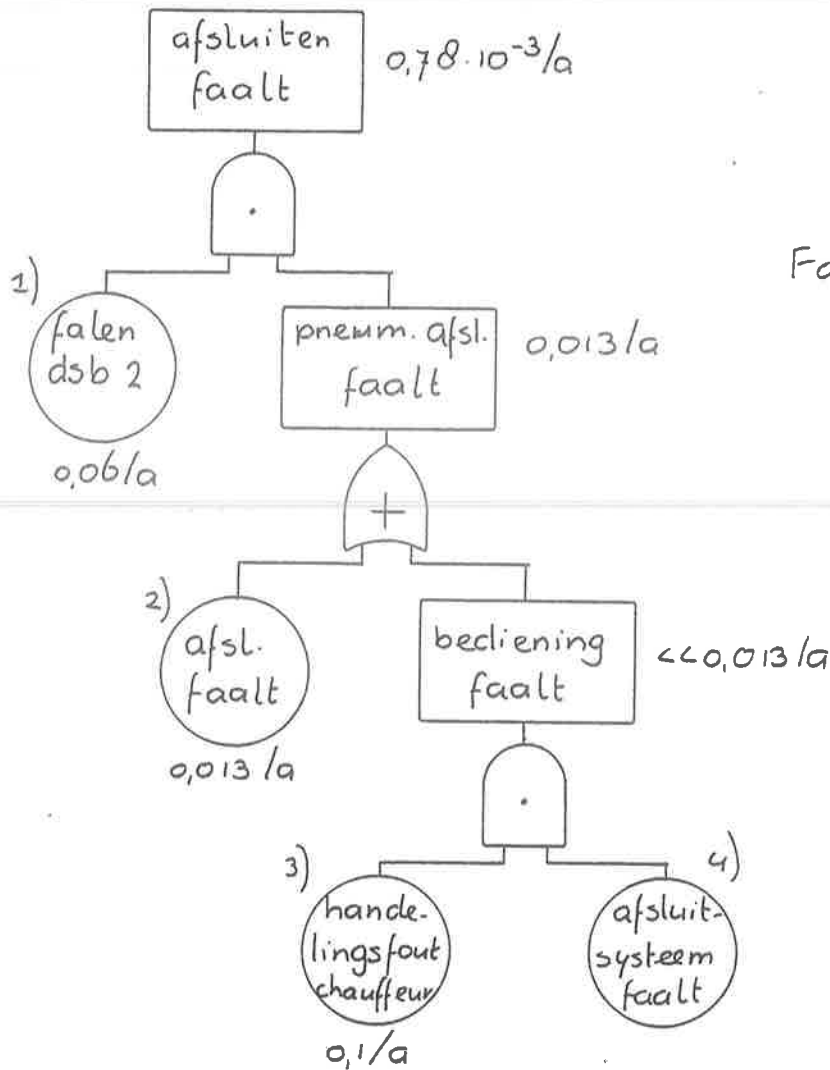




Gebeurtenissenboom 5

initiërende gebeurtenis:		1 · 10 ⁻⁴ /jr	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,85/a	
	2:	0,14/a	
	3:	0,72 · 10 ⁻² /a	
	4:	0,18 · 10 ⁻² /a	*
	5:	0,62 · 10 ⁻³ /a	*
	6:	0,16 · 10 ⁻³ /a	*
bijdrage BLEVE-frequentie:		0,26 · 10 ⁻⁶ /jr	

Tabel 11: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van breuk leiding 7/4C



- ad. 1) De doorstroombegrenzer kan aangesproken worden: 0,06/a.
(LPG-I, 1123, blz. 5-11).
- ad. 2) Faalkans pneumatisch bediende afsluiter
 $F = \frac{1}{2} \lambda \cdot T = 0,013/a$. (LPG-I, 1113, blz. 25).
- ad. 3) Chauffeur bedient afstandbedienbare afsluiter niet in een "high-stress"-situatie. (LPG-I, 1113, blz. 41).
- ad. 4) Deze kans is in ieder geval kleiner dan 0,013/a.

- falen terugslagklep 6: 0,15/a (LPG-I, 1123, blz. 5-11);
- falen terugslagklep 24: 0,06/a (LPG-I, 1123, blz. 5-11);
- falen afsluiten opslagtank : 0,2/a.

Deze kans wordt bepaald door het sluiten van de afstand bedienbare afsluiter door de pompbediende in een "high-stress"-situatie (LPG-I, 1113, blz. 41).

initiërende gebeurtenis:		$0,25 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,99/a	
	2:	0,012/a	*
	3:	$0,89 \cdot 10^{-3}/\text{a}$	*
	4:	$0,11 \cdot 10^{-4}/\text{a}$	*
bijdrage BLEVE-frequentie:		$0,32 \cdot 10^{-5}/\text{jr}$	

Tabel 10: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van lekkage leiding 3 van de tankauto

3.2. Falen vloeistofleiding

Bij het falen van de vloeistofleiding wordt als plaats van falen aangenomen:

- falen leiding 7 (tankauto) / 4C (installatie).

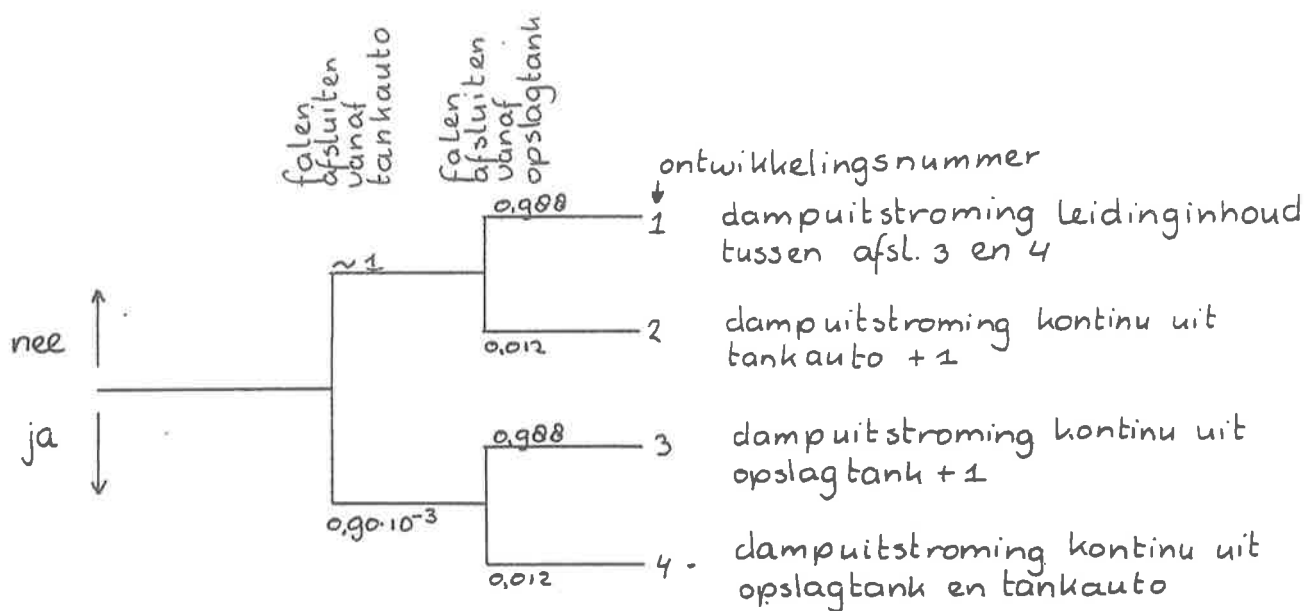
Breuk leiding 7 (tankauto) / 4C (installatie)

De mogelijke systeemreacties worden in gebeurtenissenboom 5 geanalyseerd.

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en de initiërende gebeurtenis

- breuk vloeistofleiding 7/4C: $1 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$
(LPG-I, 1123, blz. 5-9);
- pomp stopt niet: 0,2/a (LPG-I, 1123, blz. 5-11);
- falen afsluiten vanaf tankauto: $0,78 \cdot 10^{-3}/\text{a}$.

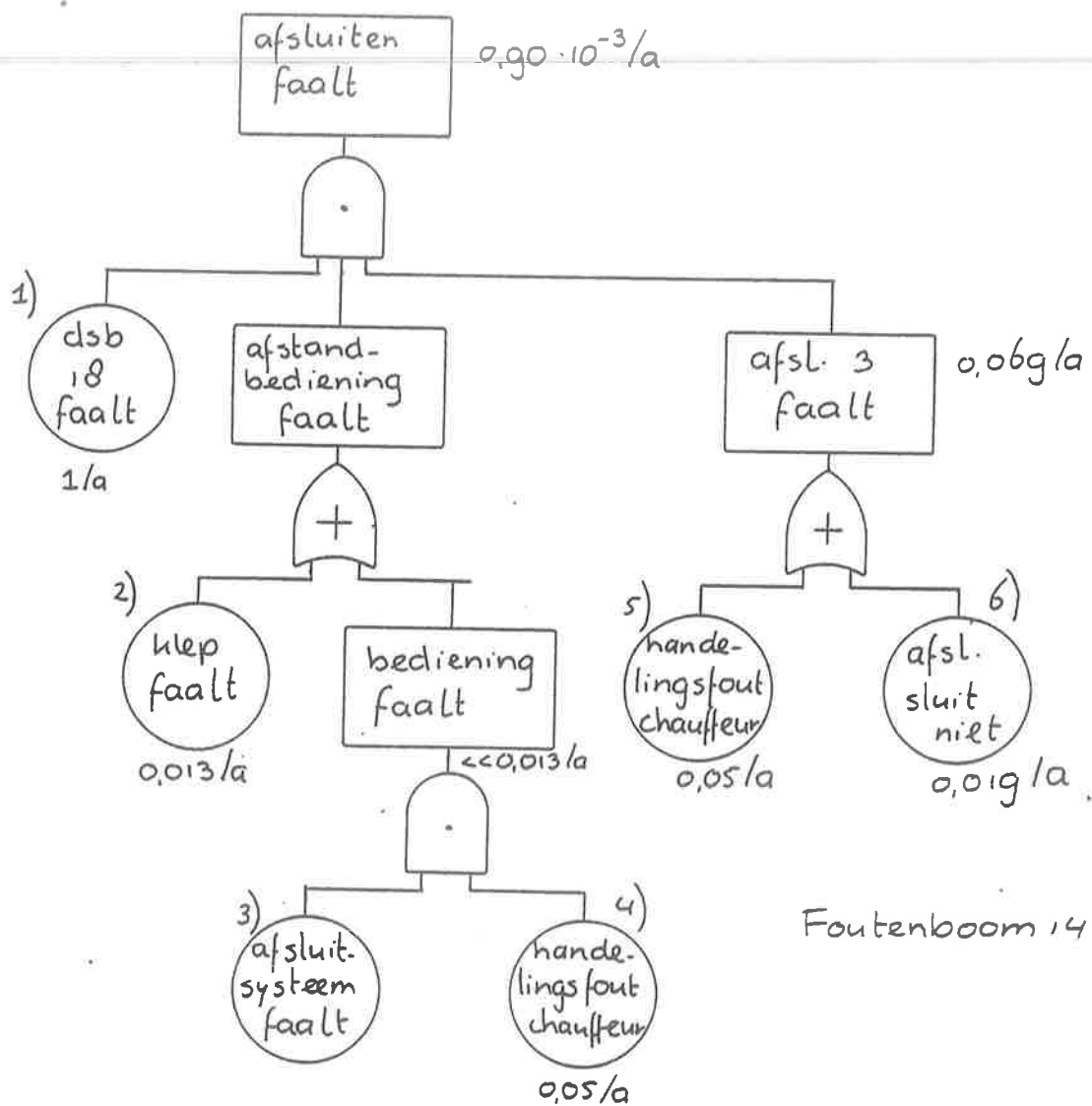
- ad. 3) Deze kans is in ieder geval kleiner dan $10^{-2}/a$.
- ad. 4) Handelingsfout chauffeur in "high-stress"-situatie;
bereikbaarheid: 0,5; $0,5 \times 0,1 = 0,05/a$.
(LPG-I, 1113, blz. 41).
- ad. 5) Zie ad. 4).
- ad. 6) Faalkans handbediende afsluiter $F = \frac{1}{2}\lambda \cdot T$; $F = 0,019/a$.
(LPG-I, 1113, blz. 24).



Gebeurtenissenboom 2

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en de initiërende gebeurtenis

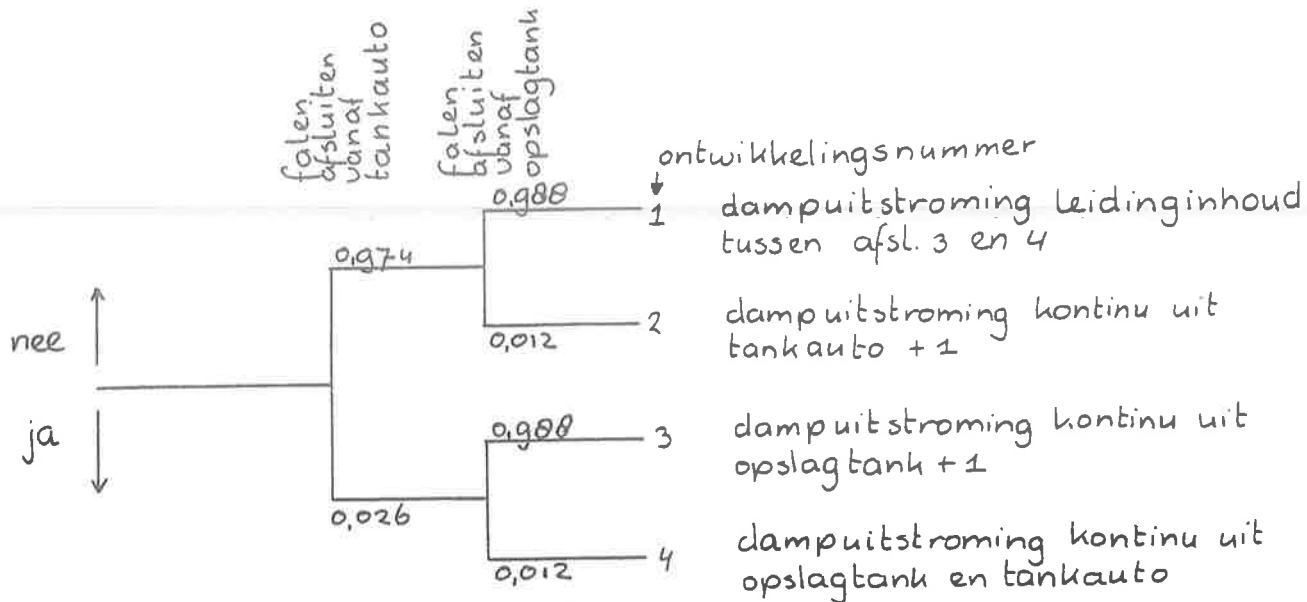
- lekkage dampretourleiding: $0,25 \cdot 10^{-3}/\text{jr.}$
- falen afsluiten vanaf opslagtank: $0,012/\text{a.}$
Zie foutenboom 4.
- falen afsluiten vanaf tankauto: $0,9 \cdot 10^{-3}/\text{a.}$



- ad. 1) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken.
- ad. 2) Faalkans pneumatisch bediende afsluiter
 $F = \frac{1}{2}\lambda \cdot T = 0,013/\text{a.}$ (LPG-I, 1113, blz. 25).

- falen afsluiten opslagtank: 0,012/a.

Zie foutenboom 2.



Gebeurtenissenboom 2

initiërende gebeurtenis:	$0,25 \cdot 10^{-4}/\text{jr.}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer 1:	0,96/a	
2:	0,012/a	*
3:	0,026/a	*
4:	$0,31 \cdot 10^{-3}/\text{a}$	*
bijdrage BLEVE-frequentie:	$0,96 \cdot 10^{-6}/\text{jr}$	

Tabel 9: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van breuk leiding 3 van de installatie .

Lekkage leiding 3 van de installatie

De mogelijke systeemreacties op deze ongewenste gebeurtenis worden in gebeurtenissenboom 2 geanalyseerd.

- ad. 1) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken.
(LPG-I, 1123, blz. 5-25).
- ad. 2) Faalkans pneumatische afsluiter $F = \frac{1}{2}\lambda$. $T = 0,013/a$.
(LPG-I, 1113, blz. 25).
- ad. 3) LPG-I, 1113, blz. 41.
- ad. 4) Deze kans is zeer klein, in ieder geval kleiner dan $0,013/a$.
- ad. 5) Falen afsluiten handbediende afsluiter onder "high-stress"-situatie: $0,5/a$. (LPG-I, 1123, blz. 5-25).

Breuk leiding 3 van de installatie

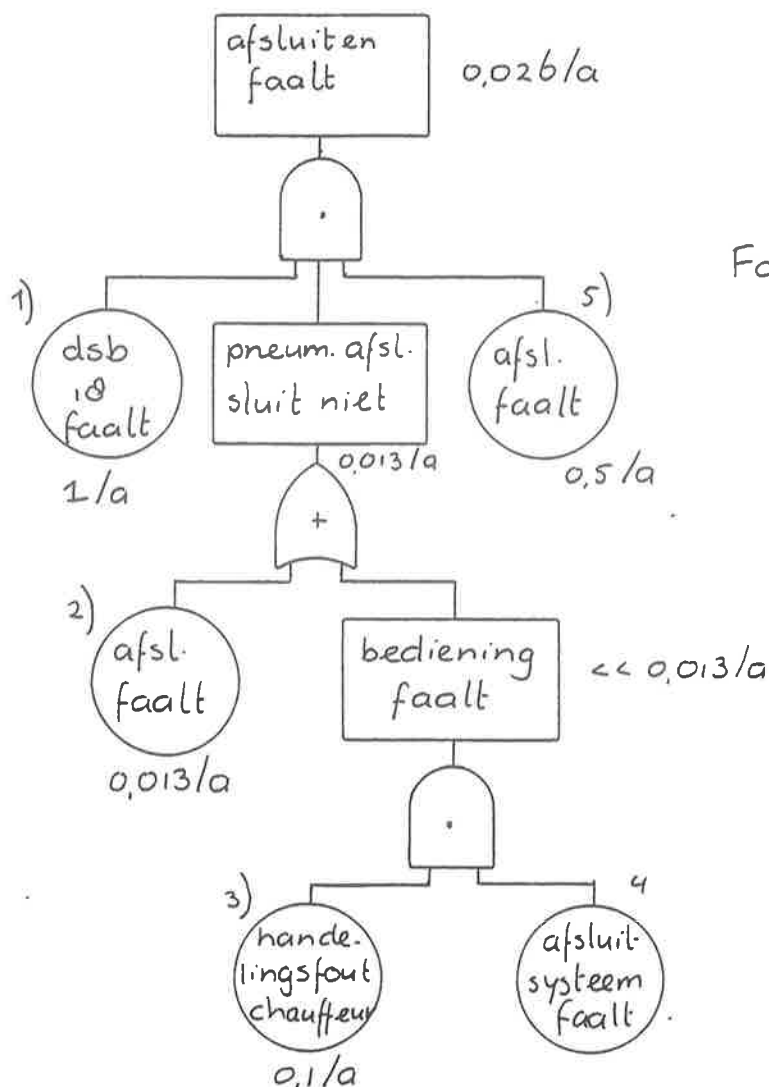
De mogelijke systeemreacties op deze ongewenste gebeurtenis worden in gebeurtenissenboom 2 geanalyseerd.

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en de initiërende gebeurtenis

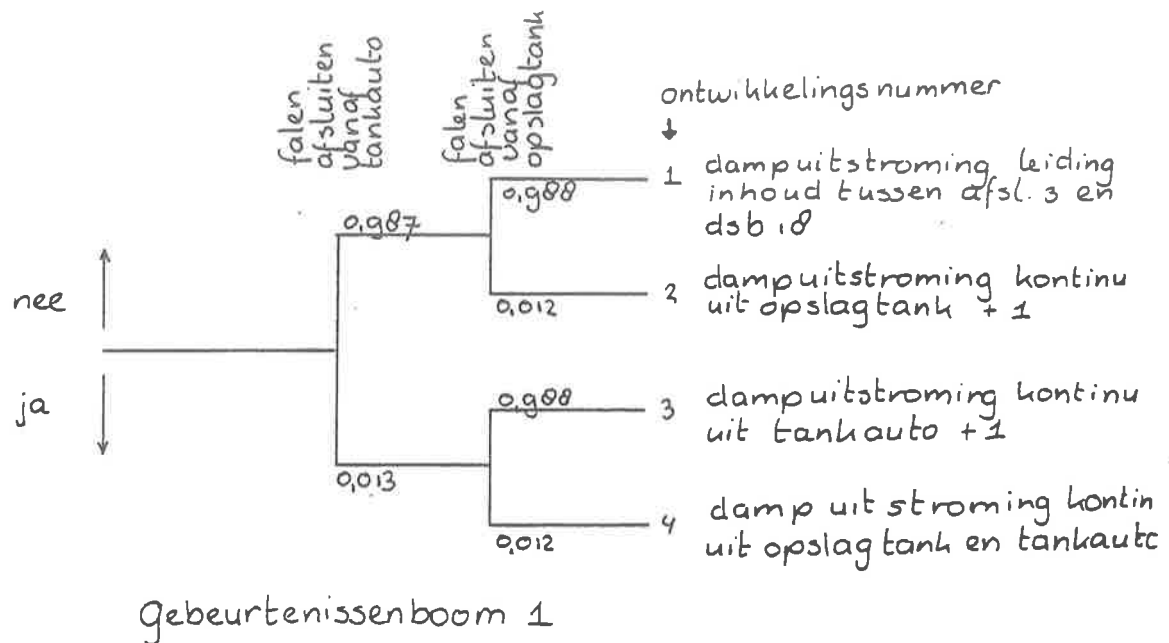
- breuk dampretourleiding 3: $0,25 \cdot 10^{-4}/\text{jr.}$

In de foutenboom: Falen t.g.v. menselijk handelen (LPG-I, 1123, blz. 5-20) valt de tank "omvertrekken vulpunt" qua kans weg. De resterende oorzaken zijn dan: falen koppeling en niet sluiten afsl. vulpunt.

- falen afsluiten vanaf tankauto.



- ad. 1) De doorstroombegrenzer bij lekkage niet aangesproken.
 ad. 2) Faalkans pneumatisch bediende afsluiter
 $F = \frac{1}{2}\lambda$. $T = 0,013/a$ (LPG-I, 1113, blz. 25).
 ad. 3) Handelingsfout chauffeur: $0,1/a$ (LPG-I, 1113, blz. 41),
 bereikbaarheid: $0,5$; $0,5 \times 0,1 = 0,05/a$.
 ad. 4) Deze kans is in ieder geval kleiner dan 10^{-2} , dus de
 kans dat de bediening faalt: $\ll 0,013/a$.

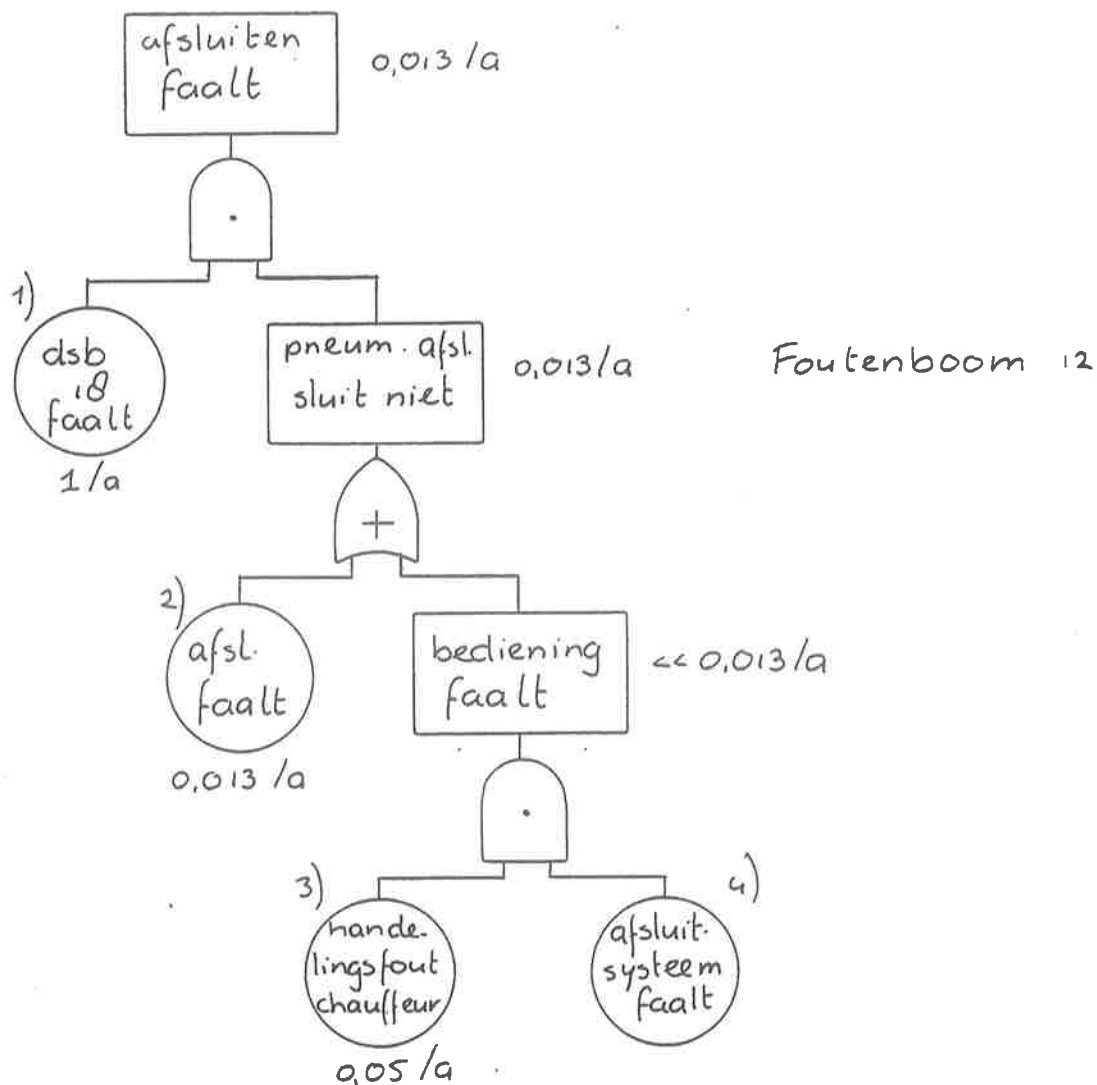


initiërende gebeurtenis:		$1 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	$0,98/a$	
	2:	$0,012/a$	*
	3:	$0,013/a$	*
	4:	$0,16 \cdot 10^{-3}/a$	*
bijdrage BLEVE-frequentie:		$0,25 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	

Tabel 8: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van lekkage leiding 2 van de tankauto

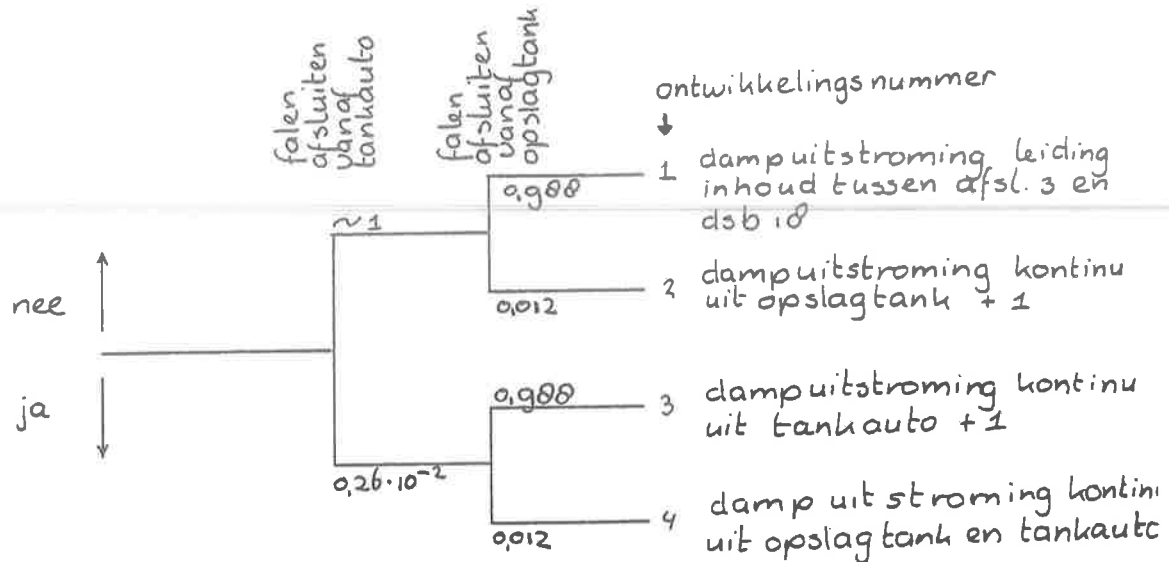
Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties
en de initiërende gebeurtenis

- lekkage dampretourleiding: $1 \cdot 10^{-3}/\text{jr.}$
De lekkagefrequentie wordt 10 x zo hoog als de breukfrequentie geschat.
- falen afsluiten vanaf de opslagtank: 0,012/a
Zie foutenboom 4.
- falen afsluiten vanaf de tankauto: 0,013/a.



- falen afsluiten vanaf tank: 0,012/a.

Zie foutenboom 2.



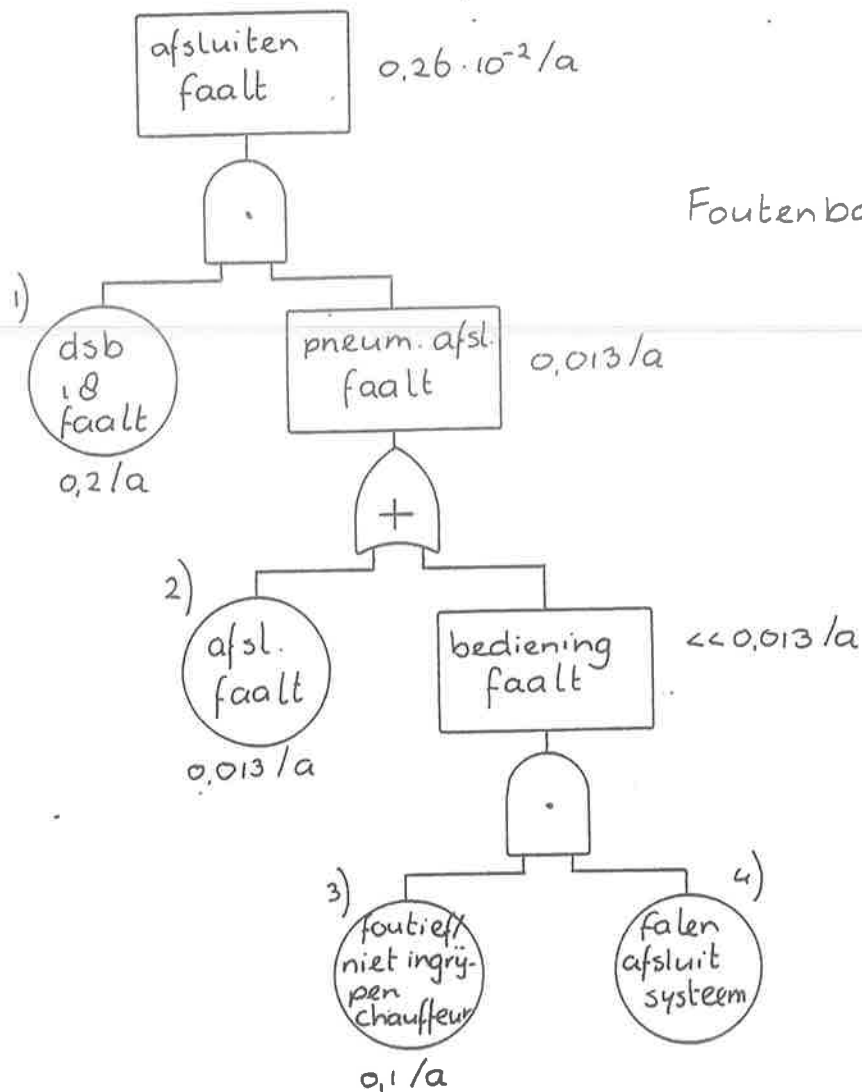
Gebeurtenissenboom 1

initiërende gebeurtenis:		$1 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,99/a	
	2:	$0,12 \cdot 10^{-1}/\text{a}$	*
	3:	$0,26 \cdot 10^{-2}/\text{a}$	*
	4:	$0,31 \cdot 10^{-4}/\text{a}$	*
bijdrage BLEVE-frequentie:		$0,15 \cdot 10^{-5}/\text{jr}$	

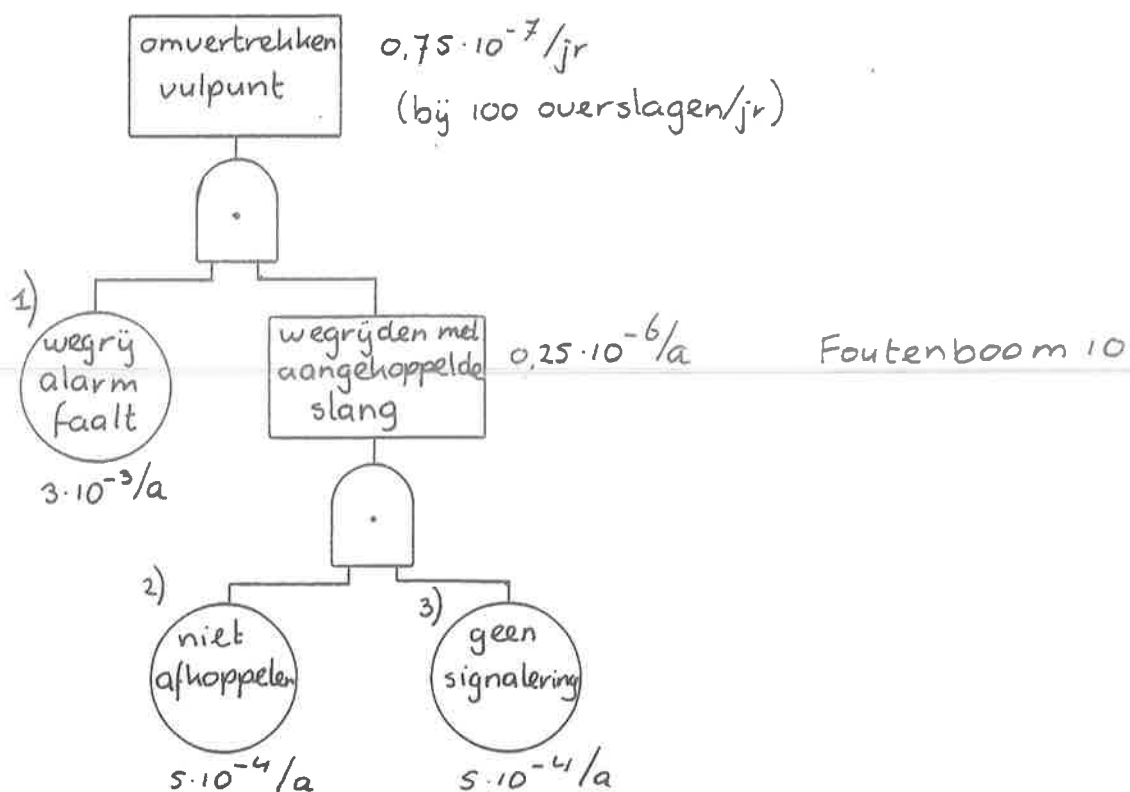
Tabel 7: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van breuk leiding 2 van de tankauto

Lekkage leiding 2 van de tankauto

De mogelijke systeemreacties zijn gelijk aan de in de "oude situatie" en worden in gebeurtenissenboom 1 geanalyseerd.



- ad. 1) Falen doorstroombegrenzer (LPG-I, 1123, blz. 5-25).
- ad. 2) Falen pneumatisch bediende afsluiter; $F = \frac{1}{2}\lambda \cdot T$;
 $T = 3$ jaar; $\lambda = 1 \cdot 10^{-6}$; $F = 0,013/a$
 (LPG-I, 1113, blz. 25).
- ad. 3) Foutief handelen chauffeur in "high-stress"-situatie
 (LPG-I, 1113, blz. 41).
- ad. 4) De kans dat het afsluitsysteem met de slangetjes niet
 werkt is zeer klein. Hier is aangenomen dat de kans
 kleiner is dan $0,013/a$.



ad. 1) alarmering faalt (LPG-I, 1113, blz. 28).

ad. 2) handelingsfout chauffeur (LPG-I, 1113, blz. 41).

ad. 3) Zie ad. 2).

Deze frequentie is echter niet bepalend voor de totale breukfrequentie (LPG-I, 1123, blz. 5-20).

- falen afsluiten vanaf tankauto: $0,26 \cdot 10^{-2}/\text{a}$.

3. TANKAUTO MET AANVULLENDE VOORZIENINGEN

Nieuwe tankauto's worden met de volgende voorzieningen uitgerust:

- wegrijalarmering
Zodra de chauffeur zou willen wegrijden terwijl de losslang nog aangesloten is gaat er een alarm.
- afstandbediende afsluiters
In plaats van de handbediende bodemafsluiters worden op afstand bedienbare binnenliggende afsluiters aangebracht. Deze pneumatische afsluiters zijn op twee plaatsen bedienbaar.
- automatisch afsluitsysteem van de tankauto bij brand
De bovengenoemde afsluiters worden bij brand rondom de tankauto automatisch gesloten.
Dit wordt bewerkstelligd door een systeem van slangetjes, die bij blootstelling aan warmte, smelten.

3.1. Falen dampretourleiding

Evenals bij de overslag in de "oude situatie" worden twee faalplaatsen aangenomen:

- falen leiding 2 van de tankauto;
- falen leiding 3 van de installatie.

Voor beide situaties wordt zowel breuk als lekkage beschouwd.

Breuk leiding 2 van de tankauto (gebeurtenissenboom 7 LPG-I, 1123)

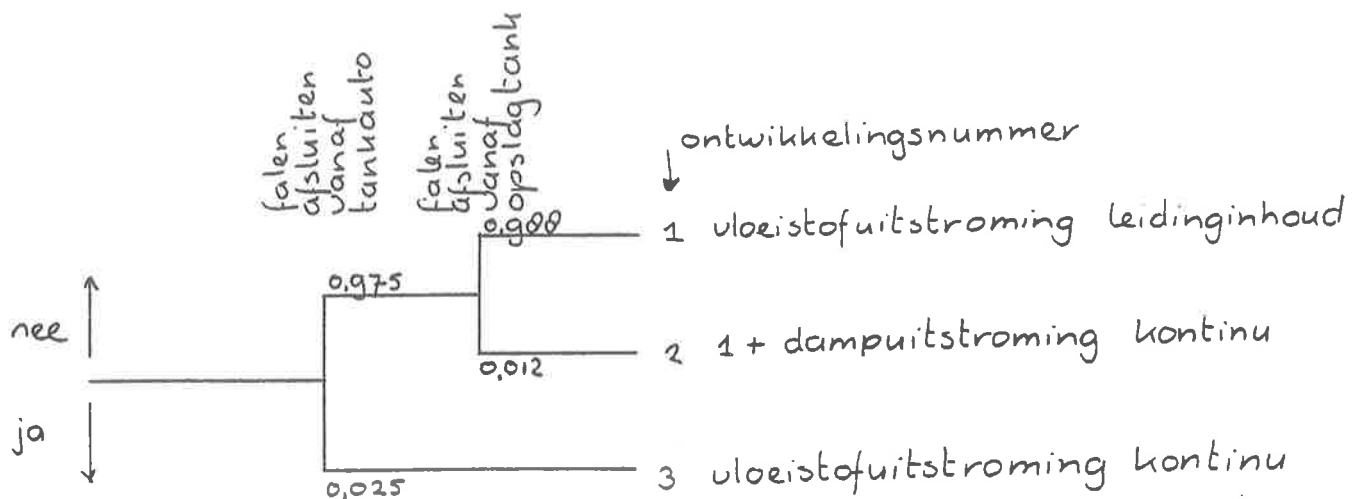
De mogelijke systeemreacties zijn gelijk aan die in de "oude situatie" en worden in gebeurtenissenboom 1 geanalyseerd.

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en de initiërende gebeurtenis

- breuk leiding: $1 \cdot 10^{-4}$ /jr.
Het aanbrengen van de wegrijalarmering verlaagt de kans op het omvertrekken van het vulpunt.

- ad. 3) Falen handbediende afsluiter $F = \frac{1}{2}\lambda \cdot T \times$
 $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-6}/u$ $T = 3 \text{ jaar}$ $F = 0,019/a$
 (LPG-I, 1113, blz. 24)
- ad. 4) Zie ad. 1) $0,5 \times 0,5 = 0,25/a$.

- falen afsluiten vanaf tank: 0,012/a (foutenboom 4).
 Hierbij wordt gesteld dat de terugslagkleppen niet aangesproken worden.



Gebeurtenissenboom 4

initiërende gebeurtenis:		$1 \cdot 10^{-3}/jr$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,96	
	2:	0,012/a	*
	3:	0,025/a	*
bijdrage BLEVE-frequentie:			$0,37 \cdot 10^{-4}/jr$

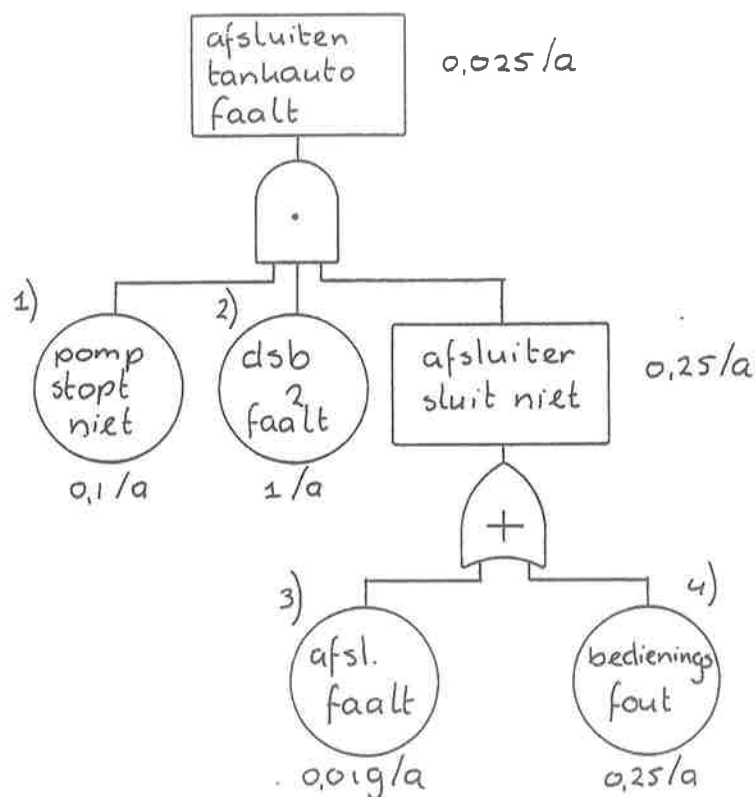
Tabel 5: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van lekkage
 leiding 7 (tankauto / 4C installatie)

Lekkage leiding 7 van de tankauto / leiding 4C van de installatie

De mogelijke systeemreacties op deze ongewenste gebeurtenis worden in gebeurtenissenboom 4 geanalyseerd.

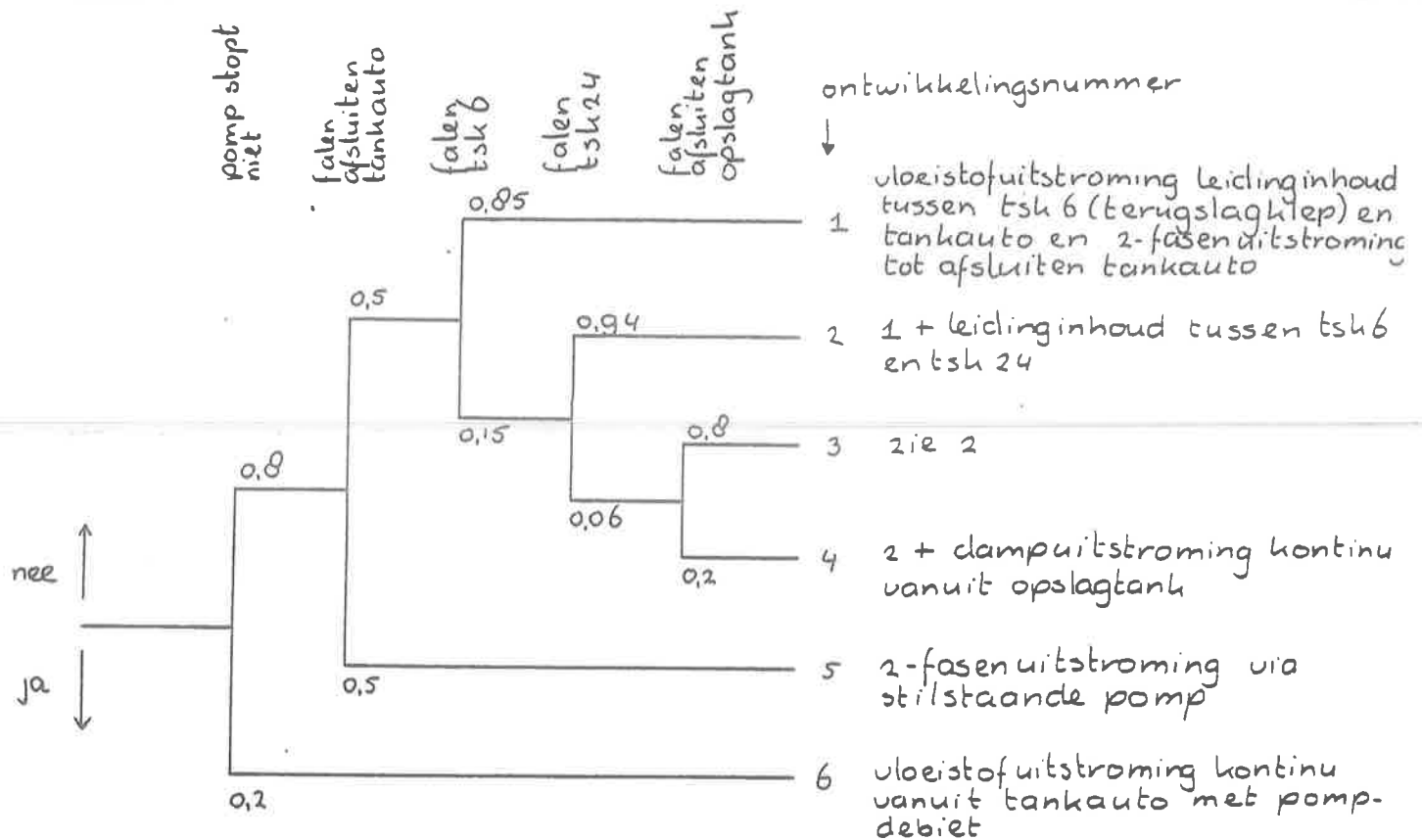
Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en initiërende gebeurtenis

- lekkage vloeistofleiding: $1,10^{-3}/\text{jr.}$
- falen afsluiter tankauto: $0,025/\text{a.}$



Foutenboom g

- ad. 1) Bereikbaarheid bij lekkage 2 x groter dan bij breuk.
 Falen bij breuk: $0,2/\text{a.}$
 Falen bij lekkage: $0,5 \times 0,2 = 0,1/\text{a.}$
- ad. 2) De doorstroombegrenzer wordt bij een lekkage niet aangesproken.



Gebeurtenissenboom 3

initiërende gebeurtenis:		$1 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,34/a	
	2:	0,056/a	
	3:	0,0029/a	
	4:	0,0007/a	*
	5:	0,4	*
	6:	0,2	*
bijdrage BLEVE-frequentie:			$0,60 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$

Tabel 5: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van breuk
leiding 7 (tankauto) / 4C (installatie)

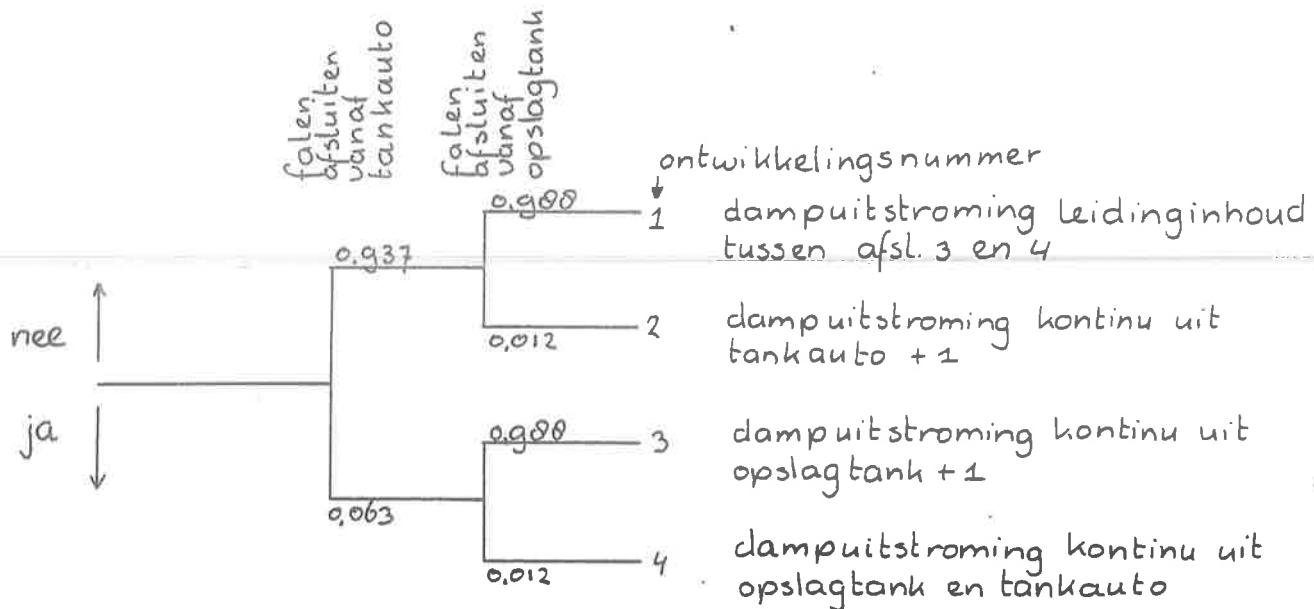
- falen leiding 7 van de tankauto / leiding 4C van de installatie;
 - falen leiding 4 (tussen tank en pomp) van de tankauto.
- Dit scenario wordt verder niet uitgewerkt, de optredende frequenties zijn t.o.v. de andere scenario's.

Breuk leiding 7 van de tankauto / leiding 4C van de installatie
(Zie gebeurtenissenboom 9, LPG-I, 1123)

De mogelijke systeemreacties op deze ongewenste gebeurtenis worden in gebeurtenissenboom 3 geanalyseerd.

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en initiërende gebeurtenis

- | | |
|--|-----------------------------|
| - breuk vloeistofleiding:
(LPG-I, 1123, blz. 5-9) | $1 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$ |
| - pomp stopt niet:
(LPG-I, 1123, blz. 5-11) | 0,2/a |
| - falen afsluiten vanaf tankauto:
(LPG-I, 1123, blz. 5-11) | 0,5/a |
| - falen terugslagklep 6:
(LPG-I, 1123, blz. 5-11) | 0,15/a |
| - falen terugslagklep 24:
(LPG-I, 1123, blz. 5-11) | 0,06/a |
| - falen afsluiten vanaf tank:
Falen afsluiten afstandbedienbare afsluiter door pompbediende in een "high-stress"-situatie (LPG-I, 1113, blz. 41). | 0,2/a |



Gebeurtenissen boom 2

initiërende gebeurtenis:		$0,4 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,93/a	
	2:	0,011/a	*
	3:	0,062/a	*
	4:	$0,76 \cdot 10^{-3}/a$	*
bijdrage aan de BLEVE-frequentie:		$0,30 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	

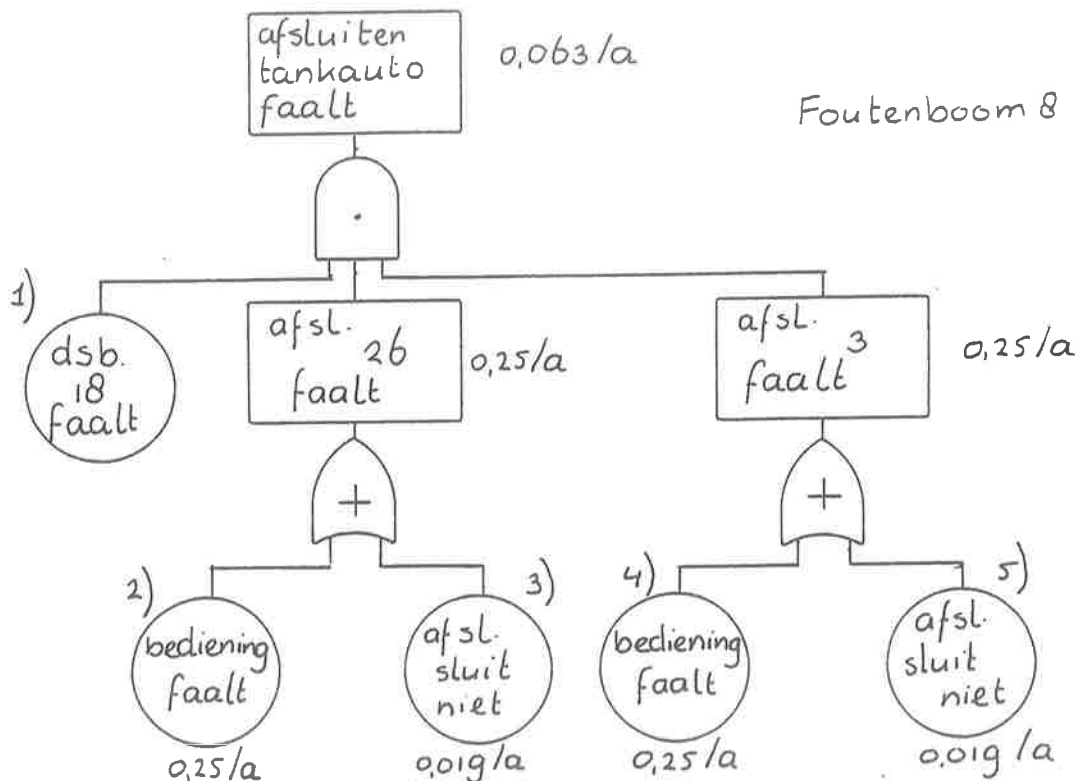
Tabel 4: Bijdrage aan de BLEVE-frequentie van lekkage leiding 3 van de installatie

2.2. Falen vloeistofleiding

Tijdens de overslag kan de dampretourleiding op verschillende plaatsen falen. Deze plaats van falen bepaald welke reacties op het falen mogelijk zijn. In dit geval kan de vloeistofleiding in twee delen opgesplitst worden.

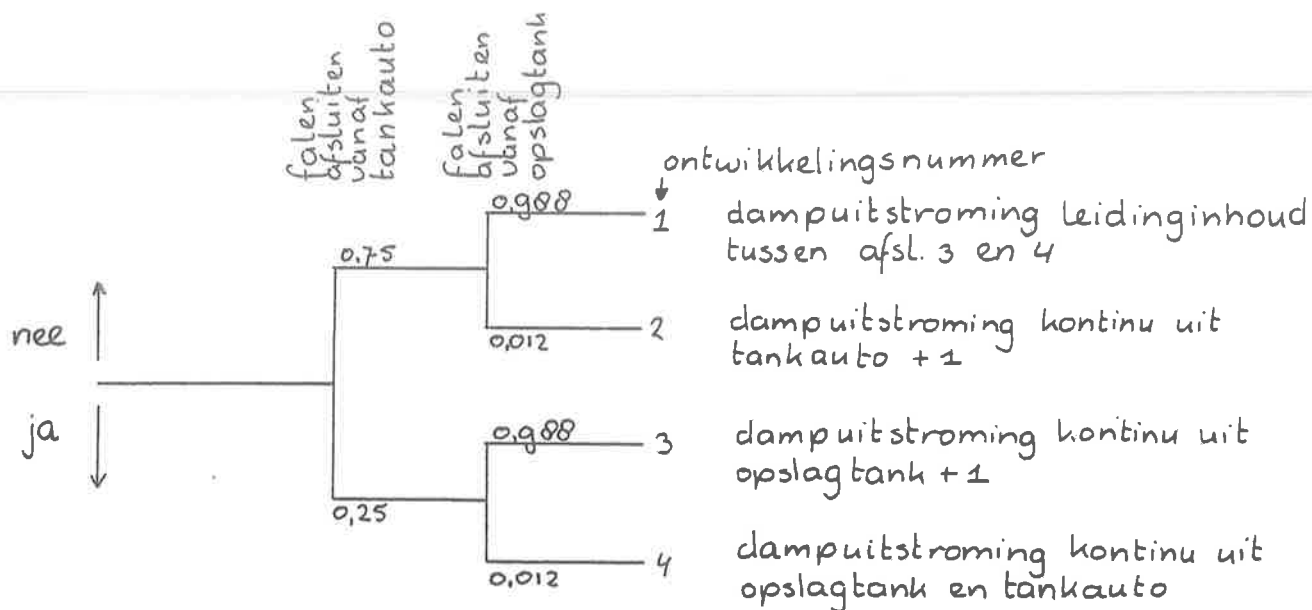
Lekkage leiding 3 van de installatieKansschatting voor het optreden van de mogelijke reacties

- lekkage dampretourleiding: $0,4 \cdot 10^{-3}/\text{jr.}$
De lekkagefrequentie wordt 10 x de breukfrequentie geschat.
- falen afsluiten vanaf opslagtank: 0,012/a.
Zie foutenboom 4.
- falen afsluiten vanaf tankauto: 0,063/a.



- ad. 1) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken.
- ad. 2) De bereikbaarheid bij lekkage wordt 2 x groter dan bij breuk gesteld.
Falen bediening bij breuk: 0,5/a (foutenboom 7).
Falen bediening bij lekkage: $0,5 \times 0,5 = 0,25/\text{a.}$
- ad. 3) Handbediende afsluiter; $F = \frac{1}{2} \lambda \cdot T$;
Testperiode: 3 jaar (LPG-I, 1113, blz. 24)
 $F = 0,019/\text{a.}$
- ad. 4) Zie ad. 2).
- ad. 5) Zie ad. 3).

- ad. 1) De faalkans wordt bepaald door falen bediening
(gas, vlammen): 0,5/a. (LPG-I, 1123, blz. 5-25).
- ad. 2) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken
(LPG-I, 1123, blz. 5-25).
- ad. 3) Zie ad. 1).

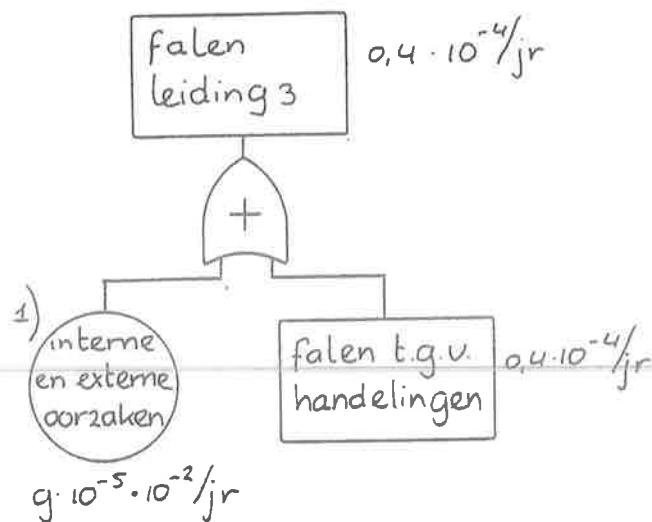


Gebeurtenissenboom 2

initiërende gebeurtenis:		$0,4 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,74/a	
	2:	$0,90 \cdot 10^{-2}/\text{a}$	*
	3:	0,25/a	*
	4:	$0,3 \cdot 10^{-2}/\text{a}$	*
bijdrage aan de BLEVE-frequentie:		$0,10 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	

Tabel 3: Bijdrage aan BLEVE-frequentie van breuk leiding 3 van de installatie

*alen dampretourleiding

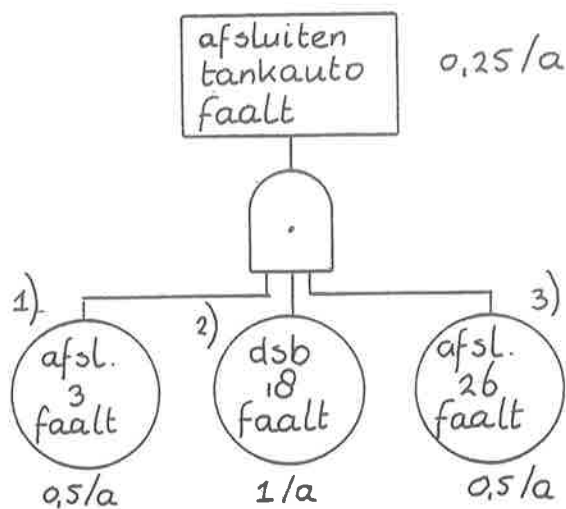


Foutenboom 6

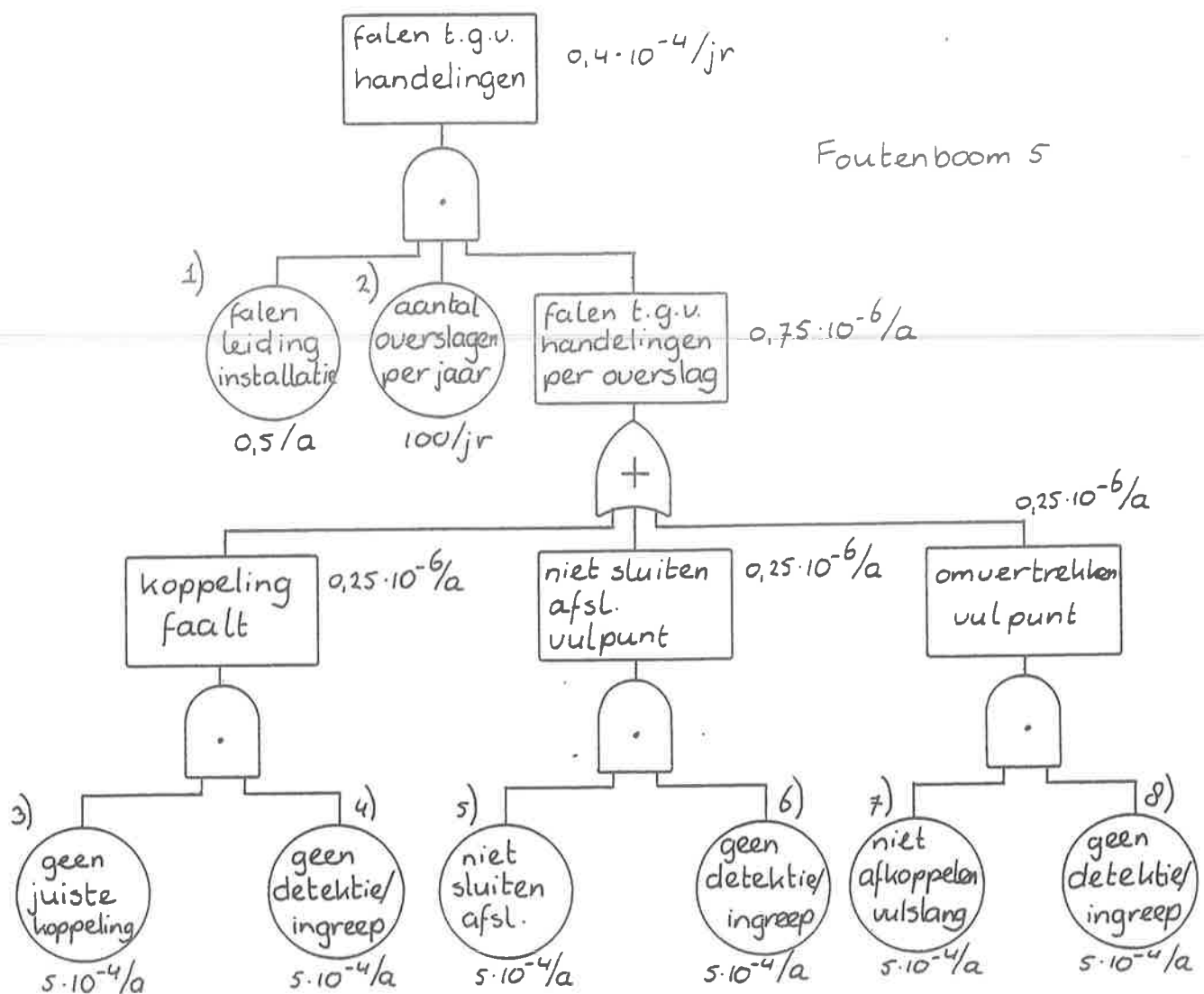
ad. 1) LPG-I, 1123, blz. 5-19.

Kansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties

- falen afsluiten vanaf opslagtank: 0,012/a
Zie foutenboom 2.
- falen afsluiten vanaf tankauto: 0,25/a



Foutenboom 7



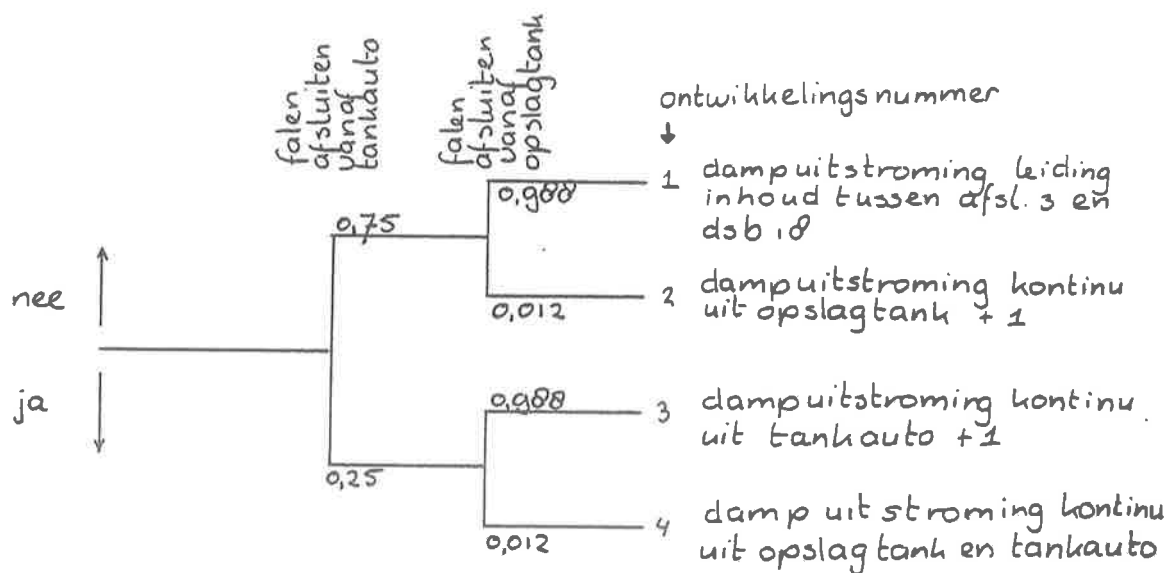
ad. 1) De dampretourleiding faalt òf bij de tankauto òf bij het vulpunt (installatie).

ad. 2) LPG-I, 1123, blz. 5-21.

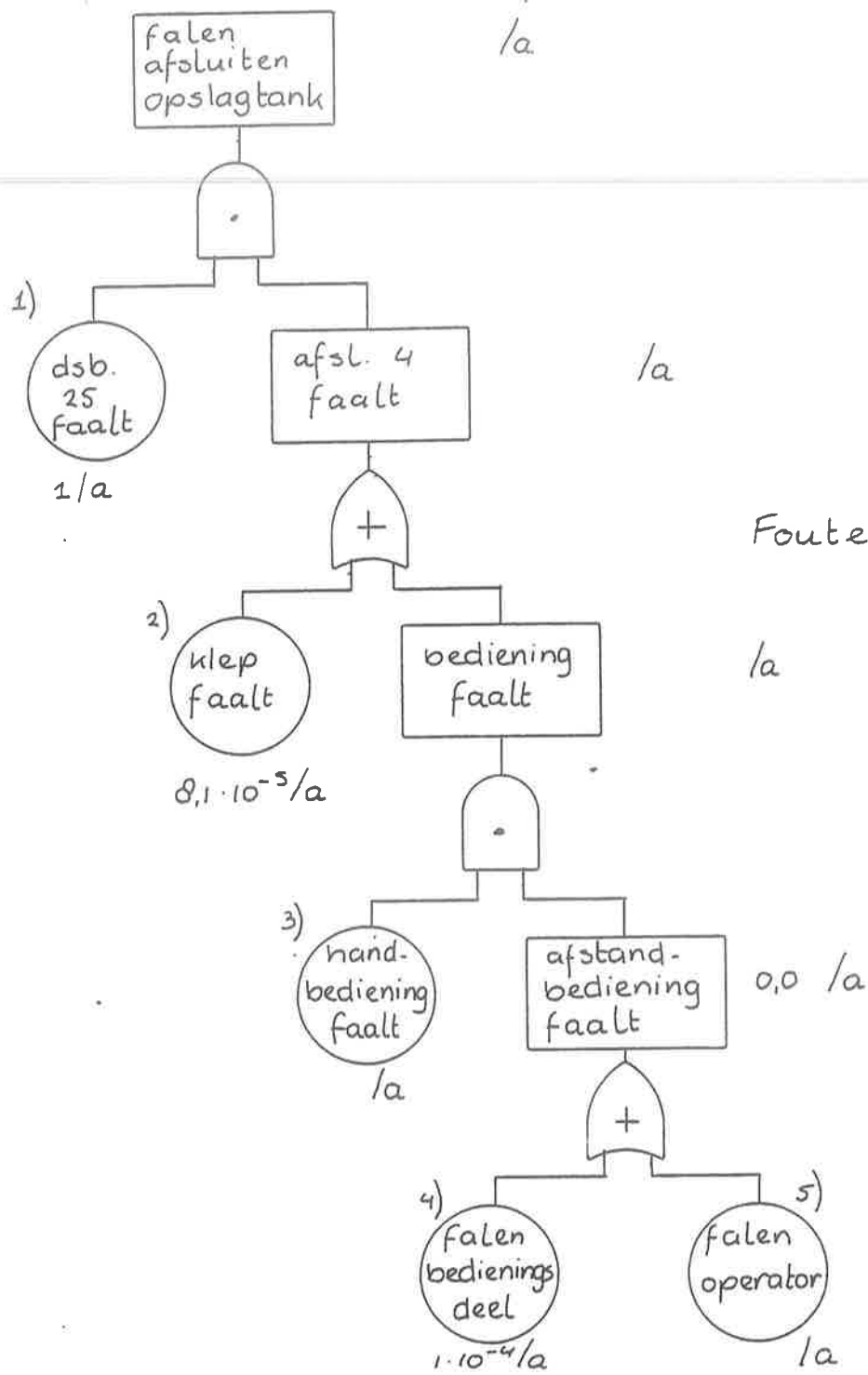
ad. 3), 4), 5), 6), 7) en 8)

Handelingsfout door chauffeur: $5 \cdot 10^{-4}/a$.

- ad. 1) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken.
- ad. 2) Faalkans afstand bedienbare afsluiter (LPG-I, 1113, blz. 26).
- ad. 3) Bereikbaarheid voor het afsluiten van de opslagtank viermaal zo groot als bij breuk.
 Falen handbediening bij breuk: $0,9/a$.
 Falen handbediening bij lekkage: $0,23/a$.
- ad. 4) LPG-I, 1113.
- ad. 5) Bereikbaarheid vijfmaal zo groot als bij breuk.
 Falen pompbediening bij breuk: $0,2/a$.
 Falen pompbediening bij lekkage: $0,25 \times 0,2 = 0,05/a$.

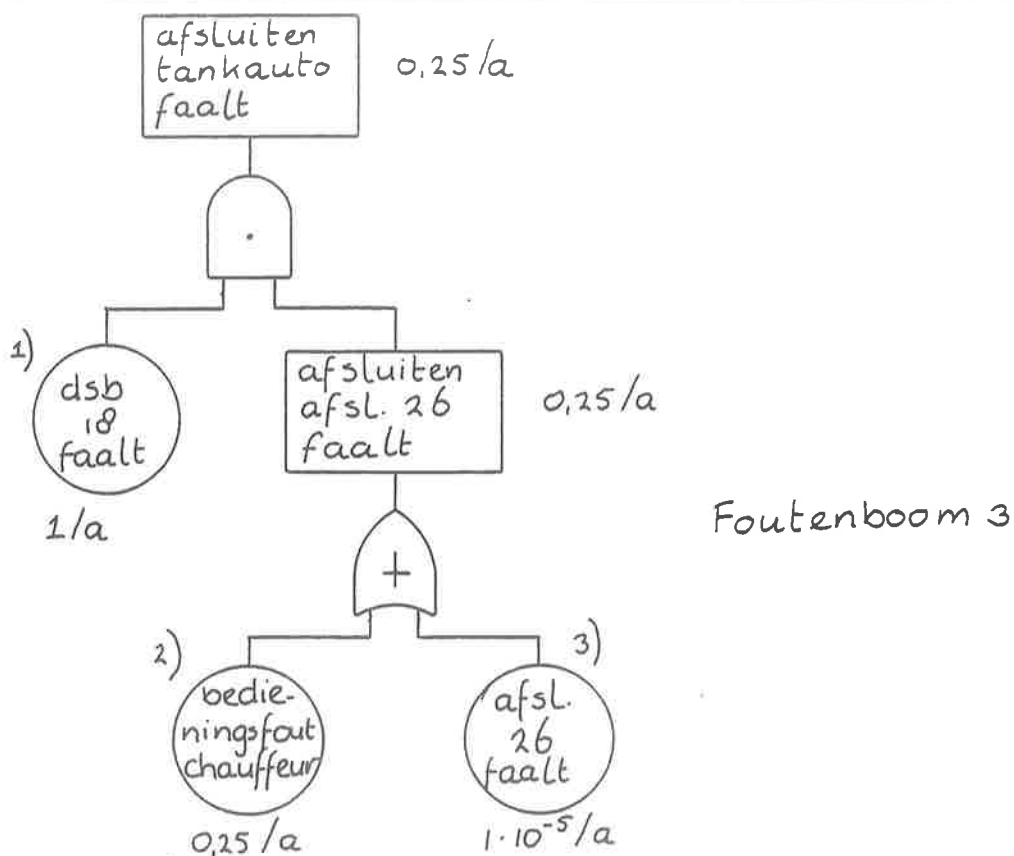


Gebeurtenissenboom 1



Lekkage leiding 2 van de tankautoKansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en de initiërende gebeurtenis

- lekkage dampretourleiding: $1 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$
De lekkagefrequentie wordt 10 x de breukfrequentie geschat.
- falen afsluiter vanaf de tankauto: 0,25/a



- ad. 1) De doorstroombegrenzer wordt niet aangesproken.
- ad. 2) Bij lekkage wordt aangenomen dat de bereikbaarheid van de afsluiter 2 x groter is dan bij breuk.
Falen bediening bij breuk: 0,5/a (foutenboom 1).
Falen bediening bij lekkage: $0,5 \times 0,5 = 0,25/\text{a}$.
- ad. 3) Afsluiter 26 is een handbediende afsluiter.
- ad. 4) Faalfrequentie: $1,5 \cdot 10^{-6}/\text{u}$ (LPG-I, 1113, blz. 24).
Deze afsluiter wordt tijdens elke overslag bediend.
Eens per drie jaar wordt de afsluiter op sluiten getest:
 $F = \frac{1}{2} \lambda \cdot T$, $F = 0,019/\text{a}$.

- falen afsluiten vanaf opslagtank: 0,012/a

initiërende gebeurtenis:		$1 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$	BLEVE bijdrage
ontwikkelingsnummer	1:	0,74/a	
	2:	$0,90 \cdot 10^{-2}/\text{a}$	*
	3:	0,25/a	*
	4:	$0,30 \cdot 10^{-2}/\text{a}$	*
bijdrage aan de BLEVE-frequentie:			$0,26 \cdot 10^{-3}/\text{jr}$

Tabel 2: Bijdrage aan BLEVE-frequentie van lekkage leiding 2 van de tankauto

Breuk leiding 3 van de installatie

De mogelijke systeemreacties op deze ongewenste gebeurtenis worden in gebeurtenissenboom 2 geanalyseerd.

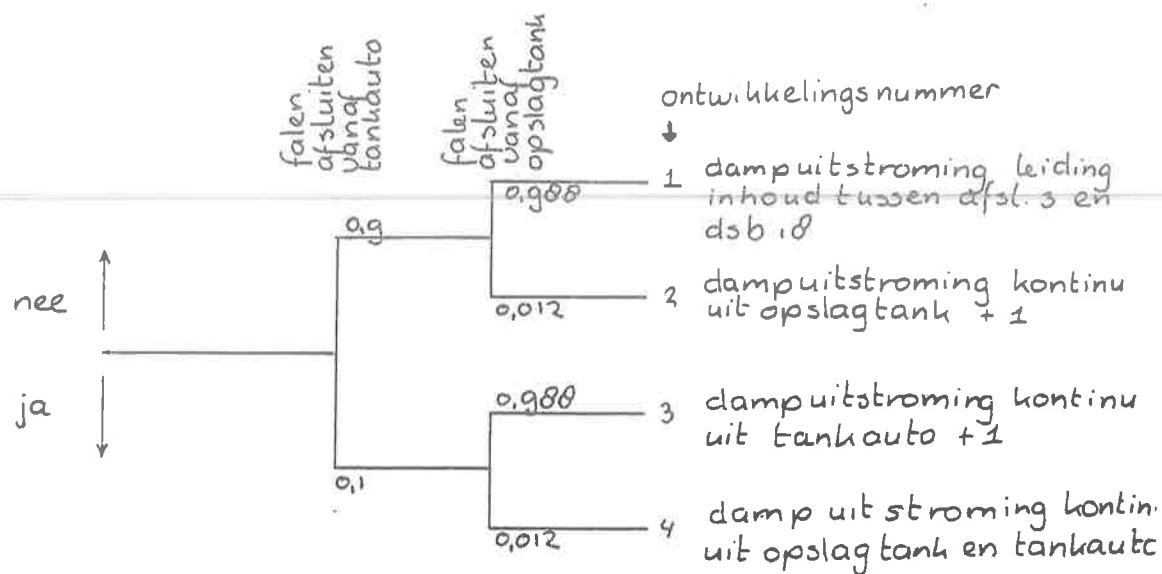
Deze boom wijkt af van gebeurtenissenboom 6 uit LPG-Integraal, 1123. In 1123 wordt als plaats van falen het leidingstuk bij de opslagtank aangenomen. In onderhavige studie wordt de plaats van falen aangenomen tussen dsb 7 en afsl. 3, bij het vulpunt dus. In dat geval heeft de dsb 7 geen functie meer.

Kansschatting voor het optreden van de intiërende gebeurtenis

Falen dampretourleiding ten gevolge van handelingen.

De faalfrequentie van de leiding ten gevolge van handelingen wordt hier (in tegenstelling tot bij falen van leiding 2) niet medebepaald door de kans op een beschadigde vulslang. (Zie foutenboom 2.2. LPG-I, 1123.)

De faalfrequentie wordt in foutenboom 5 bepaald.

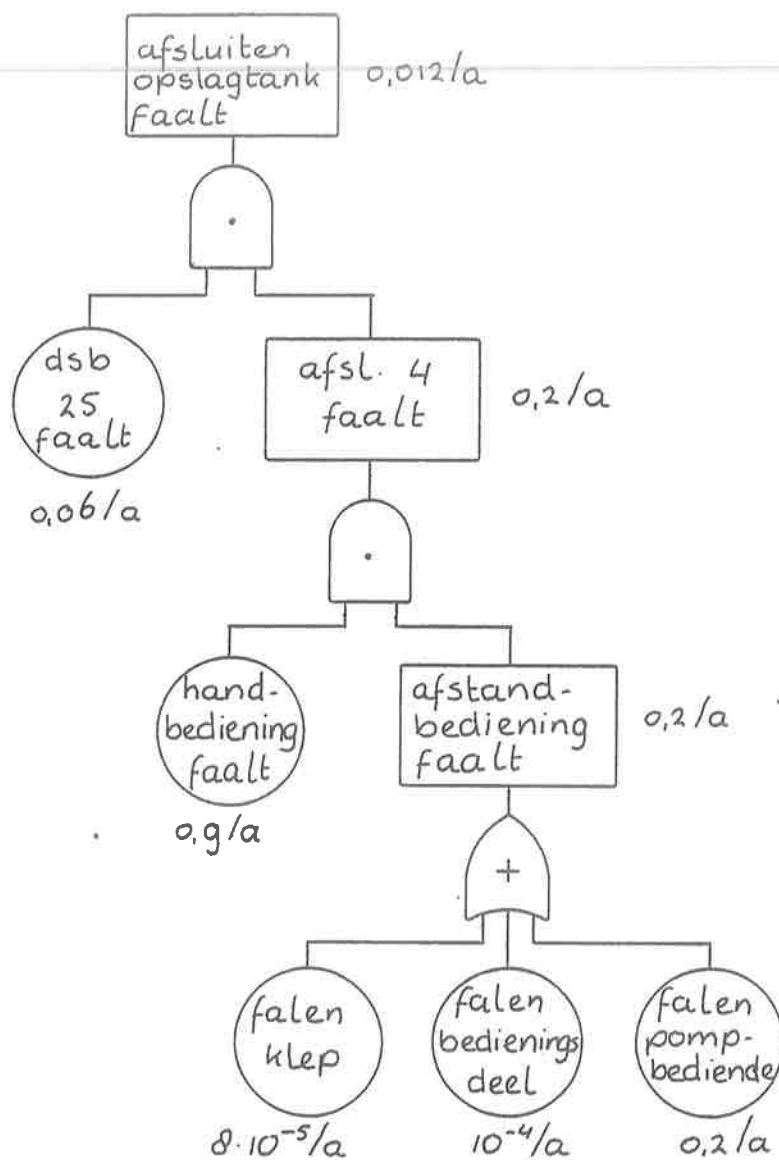


Gebeurtenissenboom 1
(Gebeurtenissenboom 7, LPG-I, 1123)

initiërende gebeurtenis:	$1 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$	BLEVE bijdrage
ontwikkelingsnummer 1:	0,89/0	
2:	$0,11 \cdot 10^{-1}/\text{a}$	*
3:	$0,99 \cdot 10^{-1}/\text{a}$	*
4:	$0,12 \cdot 10^{-2}/\text{a}$	*
bijdrage aan de BLEVE-frequentie:		$0,11 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$

Tabel 1: Bijdrage aan BLEVE-frequentie van breuk leiding 2 van de tankauto

- falen afsluiter vanaf opslagtank: 0,012/a.
(LPG-I, 1123, blz. 5-24)



Fouten boom 2

2. BESTAANDE SITUATIE (LPG-Integraal, 1123)

2.1. Falen dampretourleiding

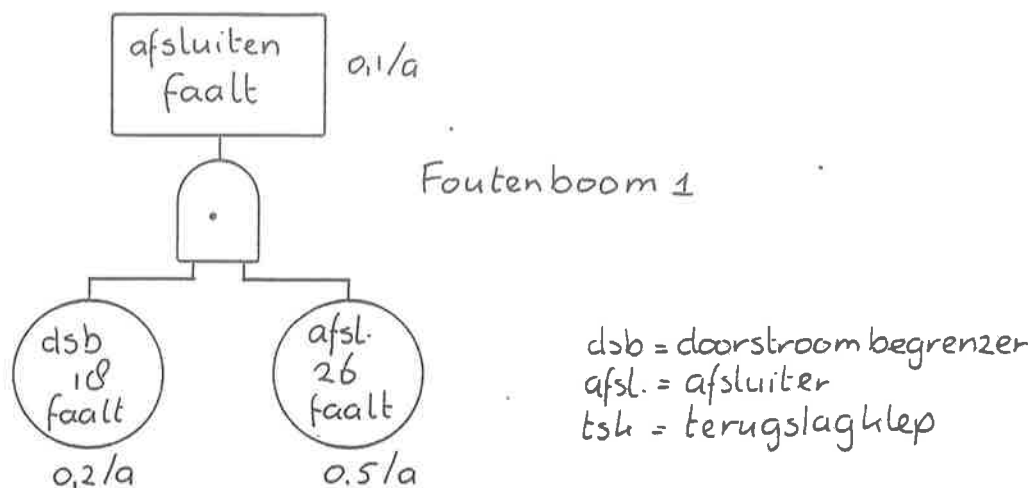
Tijdens de overslag kan de dampretourleiding op verschillende plaatsen falen. Deze plaats van falen bepaald welke reacties op het falen mogelijk zijn. In dit geval wordt de dampretourleiding in twee delen opgesplitst:

- falen leiding 2 van de tankauto;
- falen leiding 3 van de installatie (het gedeelte dat zich bij het vulpunt bevindt).

Zie voor de leidingnummers LPG-I, 1123.

Brek leiding 2 van de tankautoKansschatting voor het optreden van de mogelijke systeemreacties en de initiërende gebeurtenis

- breuk dampretourleiding: $1 \cdot 10^{-4}/\text{jr}$ (LPG-I, 1123, blz. 5-9)
- falen afsluiten vanaf tankauto: 0,1/a. (LPG-I, 1123, blz. 5-25).



BIJLAGE 2

HET GEDRAG VAN LPG-TANKWAGENS TIJDENS BOTŚINGSSITUATIES



instituut voor
werktuigkundige constructies



Leeghwaterstraat 5 Postbus 29 2600 AA Delft telefoon 015-569218 telex 38192 iweco nl

5073006-84-1

HET GEDRAG VAN LPG-TANKWAGENS
TIJDENS BOTSINGSSITUATIES

H.A. Lupker

HAL

november 1984

Gezien : Ir. R.A.P.J. Schulze
Ir. F. Roode

Goedgekeurd : Ir. G.J. Meijer

Opdrachtgever : MT-TNO

Opdrachtnummer: 5073006

Rapportnummer : 5073006-84-1

RB15

Tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen, zijn op eventueel te verlenen opdrachten de "Algemene Voorwaarden voor onderzoeks en ontwikkelingsopdrachten aan TNO, 1979", zoals gedeponereerd ter Griffie van de Arrondissementsrechtbank te 's-Gravenhage en bij de Kamers van Koophandel en Fabrieken, van toepassing.

Samenvatting

In het kader van een onderzoek van MT-TNO naar de mogelijkheden van frequentiereductie van het optreden van een BLEVE van een LPG-tankwagen op een tankstation is IWECO verzocht enige berekeningen uit te voeren aan mogelijke botsingssituaties op een tankstation. Het doel van deze berekeningen is om enig inzicht te verkrijgen in het gedrag van de LPG-tankwagens tijdens dergelijke botsingssituaties.

In verband met de beperkte omvang van het deelproject en de beperkte informatie zijn een aantal vereenvoudigende veronderstellingen ten aanzien van het bezwijkgedrag van de LPG-tankwagens gemaakt. Het statische bezwijkgedrag van de tank van de LPG-tankwagen is bepaald met behulp van het eindige differentie programma BOSOR5 dat geschikt is om het bezwijkgedrag van omwentelingsschalen die axisymmetrisch worden belast te bepalen. Het dynamische gedrag van de LPG-tankwagens is bepaald met behulp van de statische resultaten en het computer programma BOTSING dat geschikt is om eendimensionale botsingen tussen twee voertuigen te analyseren.

Uitgaande van een tweedimensionaal model van een loodrechte botsing van een vrachtwagen met een massa van 26 ton tegen een volle LPG-tankwagen die langs een stoep staat geparkeerd is gevonden dat bij een snelheid van de vrachtwagen van meer dan 30 km/h de geramde tankwagen zou kunnen kantelen. Uitgaande van een vrachtwagen met een massa van 50 ton zou de tankwagen kunnen kantelen bij een snelheid van de vrachtwagen van meer dan 20 km/h. Als de tank van de tankwagen vervolgens op een paaltje terecht komt is er, mits het paaltje voldoende stijf is en op een voldoende harde ondergrond staat, een reële kans op lekkage. Als een personenwagen loodrecht op de tank van de gekantelde LPG-tankwagen botst zal, mits er geen scherpe randen op de personenauto ontstaan, geen lekkage optreden als de snelheid van de personenauto lager is dan 80 km/h. Alle hierboven genoemde getallen moeten natuurlijk worden gezien in het licht van de vereenvoudigde analyse. Als zodanig geven ze een orde van grootte aan.

Inhoud

blz.

Samenvatting	I
1. INLEIDING	1
2. MODEL VAN EEN LPG-TANKWAGEN EN EEN PERSONENWAGEN	2
2.1 De LPG-tankwagen	2
2.2 Een personenwagen	2
3. KANTELEN VAN EEN LPG-TANKWAGEN	3
4. DE ABSORPTIE VAN ENERGIE DOOR DE TANK VAN DE LPG-TANKWAGEN	6
4.1 Inleiding	6
4.2 Het computerprogramma BOSORS	6
4.3 Kracht-weg diagrammen van de tank van de LPG-tankwagen	7
5. ANALYSE VAN EEN AANTAL MOGELIJKE ONGEVALLen	9
5.1 Inleiding	9
5.2 De LPG-tankwagen kantels op een paaltje	9
5.3 Een personenwagen botst tegen de tank van de LPG-tankwagen	10
5.4 Een vrachtwagen botst tegen de tank van de LPG-tankwagen	11
5.5 Een personenwagen botst tegen de leidingenkast	12
5.6 De LPG-tankwagen rijdt achteruit tegen een star lichaam	12
6. CONCLUSIES	13
7. AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK	14
8. LITERATUUR	15

1. INLEIDING

In verband met de veiligheid van het vervoer van LPG per tankwagen is MT-TNO verzocht de mogelijkheden van frequentiereductie van het optreden van een BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, van LPG-tankwagens op een tankstation te onderzoeken. In het kader van dit onderzoek is IWECO door MT-TNO verzocht enige berekeningen uit te voeren aan mogelijke botsingssituaties op een tankstation. Hierbij moet worden nagegaan wat de maximale snelheid van de rammende wagen is bij een botsing tegen een gekantelde LPG-tankwagen waarbij nog geen lekkage zal optreden. Daarnaast moet worden nagegaan bij welke snelheid van een rammende vrachtwagen de LPG-tankwagen zal kantelen. In verband met de beperkte informatie, [4] en [5], en omvang van het project zijn een aantal vereenvoudigende veronderstellingen gemaakt. De resultaten moeten dan ook worden gezien in het licht van deze vereenvoudigde analyse. Als zodanig geven ze een orde van grootte aan.

2. MODEL VAN EEN LPG-TANKWAGEN EN EEN PERSONENWAGEN

2.1 De LPG-tankwagen

In de figuren 1 en 2 worden de globale afmetingen van de LPG-tankwagen waarvoor de ongevallen zijn geanalyseerd weergegeven. De massa van de tankwagen is 26 ton en de inhoud van de tank is $57,5 \text{ m}^3$ zodat de massa van de volle tankwagen 50 ton is. Naar aanleiding van een ruwe schatting van de massa verdeling van een volle tankwagen is de traagheidsstraal voor rotaties om de langsas gelijk aan 1 m en de hoogte van het zwaartepunt gelijk aan 2,2 m genomen.

2.2 Een personenwagen

Voor het bepalen van de gevolgen van een botsing van een personenwagen tegen de tankwagen moet een model gemaakt worden van het gedrag van de personenwagen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de eigenschappen van de EEVC, European Experimental Vehicle Committee, testwagen, zie [1]. De EEVC testwagen is ontwikkeld voor het simuleren van de rammende wagen bij zijdelingse botsingen van twee personenwagens. Het vervormbare front van de EEVC testwagen is opgedeeld in 6 afzonderlijke delen waarbij ieder deel een rechthoekige doorsnede heeft van 250 bij 500 mm, zie figuur 3. De testwagen is symmetrisch zodat zowel de delen 1 en 3 als 5 en 6 identiek zijn. De kracht-weg diagrammen van de zes delen bij een frontale botsing worden weergegeven in figuur 4. Uit deze figuur blijkt dat het deel 2 gedurende een botsing het meeste energie, maximaal 14 kJ, zal opnemen. Het gehele front kan maximaal 45 kJ opnemen.

Naar aanleiding van het bovenstaande wordt voor frontale botsingen een personenwagen gemodelleerd als een cilindervormig lichaam met een diameter van 485 mm en een massa van 1100 kg waarvoor het kracht-weg diagram is weergegeven in figuur 4.

3. KANTELEN VAN EEN LPG-TANKWAGEN

Als een vrachtwagen loodrecht op een LPG-tankwagen botst bestaat de mogelijkheid dat de tankwagen zal kantelen. Een met betrekking tot het kantelen zeer kritische situatie is die waarbij de LPG-tankwagen om een vast punt zal roteren. Dit zal bijvoorbeeld optreden als de tankwagen langs een stoep staat geparkeerd, zie figuur 5. Uitgaande van een massa van de geramde LPG-tankwagen van m en een massatraagheidsmoment I en een massa van de rammende vrachtwagen van αm worden de stootvergelijkingen

$$m\ddot{x} = S + S_h \quad -3.1-$$

$$m\ddot{y} = S_v \quad -3.2-$$

$$I\ddot{\phi} = SH(\beta - 1) - S_v B - S_h H \quad -3.3-$$

Hierin is H de verticale afstand van het zwaartepunt ten opzichte van de weg en B de halve wielbasis van de LPG-tankwagen. Verder zijn S_h en S_v de horizontale en verticale reactiestoten van de stoeprand en S de stoot die de vrachtwagen op de LPG-tankwagen uitoefent. Het aangrijpingspunt van de stoot S wordt weergegeven met βH . Vanwege het roteren om de stoeprand moet gelden

$$\dot{x} = \dot{\phi} H \quad -3.4-$$

$$\dot{y} = \dot{\phi} B \quad -3.5-$$

Substitutie van 1, 2, 4 en 5 in 3 geeft

$$(I/m + B^2 + H^2) \ddot{\phi} = \beta HS/m \quad -3.6-$$

De invloed van wrijving wordt buiten beschouwing gelaten en voor de botsing tussen de beide voertuigen wordt verondersteld dat de stoot S horizontaal gericht is zodat geldt

$$S = -\alpha m(V_e - V_o) \quad -3.7-$$

Hierin is V_o de snelheid van de vrachtwagen voor de botsing en V_e de snelheid van de vrachtwagen na de botsing. We hebben nu echter twee vergelijkingen, 6 en 7, met drie onbekenden, $\dot{\phi}$, V_e en S zodat we dit niet kunnen oplossen zonder een aanname met betrekking tot de botsing.

Uitgaande van een volledig elastische botsing geldt dat gedurende de botsing geen kinetische energie verloren gaat zodat moet gelden

$$\frac{1}{2} \alpha m (V_o^2 - V_e^2) = \frac{1}{2} m (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{2} I \dot{\phi}^2 \quad -3.8-$$

Wil de tankwagen kantelen dan zal de kinetische energie van de tankwagen groter moeten zijn dan de benodigde potentiële energie om het zwaartepunt over zijn maximum heen te brengen waaruit volgt

$$\frac{1}{2} (I + mL^2) \dot{\phi}^2 \geq mg(L-H) \quad -3.9-$$

waarin g de zwaartekrachtversnelling is en

$$L = \sqrt{B^2 + H^2} \quad -3.10-$$

Substitutie van 7, 8 en 9 in 6 leidt dan tot

$$V_o \geq \frac{\alpha \beta^2 H^2 + L^2 + I/m}{2\alpha \beta H} \sqrt{\frac{2g(L-H)}{L^2 + I/m}} \quad -3.11-$$

hetgeen geïnterpreteerd kan worden als een onderwaarde voor de minimale snelheid die tot kantelen leidt.

Een andere uiterste situatie is die van een volledig inelastische botsing. Dit houdt in dat zowel de horizontale als de verticale snelheden van de raakpunten van de botsende voertuigen na de botsing gelijk zijn. Dit is in dit geval echter onwaarschijnlijk. We poneren daarom dat alleen de horizontale snelheden gelijk zijn. Dan geldt

$$V_e = \beta H \dot{\phi} \quad -3.12-$$

Voor het kantelen van de tankwagen moet nu echter gelden

$$\frac{1}{2} (I + mL^2) \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} \alpha m V_e^2 \geq mg(L-H) \quad -3.13-$$

omdat ook de kinetische energie van de botsende wagen in potentiële energie van de tankwagen wordt omgezet. Substitutie van 7, 12 en 13 in 6 leidt dan tot

$$V_0 = \frac{\sqrt{2g (I/m + L^2 + \alpha\beta^2 H^2) (L-H)}}{\alpha\beta H}$$

-3.14 -

hetgeen kan worden geïnterpreteerd als een bovenwaarde van de minimale snelheid die tot kantelen leidt.

De met behulp van 11 en 14 gevonden snelheden worden in figuur 6 weergegeven als functie van de relatieve massa van de rammende vrachtwagen en het aangrijpingspunt van de stoot. In het algemeen is het erg moeilijk om een goede afschatting te geven van het aangrijpingspunt van de stoot. Uit figuur 6 blijkt echter dat de resultaten niet erg variëren als functie van het aangrijpingspunt van de stoot zodat met een ruwe afschatting kan worden volstaan. De werkelijke botsing zal de volledig plastische botsing benaderen zodat geconcludeerd kan worden dat als de massa van de rammende vrachtwagen 26 ton is, hetgeen overeenkomt met de massa van een lege LPG-tankwagen, de tankwagen zou kunnen kantelen bij een snelheid van de vrachtwagen van 30 km/h. Uitgaande van een massa van 50 ton, hetgeen overeenkomt met een volle LPG-tankwagen, is deze snelheid 20 km/h.

4. DE ABSORPTIE VAN ENERGIE DOOR DE TANK VAN DE LPG-TANKWAGEN

4.1 Inleiding

Gedurende een botsing tegen de tank van een LPG-tankwagen zal de tank vervormen en dus energie opnemen. In het algemeen is het niet mogelijk om het vervormingsgedrag van schaalconstructies waarbij grote vervormingen optreden analytisch te bepalen. Numeriek is dit meestal wel mogelijk maar kost het zonder vereenvoudigingen erg veel rekentijd. Het bepalen van het vervormingsgedrag van een omwentelingsschaal die axisymmetrisch wordt belast is echter een eendimensionaal probleem zodat dit veel minder kostbaar is dan het bepalen van het vervormingsgedrag van een niet axisymmetrische schaal. Dit is de reden waarom we zullen veronderstellen dat het vervormingsgedrag van het cilindrische gedeelte van de tank kan worden bepaald aan de hand van een vergelijkbaar axisymmetrisch probleem.

4.2 Het computerprogramma BOSOR5

Het door D. Bushnell ontwikkelde computerprogramma BOSOR5 is geschikt voor het berekenen van het bezwijkgedrag van omwentelingsschalen met inbegrip van discrete ring-verstijvers die axisymmetrisch worden belast. BOSOR5 is gebaseerd op de eindige differentie energie methode en kan een elastisch orthotroop of elastisch-plastisch isotroop materiaalgedrag beschrijven. Uitgaande van de schalentheorie gebaseerd op de Kirchhoff-Love hypothese is het mogelijk vergelijkingen af te leiden die het verband geven tussen de rekken in de schaal en de verplaatsingen van een referentievlak van de schaal. Met de balkentheorie zijn uitdrukkingen af te leiden die de rek in een ring-verstijver bepalen. Deze rekuitedrukkingen worden vervolgens gediscretiseerd met eindige differentieschema's waardoor de rekken in de constructie functies van een eindig aantal vrijheidsgraden worden. In het voorknikgedrag zijn dit de meridionale en normale verplaatsingen van het referentievlak van de schaal. Het op deze manier verkregen stelsel niet lineaire vergelijkingen moet vervolgens iteratief worden opgelost. In BOSOR5 gebeurt dit met de zogenaamde Newton-Raphson iteratiemethode. De op deze manier gevonden oplossing is axisymmetrisch zodat het enige faalgedrag dat hiermee bepaald kan worden het axisymmetrisch bezwijken is. Het is echter mogelijk dat op de axisymmetrische oplossing vertakkingspunten voorkomen waar meerdere oplossingen mogelijk zijn die in het algemeen niet axisymmetrisch zijn. Om deze vertakkingspunten te kunnen bepalen worden ook de verplaatsingen in omtreksrichting in de evenwichtsvergelijkingen betrokken. De constitutieve vergelijkingen die in BOSOR5 zijn

geïmplementeerd zijn niet geschikt om grote vervormingen te beschrijven zodat de resultaten die worden gevonden als de rekken groter zijn dan 10% niet meer betrouwbaar zijn. In de volgende paragrafen wordt daarom het vervormingsgedrag bepaald tot er in de zwaarst belaste doorsnede een equivalente rek is van ongeveer 7%. Meestal zal een constructie nog niet bezwijken bij dergelijke rekken zodat hiermee een conservatieve waarde voor de maximaal op te nemen energie wordt gevonden. Daar staat echter tegenover dat tevens wordt verondersteld dat het rammende lichaam loodrecht op de tank botst en dat ten gevolge van de botsing geen scherpe randen of punten op het rammende lichaam zullen ontstaan die lekkage zouden kunnen veroorzaken.

4.3 Kracht-weg diagrammen van de tank van de LPG-tankwagen

De tank is gemaakt van staal Fe47, DIN notatie TT St E 47. De spanning-rek relatie van dit materiaal is benaderd door de spanning-rek relatie die wordt weergegeven in figuur 7. Voor het bepalen van de kracht-weg diagrammen van de tank is gebruik gemaakt van BOSOR5 en is de dikte, naar aanleiding van een gesprek met ten Cate [5], van zowel het boltorusfront als het cilindrische gedeelte van de tank op 11,1 mm gesteld. De botsing van de diverse lichamen op de tank wordt gemodelleerd door de botsing van een cilindrisch lichaam centraal op het model van de tank. De maximale indringdiepte van dit lichaam wordt bepaald door de maximaal toelaatbare equivalente rek.

Het model van het boltorusfront wordt weergegeven in figuur 8 waarin het punt A op de symmetrie as ligt. De rand D wordt opgelegd verondersteld zodat alleen de axiale verplaatsing is onderdrukt. Het botsen van het cilindrische lichaam op het boltorusfront wordt gemodelleerd door afhankelijk van de diameter van het cilindrische lichaam de axiale verplaatsing van de ring B, 323 mm, of C, 484 mm, voor te schrijven. Uitgaande van een stootlichaam met een diameter van 323 mm worden de kracht-weg diagrammen bij een overdruk van 0,6 en 1,0 N/mm² weergegeven in figuur 9. Uit deze figuur blijkt dat de kracht bij een verplaatsing van 100 mm en een overdruk van 1,0 N/mm² 170 kN hoger is dan bij dezelfde verplaatsing en een overdruk van 0,6 N/mm². De kracht tengevolge van een verdeelde belasting van 0,4 N/mm² op het oppervlak van het cilindervormige lichaam is slechts 33 kN waaruit geconcludeerd kan worden dat de tank bij een hogere druk stijver zal reageren. In figuur 10 worden de kracht-weg diagrammen bij een overdruk van 0,6 N/mm² en een diameter van het cilin-

dervormige lichaam van 323 mm en 484 mm weergegeven. In figuur 11 wordt de vervormde geometrie bij drie indringdieptes van het cilindervormige lichaam met een diameter van 484 mm weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de torus bijna niet vervormt.

Het cilindrische gedeelte van de tank is vanwege de verschillende krommingen in axiale en omtreksrichting zelfs bij een loodrechte botsing niet axisymmetrisch en kan daarom niet zonder meer met BOSOR5 worden doorgerekend. We zullen daarom het cilindrische gedeelte van de tank modelleren als een bolkap met dezelfde dikte en een tweemaal zo grote diameter. De factor twee is gekozen omdat dan de gemiddelden van de twee hoofdkrommingen in beide gevallen aan elkaar gelijk zijn. Deze methode wordt o.a. door ASME en stoomwezen geadviseerd bij de bepaling van de sterkte van de tank waarbij zij echter geen uitspraak doen over de kracht-weg relatie of energieabsorptie van de tank. Het model van de bolkap wordt weergegeven in figuur 12 waarin het punt A op de symmetrie as ligt. De rand D wordt weer opgelegd verondersteld zodat alleen de axiale verplaatsing wordt onderdrukt. Door deze randvoorwaarde zal het model echter stijver reageren dan de werkelijke tank omdat deze zal doorbuigen onder een radiale belasting. Het botsen van het cilindrische lichaam op het model wordt gemodelleerd door afhankelijk van de diameter van het lichaam de axiale verplaatsing van de ring B, 292 mm, of C, 486 mm voor te schrijven. In figuur 14 worden de kracht-weg diagrammen bij een overdruk van $0,6 \text{ N/mm}^2$ en een diameter van het stootlichaam van 292 mm en 486 mm weergegeven. Als we de figuren 10 en 14 met elkaar vergelijken blijkt dat de resultaten vergelijkbaar zijn en hoofdzakelijk worden bepaald door de verhouding van de diameter van het indringlichaam en de straal van de bolkap. Hiervan uitgaande kan ieder kracht-weg diagram dan worden geïnterpreteerd als een botsing van een cilindervormig lichaam op het cilindrische gedeelte of op het front van de tank waarbij dan wel de diameter van het cilindrische lichaam verschillend is. In figuur 13 worden de mogelijke combinaties gegeven waarvoor uitgaande van deze redenering de kracht-weg diagrammen zijn bepaald.

5. ANALYSE VAN EEN AANTAL MOGELIJKE ONGEVALLEN

5.1 Inleiding

Als bij een botsing de uitwendige krachten geen rol spelen kan deze beschreven worden met de wetten van behoud van hoeveelheid beweging en behoud van energie. Als echter de wrijving wordt meegenomen in de beschouwing moeten de bewegingsvergelijkingen worden opgesteld en, al dan niet numeriek, in de tijd worden geïntegreerd. G.J. Meijer heeft een programma ontwikkeld waarmee een eendimensionale botsing tussen twee voertuigen kan worden geanalyseerd. Dit programma is gebaseerd op een aantal veronderstellingen waarvan de belangrijkste zijn: - geen elastische componenten.

- de twee botsende wagens worden beschouwd als puntmassa's.
- de geramde wagen ondervindt Coulombse wrijving.

Als de indringsnelheid positief is, is de contactkracht tussen de beide wagens gelijk aan kracht bepaald door het gezamenlijke kracht-weg diagram van de beide voertuigen. Als de indringsnelheid nul is, is de contactkracht kleiner dan deze kracht. Het gezamenlijke kracht-weg diagram van de beide voertuigen moet aan het programma worden opgegeven en mag uit maximaal 10 rechte stukken bestaan. Als zowel het rammende als het geramde voertuig vervormen moet het gezamenlijke kracht-weg diagram bepaald worden uit de twee kracht-weg diagrammen van de voertuigen afzonderlijk. In dit verslag wordt uitgegaan van een "serieschakeling" zodat de indringdieptes bij een bepaalde kracht bij elkaar worden opgeteld om het gezamenlijke kracht-weg diagram te bepalen. De op deze manier gevonden bewegingsvergelijkingen worden vervolgens numeriek geïntegreerd met behulp van de methode van Heun. Een uitgebreidere beschrijving van dit computerprogramma wordt gegeven in [2].

5.2 De LPG-tankwagen kantelt op een paaltje

Als de tankwagen zodanig kantelt dat de tank op een paaltje met hoogte h terecht komt zal afhankelijk van de hoeksnelheid van de tankwagen en de doorsnede van het paaltje lekkage kunnen ontstaan. De hoeksnelheid op het moment dat de tank het paaltje raakt is minstens gelijk aan

$$\dot{\phi} = \sqrt{\frac{2g(L-H)}{I/m + L^2}}$$

Veronderstellen we de hoogte van het paaltje gelijk aan 0,5 m dan vinden we na het invullen van de waarden voor de LPG-tankwagen een hoeksnelheid

van 2,3 rad/s. Deze hoeksnelheid blijkt voor paaltjes met een equivalente diameter van 20 a 30 cm ruim voldoende om lekkage te veroorzaken. Er is daarbij verondersteld dat de ondergrond voldoende hard is zodat het paaltje niet in de grond wordt geduwd of zal kantelen en dat het paaltje voldoende stijf is zodat de krachten kunnen worden opgenomen zonder al te grote vervormingen.

5.3 Een personenwagen botst tegen de tank van de LPG-tankwagen

Als de LPG-tankwagen gekanteld is bestaat de mogelijkheid dat door een botsing van een personenwagen tegen de tank lekkage zal ontstaan. Voor het bepalen van de snelheid van de personenwagen waarbij lekkage zou kunnen ontstaan zullen we de personenwagen modelleren als een cilindervormig lichaam met een diameter van 485 mm en een stijfheid die wordt bepaald door het kracht-weg diagram weergegeven in figuur 4. Voor deze equivalente diameter wordt het kracht-weg diagram van het cilindrische gedeelte van de tank weergegeven door figuur 14A en van het boltorusfront door figuur 10A.

Uitgaande van het bovenstaande model zal de personenwagen bij een snelheid van 75 km/h een deuk van 210 mm diep in de tank duwen. Dit geldt zowel voor een botsing tegen het cilindrische gedeelte van de tank als tegen het boltorusfront. Bij een snelheid van 80 km/h zal de deuk een diepte hebben van 250 mm. Uitgaande van een equivalente diameter van 600 mm wordt het kracht-weg diagram van het cilindrische gedeelte volgens figuur 13 weergegeven in figuur 10A en worden nagenoeg dezelfde resultaten gevonden zodat gesteld kan worden dat de resultaten niet erg worden beïnvloed door de waarde van de equivalente diameter. Verwaarlozen we de vervormbaarheid van de personenwagen dan wordt bij een equivalente diameter van 485 mm en een snelheid van 75 km/h al een deuk met een diepte van 250 mm in de tank geduwd. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor twee waarden van de wrijvingscoëfficiënt 0,4 en 0,8. In beide gevallen werden dezelfde resultaten gevonden waaruit blijkt dat ook de wrijvingscoëfficiënt geen kritische parameter is.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de eigenschappen van de personenwagen de resultaten weinig beïnvloeden en dat de resultaten voor het front en het cilindrische gedeelte nagenoeg hetzelfde zijn. De toelaatbare snelheid waarop nog geen lekkage optreedt wordt voor een groot gedeelte bepaald door de waarde van de maximaal toelaatbare vervorming. De maximaal optredende equivalente rek in de tank bij een deuk van 250 mm is

ongeveer 7% zodat uitgaande van bovenstaand model gesteld kan worden dat bij een botsing van een personenwagen loodrecht op het boltorusfront of het cilindrische gedeelte van de tank geen lekkage zal optreden als de snelheid van de personenwagen kleiner is dan 80 km/h.

5.4 Een vrachtwagen botst tegen de tank van de LPG-tankwagen

Als een vrachtwagen tegen het cilindrische gedeelte van een gekantelde LPG-tankwagen botst zal door de grote massa van de vrachtwagen de toelaatbare snelheid veel lager zijn dan die van een personenwagen. Omdat geen gegevens beschikbaar zijn van het vervormingsgedrag van vrachtwagens bij frontale botsingen wordt de vrachtwagen beschouwd als een star lichaam met een equivalente diameter van 603 mm. Deze aanname wordt enigszins gerechtvaardigd door de in de vorige paragraaf gevonden resultaten voor een personenwagen en zal leiden tot een onderschatting van de kritische snelheid. Het kracht-weg diagram van de tank voor deze equivalente diameter komt volgens figuur 13 overeen met het kracht-weg diagram weergegeven in figuur 10A.

Uitgaande van een massa van de vrachtwagen van 25 ton, hetgeen overeenkomt met een lege LPG-tankwagen, wordt bij een snelheid van 20 km/h een deuk met een diepte van 250 mm in de tank geduwd. Uitgaande van een massa van 50 ton, hetgeen overeenkomt met een volle LPG-tankwagen, wordt bij een snelheid van 15 km/h al een deuk met een diepte van 250 mm in de tank geduwd. Deze berekeningen zijn voor twee waarden van de wrijvingscoëfficiënt, 0,4 en 0,8, uitgevoerd. In beide gevallen werden vrijwel dezelfde resultaten gevonden waaruit blijkt dat ook in dit geval de wrijvingscoëfficiënt geen kritische parameter is. Ook nu wordt de maximale snelheid waarop nog geen lekkage optreedt voor een groot gedeelte bepaald door de waarde van de maximaal toelaatbare vervorming. De maximaal optredende equivalente rek in de tank bij een deuk van 250 mm is ongeveer 7% zodat dan nog geen lekkage zal optreden.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat uitgaande van bovenstaand model bij een botsing van een vrachtwagen met een massa van 25 ton c.q. 50 ton loodrecht op het cilindrische gedeelte van de tank geen lekkage zal optreden als de snelheid van de vrachtwagen kleiner is dan 20 km/h c.q. 15 km/h.

5.5 Een personenwagen botst tegen de leidingenkast

Als een personenwagen tegen de leidingenkast rijdt, waarbij de rijrichting van de personenwagen loodrecht op die van de LPG-tankwagen staat, zal als de snelheid van de personenwagen hoog genoeg is de leidingenkast bezwijken. Om een afschatting te kunnen maken van de snelheid waarbij bezwijken zal optreden wordt verondersteld dat de bodem van de leidingenkast niet zal vervormen. Tevens wordt verondersteld dat de twee verticale platen waarmee de bodem aan de tank is bevestigd, die volgens [5] een dikte hebben van 2 mm, evenveel energie zullen opnemen. Uitgaande van een bezwijkmechanisme waarbij de verticale platen uitknikken en de vier verticale verstijvers aan de einden van de platen ieder twee plastische scharnieren ontwikkelen wordt dan een bezwijklast van 250 kN gevonden.

Gebruikmakend van het model van een personenwagen als beschreven in hoofdstuk 2 zullen de verticale platen uitknikken als de personenwagen een snelheid heeft van 32 km/h. De leidingenkast zal dan nog niet direct bezwijken. Veronderstellen we dat na het uitknikken van de platen de kracht constant blijft dan zal bij een snelheid van de personenwagen van 40 km/h de bodemplaat 100 mm in horizontale richting verplaatsen.

Het merendeel van de kinetische energie van de personenwagen wordt bij deze botsing opgenomen door de personenwagen zelf zodat de resultaten alleen geldig zijn voor personenwagens met ongeveer dezelfde massa en stijfheid tegen frontale botsingen als aangenomen in het bovenstaande model. Voor dergelijke personenwagens kan geconcludeerd worden dat bij een snelheid van de personenwagen lager dan 30 km/h de leidingen niet ontoelaatbaar beschadigd zullen worden.

5.6 De LPG-tankwagen rijdt achteruit tegen een star lichaam

Als de tankwagen achteruit tegen een star lichaam rijdt kan dit lichaam mits het voldoende stijf is bevestigd en de krachten zonder al te grote vervormingen kan opnemen lekkage veroorzaken. Uitgaande van een equivalente diameter van het starre lichaam van 325 mm wordt het kracht-weg diagram van het boltorusfront weergegeven in figuur 10B.

Bij een snelheid van 10 km/h zal het lichaam een deuk met een diepte van 210 mm in de tank duwen. De maximaal optredende equivalente rek in de tank is dan ongeveer 7% zodat bij een botsing waarbij het boltorusfront loodrecht op het starre lichaam botst geen lekkage zal optreden als de snelheid van de LPG-tankwagen kleiner is dan 10 km/h.

6. CONCLUSIES

Binnen het kader van de beschreven modellen kan worden geconcludeerd:

- a. Als een vrachtwagen met een massa van 26 ton c.q. 50 ton loodrecht op een langs een stoep geparkeerde volle LPG-tankwagen botst is er bij een snelheid van de vrachtwagen van meer dan 30 km/h c.q. 20 km/h een reële kans op kantelen van de vrachtwagen.
- b. Als de LPG-tankwagen kantelt en op een paaltje met een diameter van 20 a 30 cm valt is er, mits het paaltje voldoende stijf is en op een voldoende harde ondergrond staat, een reële kans op lekkage.
- c. Als een personenauto van 1100 kg met een kracht-weg diagram voor frontale botsingen als weergegeven in figuur 4 loodrecht op de tank van de LPG-tankwagen botst zal, mits er geen scherpe randen op de personenauto ontstaan, geen lekkage optreden als de snelheid van de personenwagen lager is dan 80 km/h.
- d. Als dezelfde personenwagen op het midden van de leidingenkast botst, waarbij de rijrichting van de personenwagen loodrecht op die van de LPG-tankwagen staat, zal geen lekkage optreden als de snelheid van de personenauto lager is dan 30 km/h.

7. AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

- a. Besteedt meer aandacht aan het kantelen van de LPG-tankwagen.
Bijvoorbeeld als gevolg van het te snel door een bocht rijden of als gevolg van een zijdelingse botsing waarbij de LPG-tankwagen niet langs een stoep staat geparkeerd.
- b. Onderzoek in hoeverre de veronderstellingen aangaande de vervanging van de rammende lichamen door lichamen met een cirkelvormige doorsnede reëel zijn.
- c. Bepaal de juiste criteria, bij voorkeur experimenteel, voor lekkage van de tank.
- d. Onderzoek in hoeverre reksnelheidseffecten van invloed zijn op de resultaten.
- e. Onderzoek in hoeverre de veronderstelling dat voor de beschouwde botsingssituaties het cilindervormige deel van de tank kan worden vervangen door een halve bol met een twee maal zo grote straal als de cilinder reëel is.
- f. Besteedt meer aandacht aan het vervormingsgedrag van personenwagens en vrachtwagens tijdens frontale botsingen.
- g. Beschouw de invloed van een niet loodrechte botsing en de invloed van de vervormingen van de ondersteuning van de tank.

8. LITERATUUR

[1] Cesari, D.

European proposal for a side impact crash test procedure.

SAE Technical Paper Series, 830464, O.N.S.E.R. - Laboratoire des Chocs
et de Biomecanique, Bron - France.

[2] Meijer, G.J.

Dynamisch gedrag van botsende gastankwagens.

TNO-IWECO, Rapportnr. 5073002-83-1.

[3] Roark R., Young W.

Formulas for Stress and Strain.

Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd., 1975.

[4] Tekeningen nr. L-9557B en L-9576C van het bedrijf ten Cate B.V.

Oostmarsumsestraat 57, Almelo.

[5] Telefonisch gesprek met het bedrijf ten Cate op 9 november 1984.

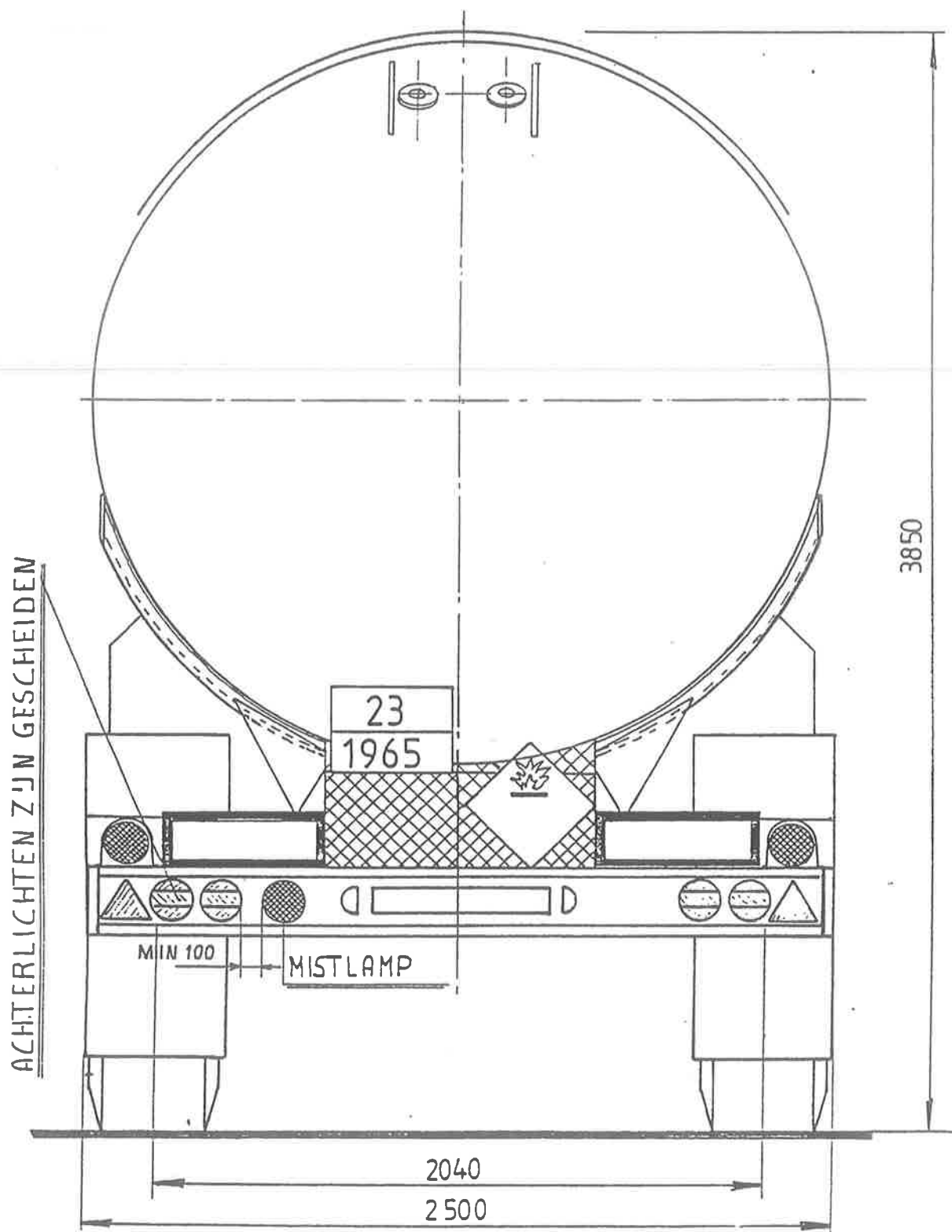


Fig. 2 Het achteraanzicht van de LPG-tankwagen.

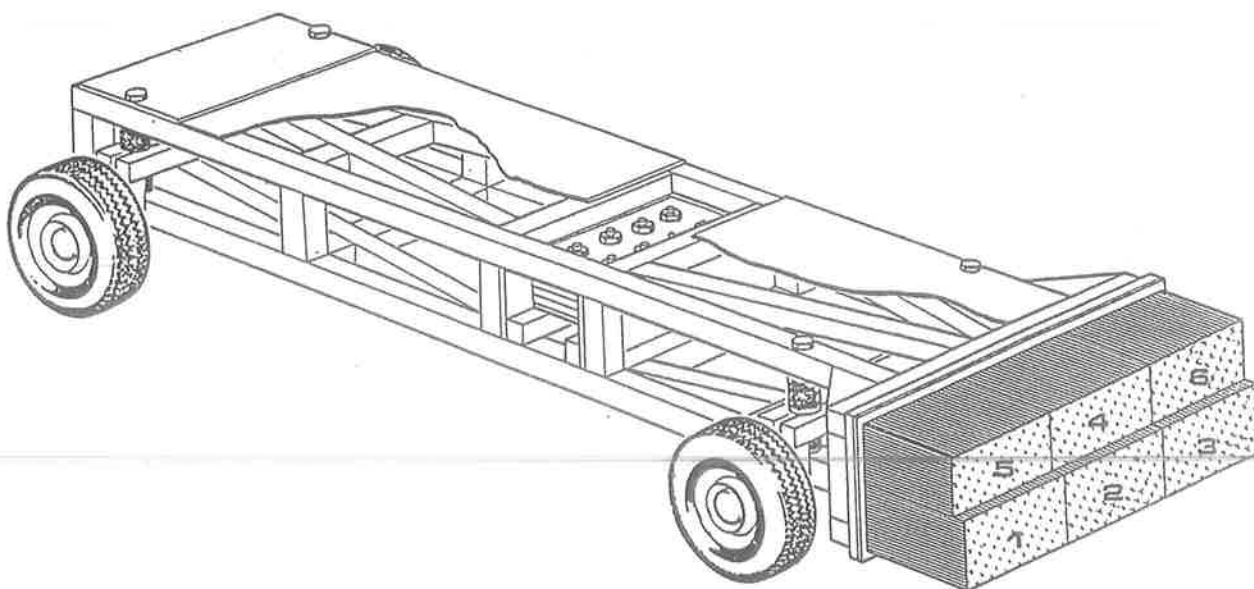


Fig. 3 De EEVC testwagen.

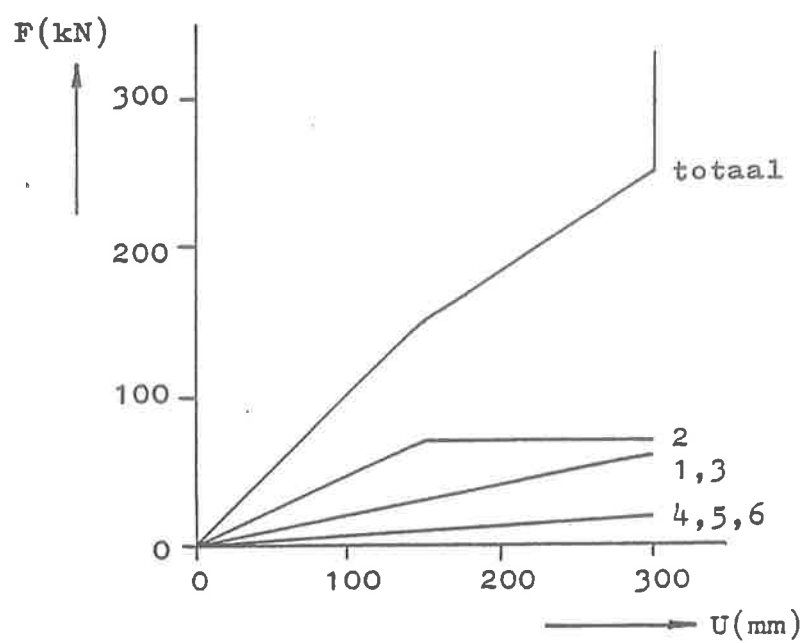


Fig. 4 De kracht-weg diagrammen van de EEVC testwagen.

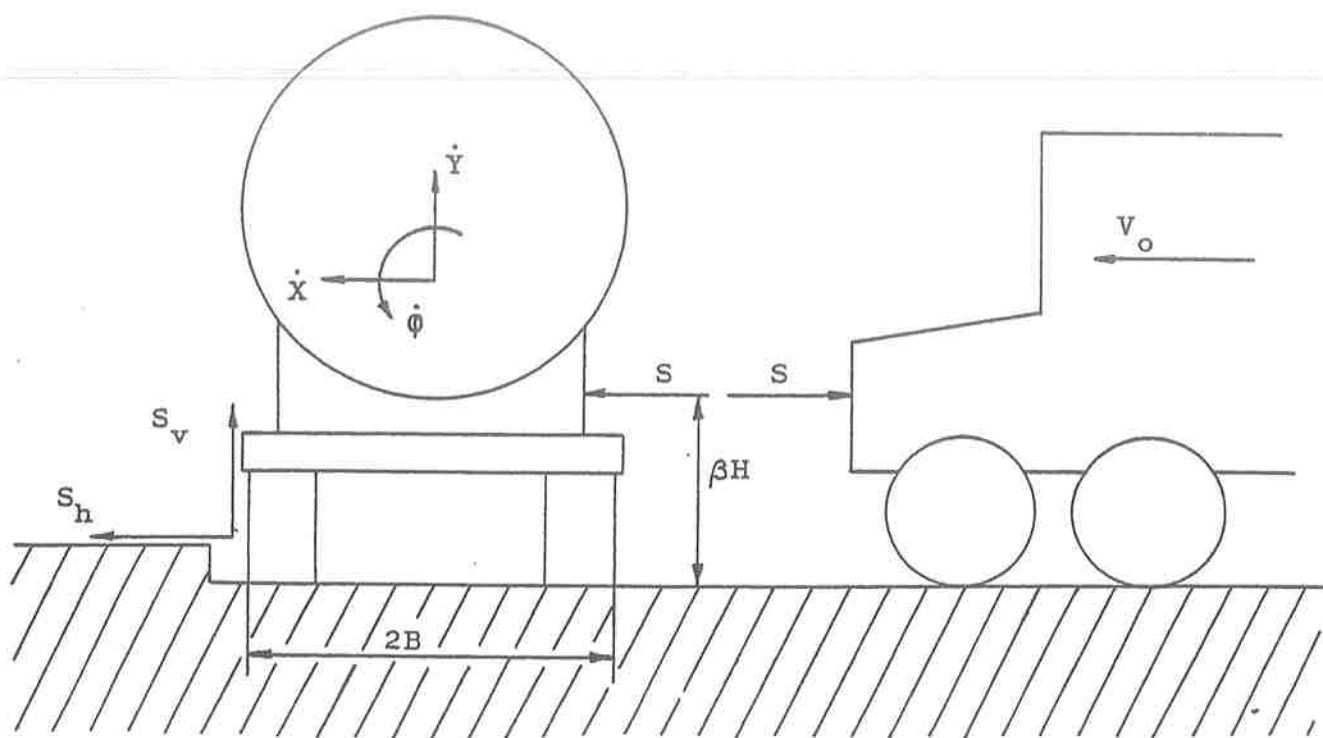


Fig. 5 Het model voor het kantelen van de LPG-tankwagen.

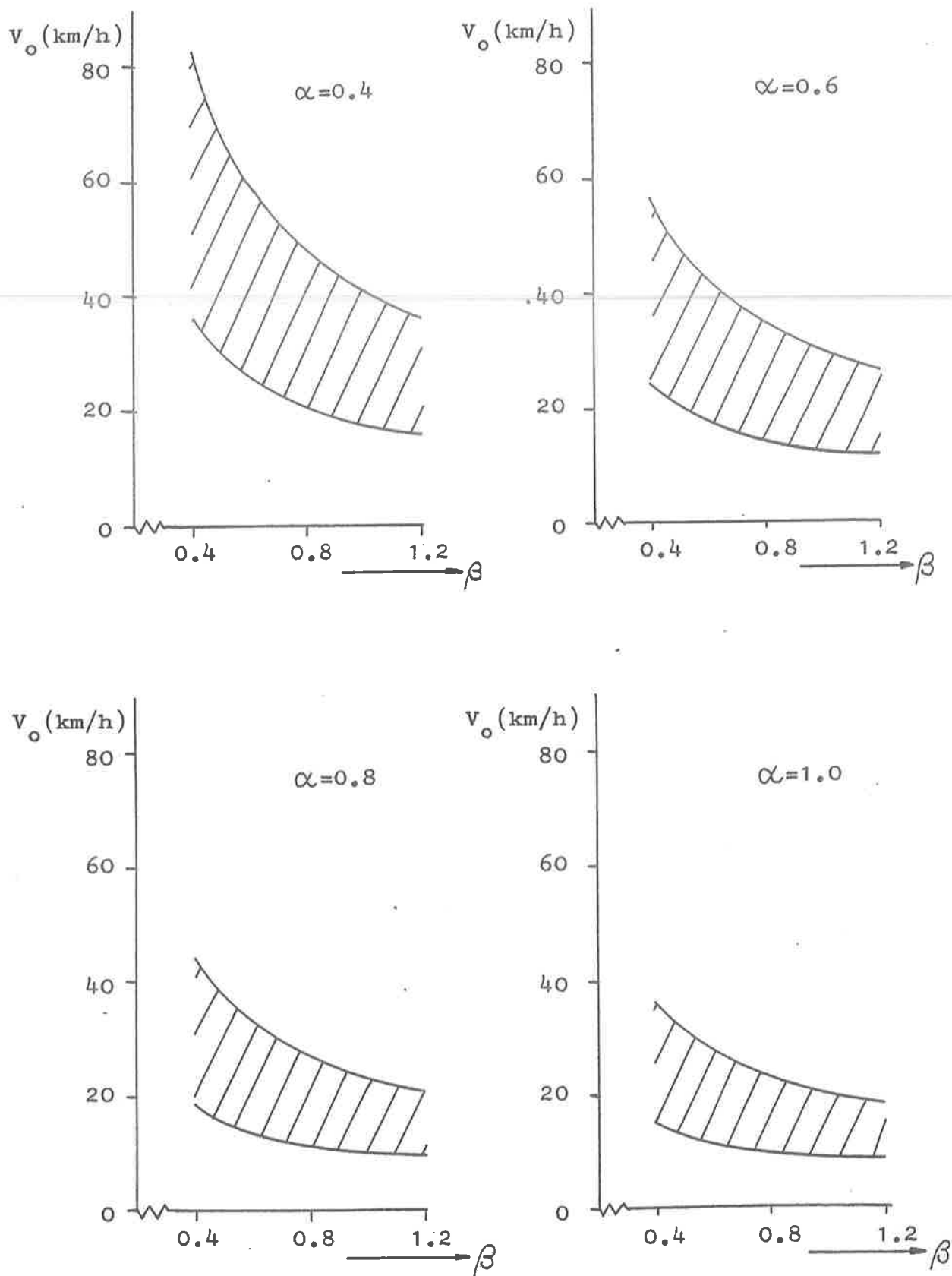


Fig. 6 De minimale snelheden van de rammende wagen om de geramde wagen te doen kantelen als functie van de massa van de rammende wagen, α , en de plaats van het centrum van de botsing, β .

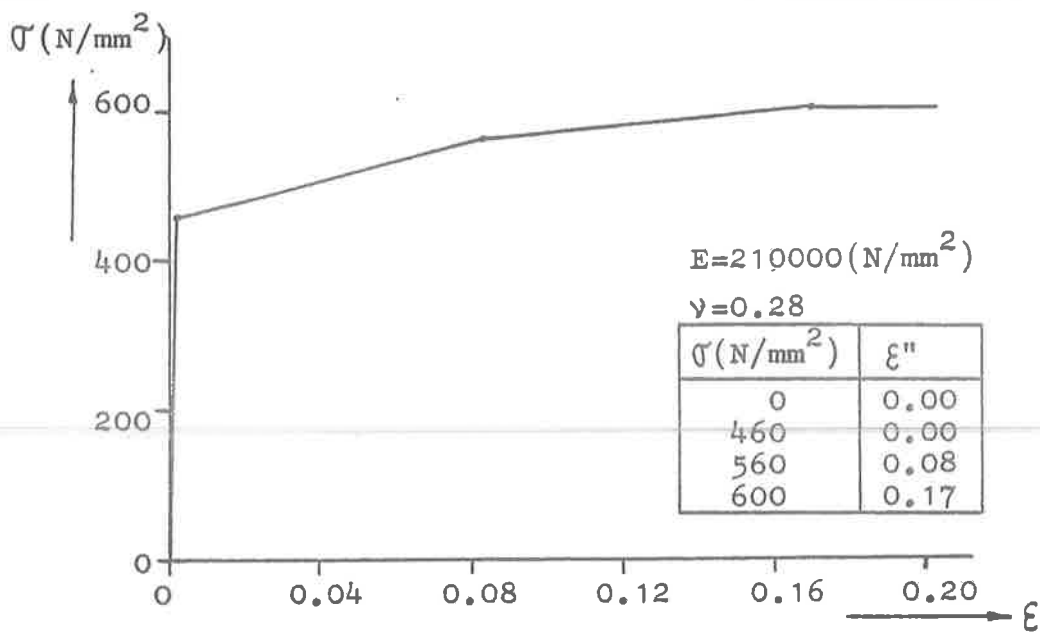


Fig. 7 De spanning-rek relatie van Fe47.

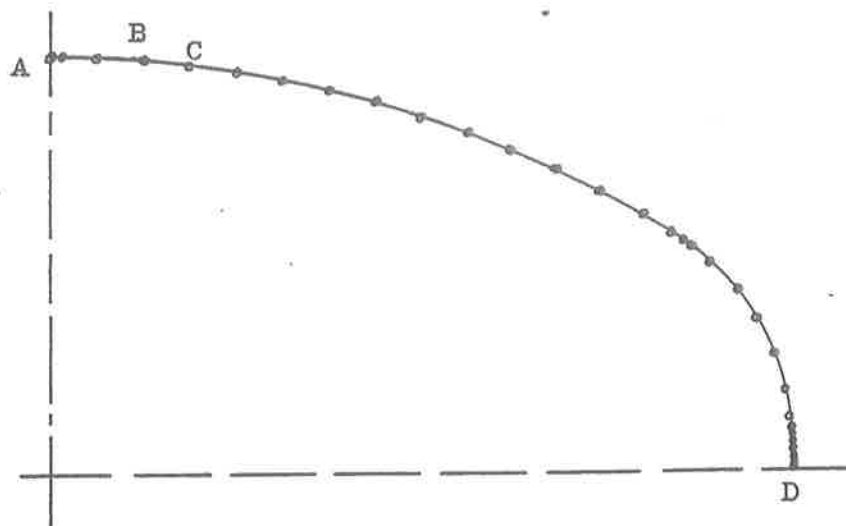


Fig. 8 BOSOR5 mesh voor het boltorusfront.

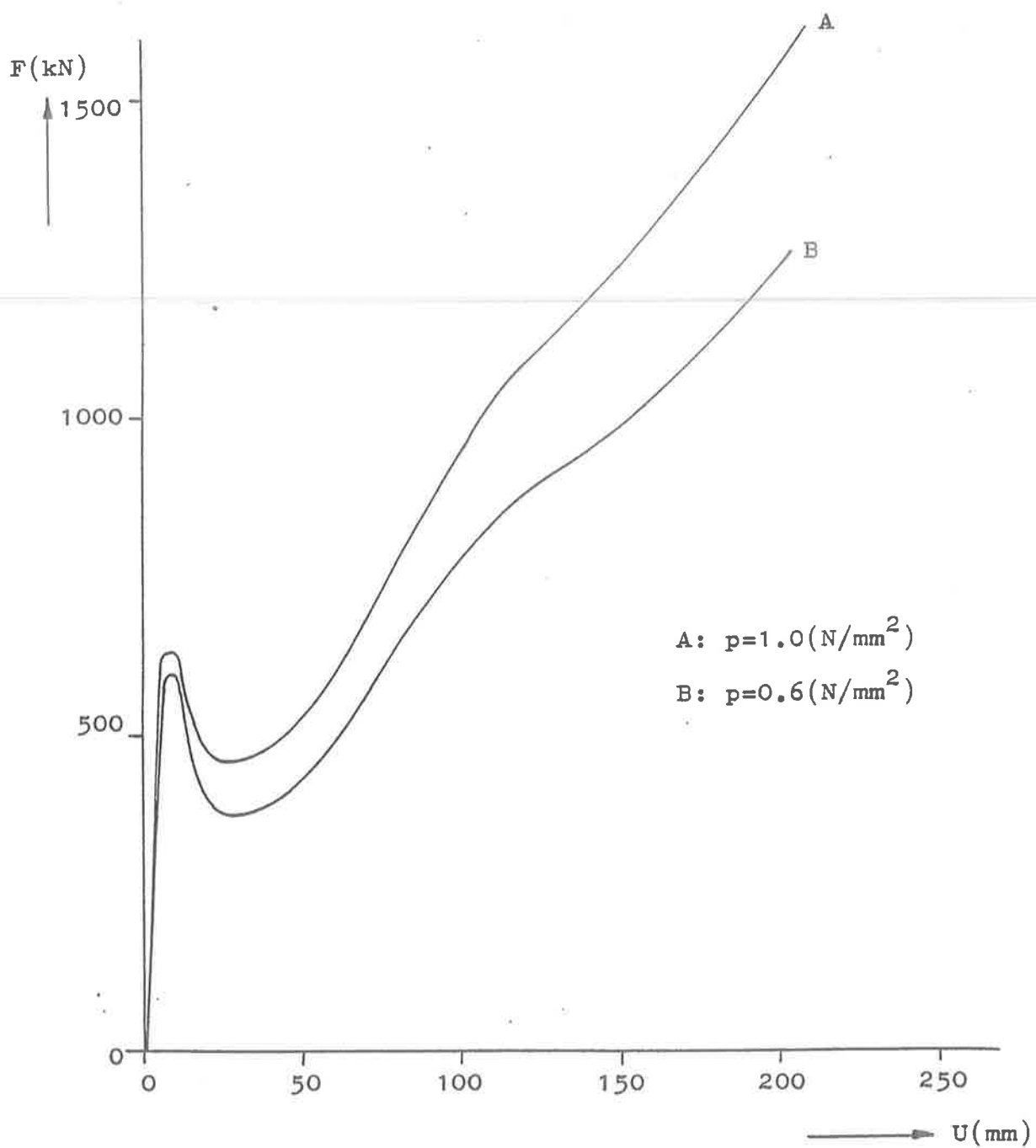


Fig. 9 Kracht-weg diagrammen voor het boltorusfront voor een indringlichaam met een diameter van 323 mm.

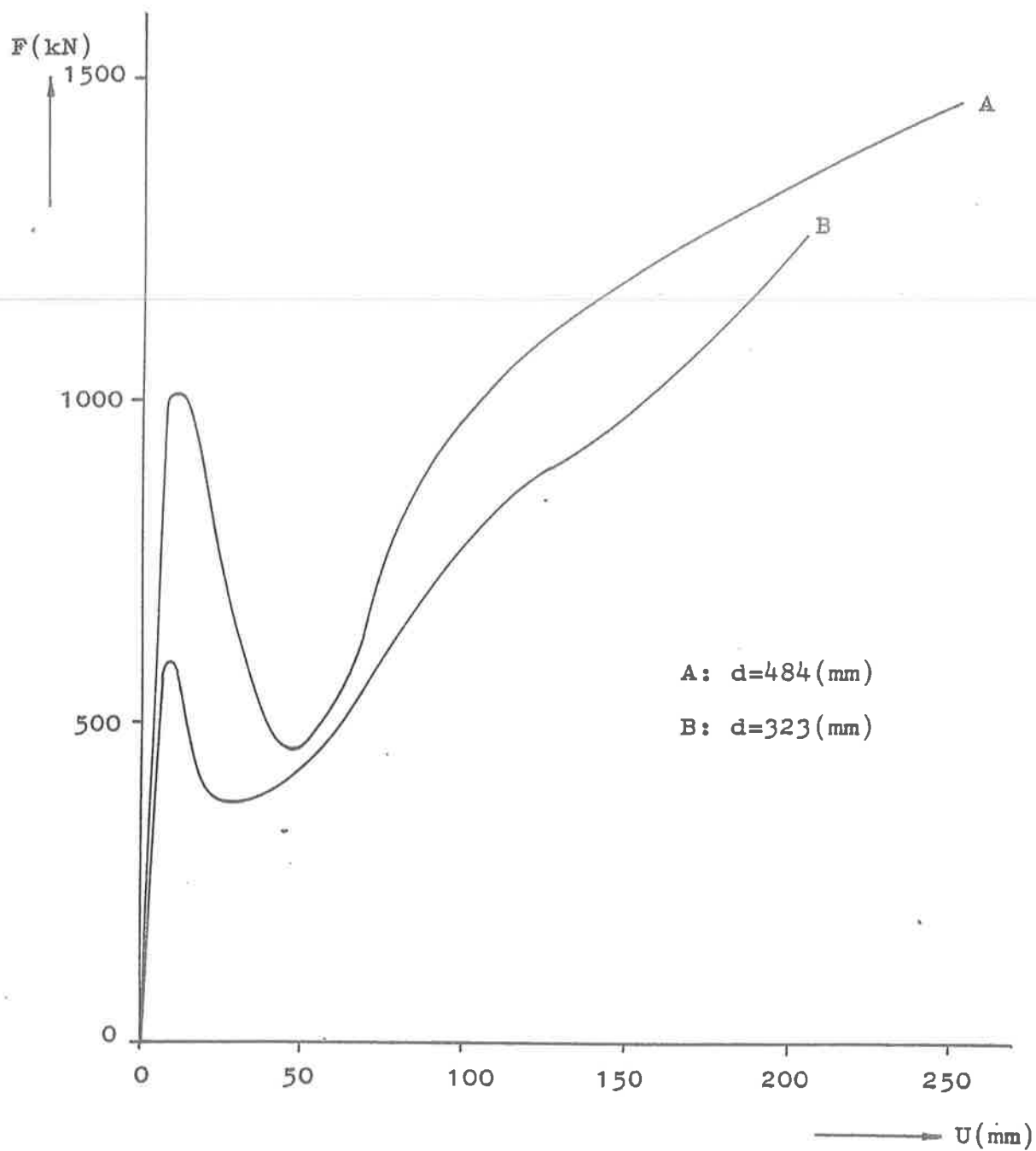


Fig. 10 Kracht-weg diagrammen voor het boltorusfront bij een inwendige overdruk van 0.6 N/mm^2 .

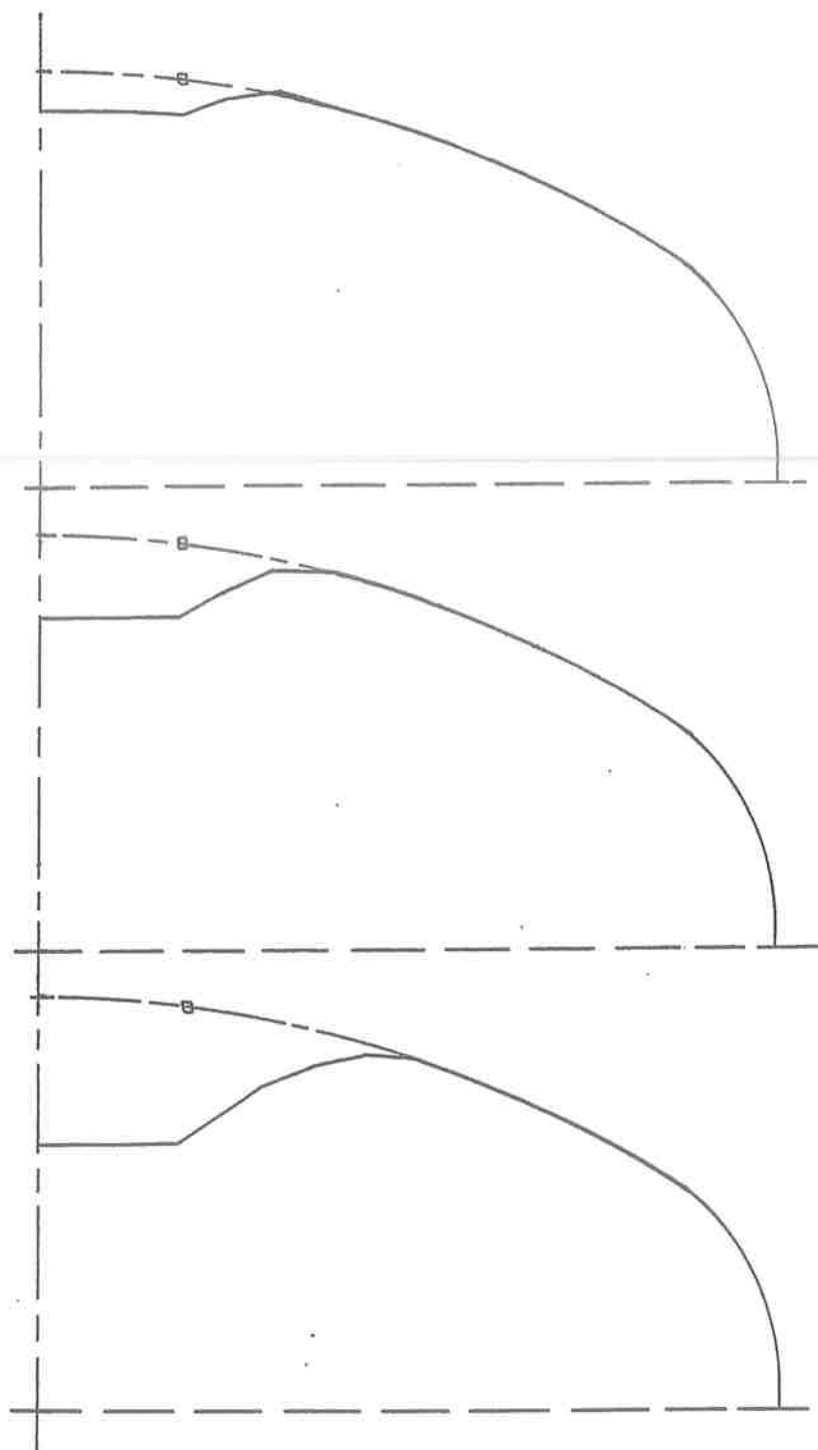


Fig. 11 De vervormde geometrie bij een indringdiepte van respectievelijk 50, 150 en 250 mm.

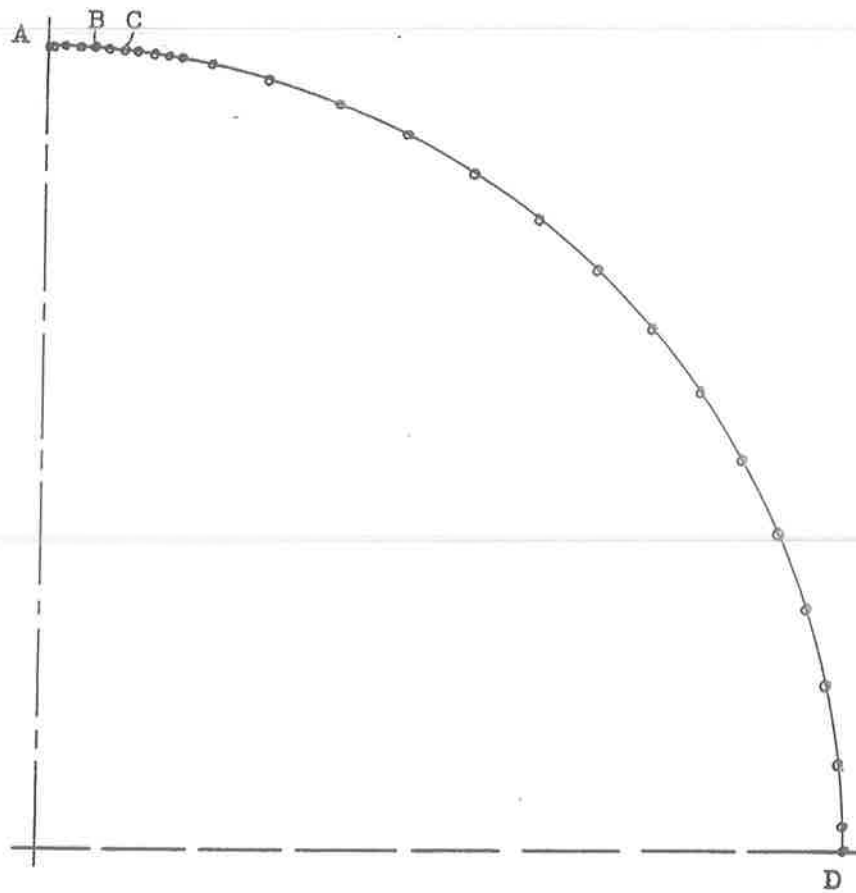


Fig. 12 BOSOR5 mesh voor de equivalente bolkap.

$\frac{D}{d}$	d(mm) voor D=3980(mm)	d(mm) voor D=4960(mm)	Figuur
17.0	234	292	14B
12.3	323	403	10B
10.2	390	486	14A
8.2	484	603	10A

Fig. 13 Combinaties waarvoor de kracht-weg diagrammen zijn bepaald.

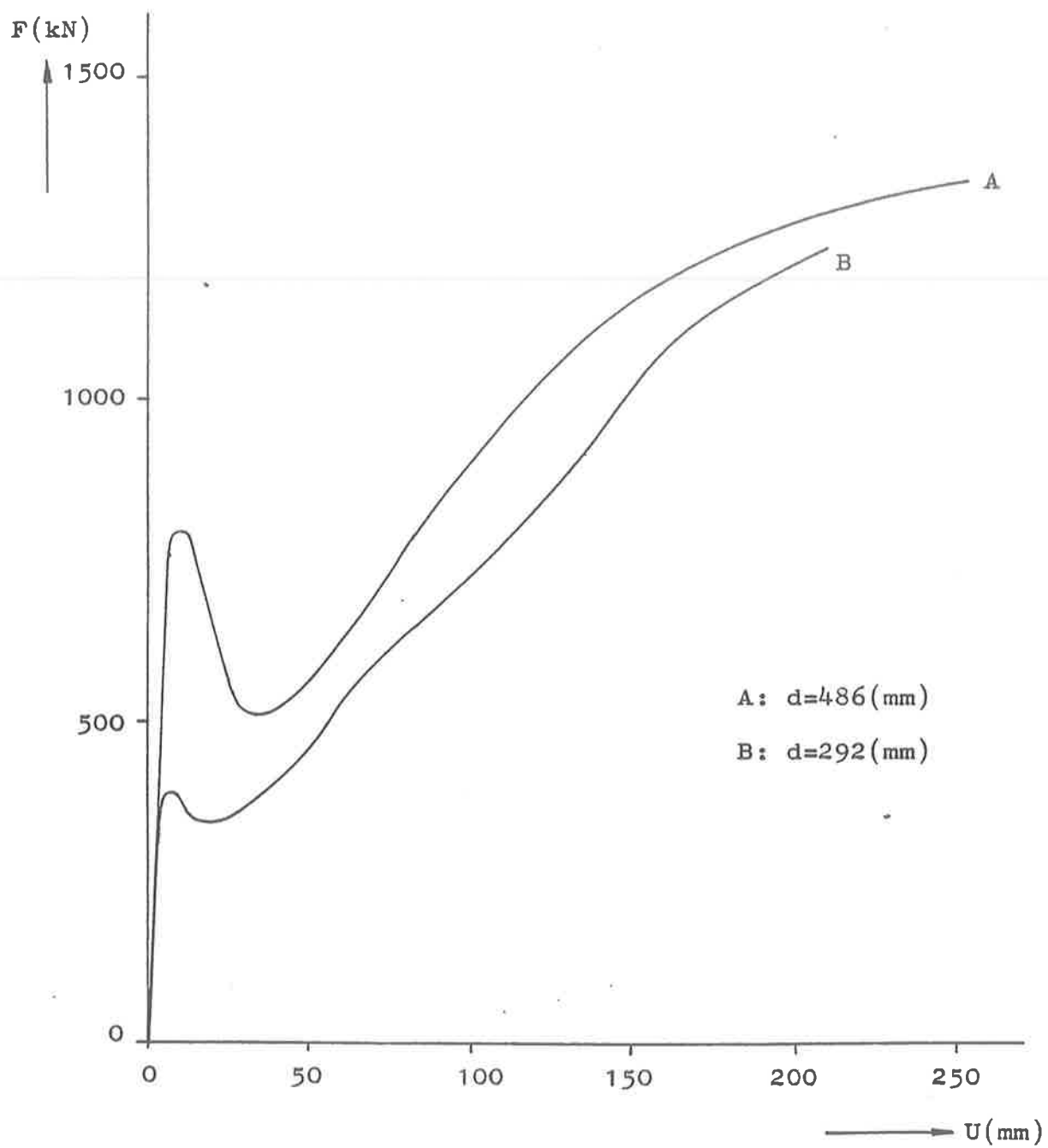


Fig. 14 Kracht-weg diagrammen voor het cilindrische gedeelte van de tank bij een inwendige overdruk van 0.6 N/mm^2 .

BIJLAGE 3

FOUTENBOOM, BEREKENING BLEVE-FREQUENTIE

BIJLAGE 3:

Foutenboom ten behoeve van berekening BLEVE-frequentie

In de LPG-Integraal Studie is een foutenboom opgesteld voor gebeurtenissen die een BLEVE van een LPG-tank kunnen veroorzaken.

Deze foutenboom is in figuur 1 gegeven.

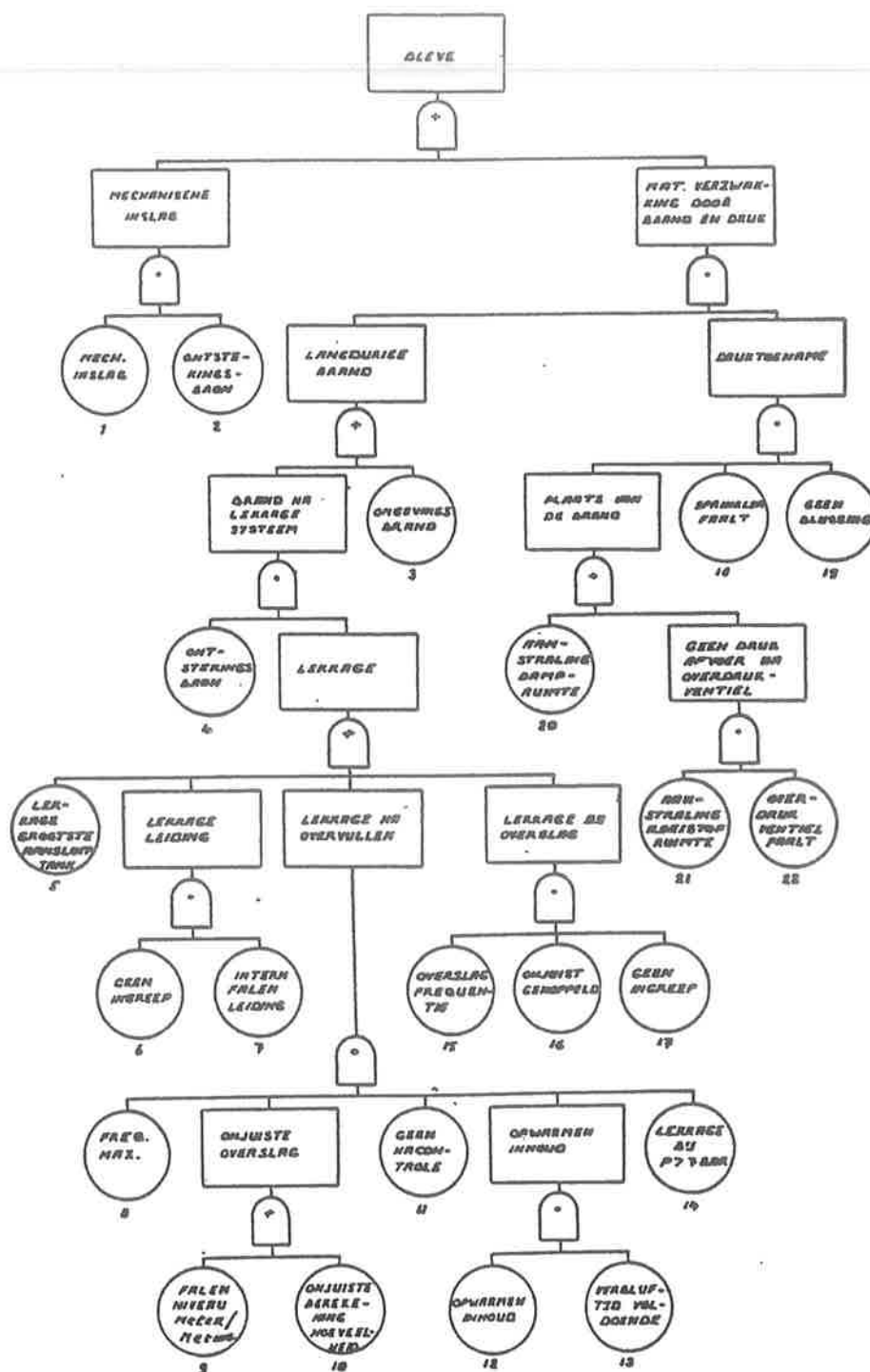


Fig. 1.

Gebruikte kansen/frequenties (zie LPG-I, 1113):

nr.:	p =	toelichting
1		Zie hoofdstuk 4.
2	1/a	De kans op onteking gegeven een mechanische inslag is 1 genomen.
3		Zie hoofdstuk 5.
4	0,2/a	Kans op ontsteking gegeven lekkage.
5 t/m 17		Zie hoofdstuk 3.
18	1/a	Sprinkler is niet aanwezig. Faalkans: 1.
19	1/a	Blussing is niet mogelijk.
20	0,5/a	Aanstraling damruimte.
21	0,5/a	Aanstraling vloeistofruimte.
22	0,05/a	Overdrukventiel faalt.

De kansen 18 t/m 22 resulteren in de kans op druktoename: 0,5/a.

BIJLAGE 4

TESTFREQUENTIE AFSLUITER TANKAUTO;
AUTOMATISCH AFSLUITSYSTEEM LPG-INSTALLATIE
IN GEVAL VAN BRAND

BIJLAGE 4:

Testfrequentie afsluiter tankauto; automatisch afsluitsysteem LPG-installatie in geval van brand.

Testfrequentie

De verhoging van de testfrequentie van de pneumatische afsluiter in de tankauto van eens in de 3 jaar naar eens in de 6 maanden werkt rechtstreeks door in de faalkans:

$$\begin{aligned}F &= \frac{1}{2} \lambda \cdot T \\ \lambda &= 1.10^{-6} \\ T &= 6 \text{ mnd.} \\ F &= 2,1.10^{-3}/a.\end{aligned}$$

Deze kans wordt in foutenbomen 11 t/m 16 (bijlage 1) ingevoerd.

Voor de faalkans van de systeemreactie: afsluiten tankauto betekent dit het volgende:

- breukleiding 2 (TA), falen afsluiten tankauto: $0,42.10^{-3}/a$.
(zie foutenboom 11, bijlage 1).
- lekkage leiding 2 (TA), falen afsluiten tankauto: $0,21.10^{-2}/a$.
(zie foutenboom 12, bijlage 1).
- breuk leiding 3, falen afsluiten tankauto: $0,11.10^{-2}/a$.
(zie foutenboom 13, bijlage 1).
- lekkage leiding 3, falen afsluiten tankauto: $0,15.10^{-3}/a$.
(zie foutenboom 14, bijlage 1).
- breuk leiding 7 (TA)/4C, falen afsluiten tankauto: $0,13.10^{-3}/a$.
(zie foutenboom 15, bijlage 1).
- lekkage leiding 7 (TA)/4C, falen afsluiten tankauto: $0,21.10^{-3}/a$.
(zie foutenboom 16, bijlage 1).

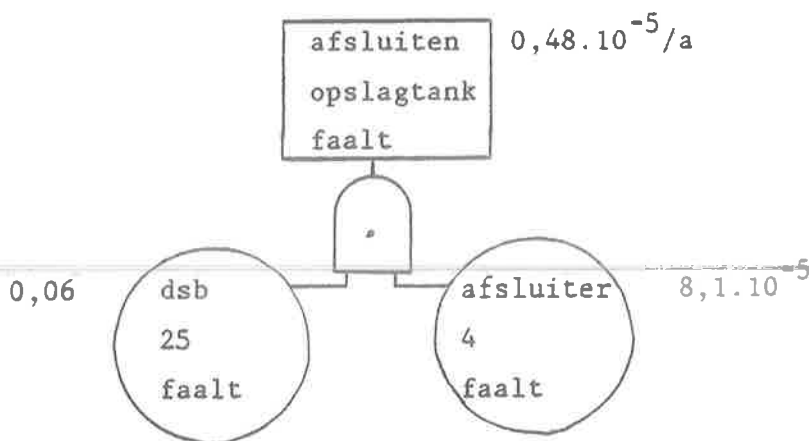
Deze kansen worden verwerkt in de tabellen 7 t/m 12 in bijlage 1.

Automatisch afsluitsysteem LPG-installatie bij brand.

Deze voorziening beïnvloedt de faalkans van het afsluiten van de opslagtank in geval van brand. Foutenbomen 2 en 4 uit bijlage 1 worden aangepast.

De faalkans voor afsluiter 4, wordt nu bepaald door het falen van de klep zelf: $8,1 \cdot 10^{-5}/a$.

Foutenboom 2 (leidingbreuk) ziet er vereenvoudigd als volgt uit:



In geval van lekkage (foutenboom 4, bijlage 1) wordt de faalkans voor het afsluiten van de opslagtank: $8,1 \cdot 10^{-5}/a$.

De faalkans van afsluiter 4 wordt door deze voorziening met een faktor 2500 verlaagd.

BIJLAGE 5

FREQUENTIE VAN KANTELEN TEN GEVOLGE VAN EEN
VERKEERDE MANOUVRE VAN DE TANKAUTO

BIJLAGE 5:

Schatting van de frequentie waarmee een BLEVE zal optreden doordat een LPG-tankauto kantelt bij het oprijden/wegrijden van een autotankstation.

- $n = 2088$ - het aantal letsel ongevallen met vrachtwagens 1977 (CBS)
 (zowel eenzijdige ongevallen als aanrijdingen).
 $s = 208$ - het aantal letsel ongevallen met stilstaande vrachtwagens,
 1977 (CBS).
 $f_1 = 45.500$ - het totaal aantal letselongevallen in 1982 (CBS).
 $f_2 = 165$ - het aantal letselongevallen op autotankstations, 1982
 (CBS).
 $a = 8000$ - aantal autotankstations 1976 (CBS).
 $f_t = 2.10^{-3}$ - fraktie van het aantal vrachtvoertuigen dat LPG tankauto is.
 (zie LPG-I, 1113).
 $p_k = 0,2$ - kans dat een LPG-tankauto kantelt gegeven een ongeval
 (FACTS).
 $p_u = 0,01$ - kans dat een lekkage ontstaat na het kantelen van een LPG-
 tankauto. Lekkage treedt op bij kantelen op een paaltje.
 De kans hierop wordt een faktor 10 lager veronderstelt
 langs de rijweg ten opzichte van bij een opstelplaats.

De frequentie kan als volgt bepaald worden:

$$F = \frac{(n - s) \cdot \frac{f_2}{f_1} \cdot f_t \cdot p_k \cdot p_u}{a} = 3.10^{-9}/\text{jr.}$$

Op het uiteindelijke resultaat (Reduktie faktor 100) heeft deze frequentie geen invloed.

BIJLAGE 6

BENODIGDE WARMTESTRALING OM EEN BLEVE VAN EEN
TANKAUTO TE VEROORZAKEN

BIJLAGE 6:

Benodigde warmtestraling om een BLEVE van een tankauto te veroorzaken.

BLEVE door aanstraling van de vloeistofruimte.

Wanneer de vloeistofruimte van de tankauto wordt aangestraald zal de inhoud opwarmen waardoor de druk toeneemt. Indien de insteldruk wordt overschreden zal de veiligheid gaan afblazen. De hoeveelheid warmte die ~~door het afblazen van de veiligheid afgevoerd kan worden,~~ wordt als volgt

bepaald:

- capaciteit afblaasveiligheid: 6,75 m³ LPG/s;
- soortelijke massa LPG-damp: 1,84 kg/m³;
- verdampingswarmte (288 k): 0,348.10⁻⁶ J/kg;
- afgevoerde warmte W: 0,43.10⁻⁷ J/s.

Als maximaal mogelijk aangestraald oppervlak van de tankauto wordt de helft van het oppervlak genomen.

- lengte: 13 m;
- omtrek: ±8 m;
- maximaal aangestraald oppervlak O: 52 m².

Voor de maximaal toegestane stralingssterkte ter plaatse van de tankauto geldt (vereenvoudigd):

$$S = \frac{W}{O} = 8,3 \text{ kW/m}^2 \quad (\cong 2 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}).$$

Voor de stralingssterke van branden in gebouwen is de volgende formule bepaald (lit. 1):

$$I = \frac{P}{100} \cdot \phi \cdot 3,6 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}.$$

met I: stralingsterkte;

$\frac{P}{100}$: fraktie van het oppervlak dat gevelopening is;

ϕ : viewfaktor afhankelijk van de breedte en hoogte van het gebouw en de afstand tot het aangestraald objekt.

Wanneer $\frac{P}{100}$ maximaal (=1) veronderstelt wordt, wordt bij $\phi = 0,4$ de toegestane warmteinstraling ($8,3 \text{ kW/m}^2$) niet overschreden.

Hieruit volgen (zie lit. 1) de aan te houden afstanden tussen de tankauto op de opstelplaats en een brandend gebouw (zonder brandbescherming).

gebouw, hoogte < 5 m:	afstand = 5 m;
gebouw, 5 m < hoogte < 10 m:	afstand = 10 m;
gebouw, hoogte > 10 m:	afstand = 20 m.

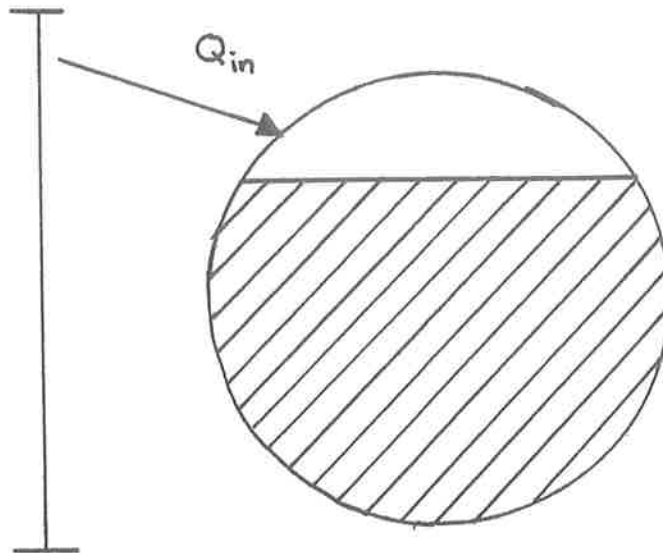
En voor een brandend gebouw niet brandbescherming (50% gevelopeningen)

gebouw, hoogte < 5 m:	afstand	=	2,5	m;
gebouw, 5 m < hoogte < 10 m:	afstand	=	5	m;
gebouw, hoogte > 10 m:	afstand	=	15	m.

BLEVE door aanstraling van de dampruimte.

Behalve door opwarming van de tankinhoud kan een BLEVE veroorzaakt worden door materiaalverzwakking ten gevolge van de verhitting van het tankwandmateriaal.

Door de slechte warmteafvoer ontstaat deze verzwakking in de dampruimte. Uit het ongeval bij Nijmegen is geconcludeerd dat het materiaal verzwakt als de temperatuur 700 K bereikt [lit. 1].



Warmtebalans: Q_{in} , warmteinput door straling,
gelijk aan Q_{uit} , de totale warmteafvoer.

Q_{uit} bestaat uit: 1. convectieve warmtestroom naar de omgeving,
 2. convectieve warmtestroom naar de damp in de tank,
 3. warmtestraling naar de omgeving,
 4. warmtestraling naar de tankinhoud.

De eerste en derde term zijn verreweg de grootsten, de anderen worden verwaarloosd.

Beschouw de warmteafvoer bij vrije convectie (1) als een situatie van een oneindig lange buis met temperatuur $T = 700 \text{ K}$, diameter $d = 2,5 \text{ m}$, in een omgeving met lucht ($T_o = 288 \text{ K}$).

Volgens de Wärmeatlas (lit. 3) geldt:

$$\dot{Q} = 2,15 \text{ kW/m}^2.$$

Voor de warmtestraling naar de omgeving geldt het volgende:

$$q_{\text{uit}} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_o^4).$$

met ε : emissiecoëfficiënt van het materiaaloppervlak = 0,5

σ : $5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

→ q_{uit} : $6,6 \text{ kW/m}^2$.

Omdat $\varepsilon < 1$ wordt een deel van de invallende straling gereflekteerd. De netto straling in het tankwandmateriaal:

$$q_{\text{in}} = \varepsilon \cdot Q_{\text{in}}.$$

De grenswaarde voor de invallende straling wordt daarmee:

$$\begin{aligned} Q_{\text{in}} &= \frac{1}{0,5} (6,6 \text{ kW/m}^2 + 2,35 \text{ kW/m}^2). \\ &= 17,5 \text{ kW/m}^2. \end{aligned}$$

Bij de hiervoor genoemde afstanden tussen de tankauto op de opstelplaats en een brandend gebouw, wordt deze waarde in ieder geval niet overschreden.

BIJLAGE 7

TECHNISCHE GEGEVENS

BIJLAGE 7: TECHNISCHE GEGEVENS

1 -1 Technische gegevens van de LPG-tankauto

1 -1.1 Technische gegevens van de tank en de bijbehorende leidingen

Bij het opstellen van de beschrijving van de LPG-tankauto is gebruik gemaakt van:

- Tekeningen van bestaande tankauto-schema's beschikbaar gesteld door de industrie-vertegenwoordigers in de begeleidingscommissie
- Technische specificaties verstrekt door appendage-leveranciers.

Tank

Afmetingen van enige gangbare tanktypen.

waterinhoud	diameter	lengte
25 m ³	2 m	8 m
40 m ³	2,3 m	10,7 m

Materiaal : FE 52 2 KP

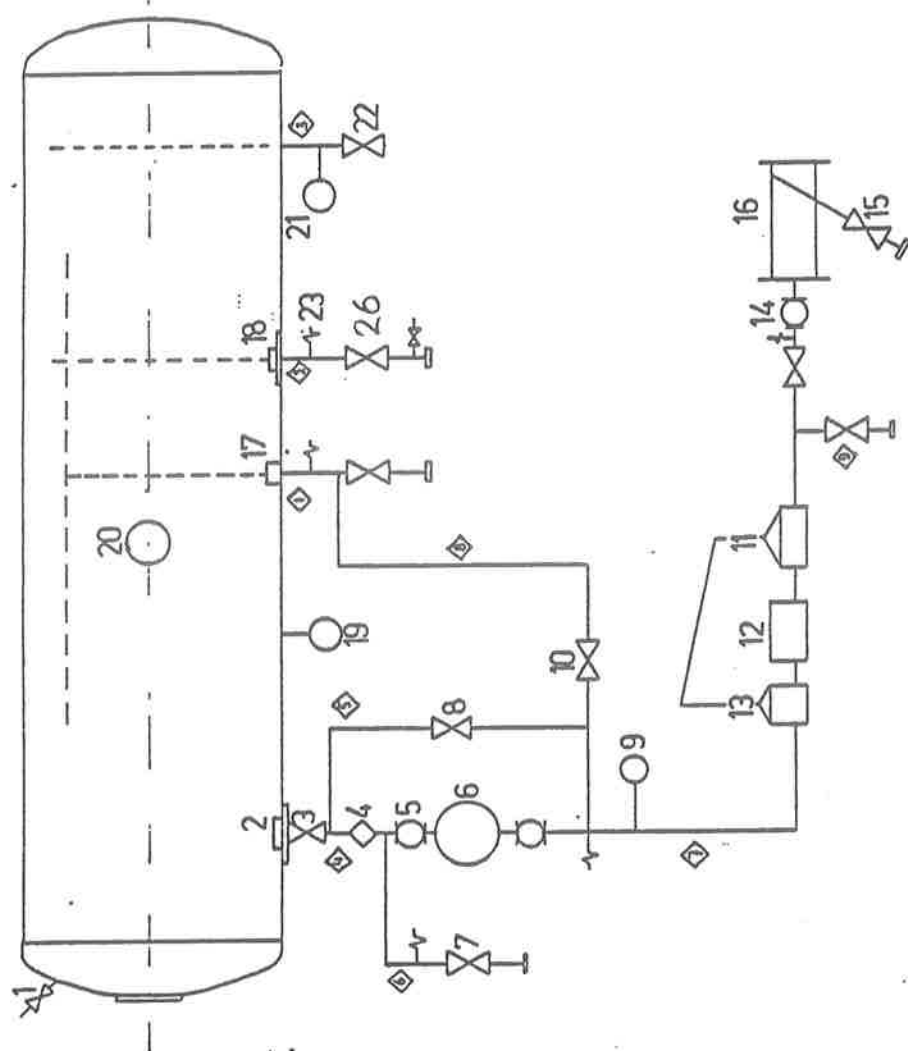
Bodemdikte : 10,9 mm

Rompdikte : 12,1 mm

Toegepaste tanks zijn afgeperst op 27 bar en hebben Stoomwezenkeur.

Leidingen

No.	omschrijving	diameter
1	vulleiding	2"
2	dampretourleiding	2"
3	85% leiding	$\frac{3}{4}$ "
4	zuigleiding	3"
5	overstortleiding	1 $\frac{1}{4}$ "
6	zuigleiding t.b.v. vullen tank op eigen kracht	3"
7	persleiding	2"
8	connectieleiding	2"
9	aflever-aansluiting	2"

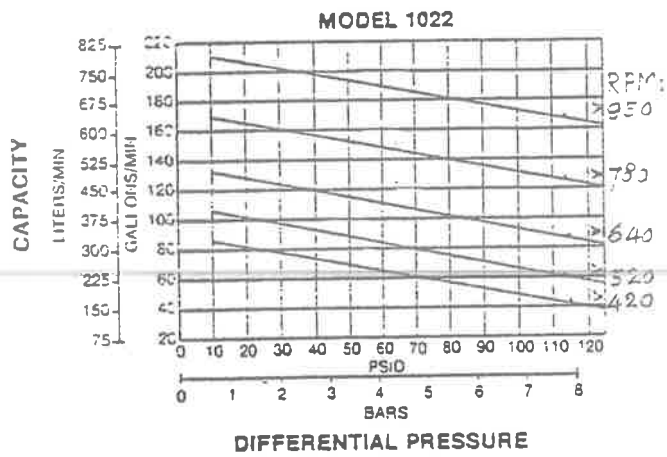


LEIDINGSCHEMA LPG TANKAUTO (20-45 m³)

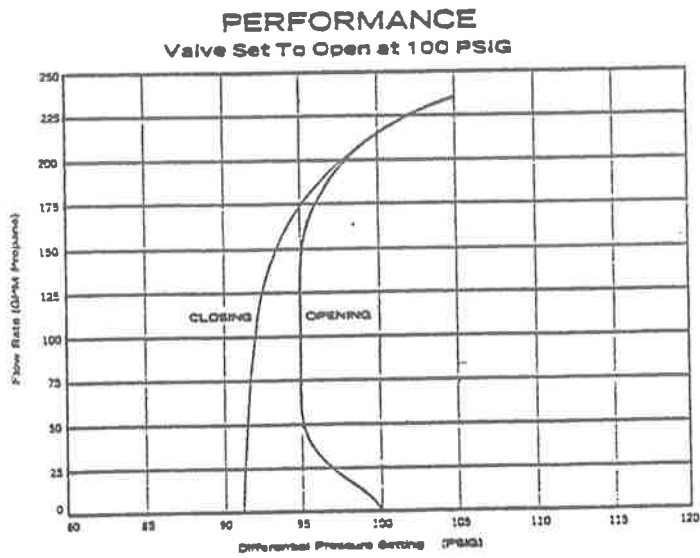
1-1.3 Lijst van appendages van de LPG-tankauto

aantal	no.	omschrijving	afmeting	opmerkingen
2	1	veerveiligheid	2"	1)
1	2	doorstroombegrenzer	3"	2)
1	3	kogelkraan	3"	3)
1	4	filter	3"	
2	5	flexibele koppeling	3"	
1	6	vloeistofpomp	3"	4)
1	7	afsluiter	3"	
1	8	overstortklep	1 1/4"	5)
1	9	manometer	1/4"	
5	10	afsluiter	2"	
1	11	differentieelklep	2"	
1	12	vloeistofmeter	2"	cap. 380 l/min 6)
1	13	ontluchter	2"	
1	14	flexibele koppeling	2"	
1	15	afsluiter	1 1/4"	
1	16	slanghaspel met slang	1 1/4" 40 m	
1	17	terugslagklep	3"	
1	18	doorstroombegrenzer	2"	7)
1	19	thermometer	1/4"	
1	20	Rotogauge		
1	21	manometer	1/4"	
1	22	afsluiter	3/4"	
4	23	veiligheid	1/4"	8)
1	24	flexibel tussenstuk	2"	

- 5) Veer veiligheid : afsteldruk 27 bar
debiet $6,75 \text{ m}^3 \text{ LPG/s}$
- 6) Doorstroombegrenzer : sluitdebiet $9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ LPG/s}$
Deze begrenzer is overigens niet in alle moderne tankauto's aanwezig.
- 7) Bodemafsluiter : max. debiet $\pm 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
- 8) Verondersteld wordt, dat de pomp hydraulisch wordt aangedreven door middel van een hydromotor en een op de truck gemonteerde hydropomp. De verbinding tussen motor en pomp bestaat uit 2 flexibele slangen.
Kenmerken van een op een tankauto gemonteerde LPG-pomp zijn in het algemeen de volgende:
 - maximale verschildruk : 8,6 bar (= toegestane maximum door Underwriters Limited)
 - maximale temperatuur : 107°C
 - minimale temperatuur : -32°C
 - maximale werkdruk : 28,6 bar
 - pompkarakteristiek : zie figuur op pag. 2-6.
- 9) Voor een karakteristiek van de overstortklep zie figuur op .
- 10) Vloeistofmeter : capaciteit $6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
- 11) Doorstroombegrenzer : sluitdebiet vloeistof : $4,8 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ LPG liq /s}$
sluitdebiet damp : 3,4 bar : 0,23 - 0,31 standaard
 $\text{m}^3 \text{ LPG/s}$
6,9 bar : 0,31 - 0,42 " " "
10,3 bar : 0,38 - 0,52 " " "
- 12) Hydrostatisch veiligheidsventiel : afsteldruk 21 bar



pompkarakteristiek



karakteristiek overstortklep

1-3.2.2 Leidingnummers van de bestaande ondergrondse LPG-opslagtank

1 dampretourleiding tussen propaantank en afleverzuil

- 1^a - leidingstuk tussen 34 en 33
- 1^b - " " 33 en 21
- 1^c - " " 21, 16 en doorlaat dampafscheider

2 afleverleiding naar afleverzuil

- 2^a - leidingstuk tussen 36 en 40
- 2^b - " " 40, pomp en overstortventiel in pomp
- 2^c - " " pomp, overstortventiel in pomp, dampafscheider en 11
- 2^d - " " 11 en 26
- 2^e - " " 26 en 12.
- 2^f - " " 12, doorlaat in dampafscheider en 37
- 2^g - " " 37 en 16
- 2^h - " " 16 en nozzle 18

3 dampretourleiding tussen vulpunt en propaantank

- 3^a - leidingstuk tussen 25 en 4
- 3^b - " " 4 en 7
- 3^c - " " 7 en 3

4 vulleiding propaantank

- 4^a - leidingstuk tussen 24 en 2
- 4^b - " " 2 en 6
- 4^c - " " 6 en 1

5 overstortleiding

- 5^a - leidingstuk tussen 39 en 40
- 5^b - " " 40 en overstortventiel pomp

6 dampleiding

- 6^a - leidingstuk tussen 38 en 41
- 6^b - " " 41 en doorlaat dampafsluiter

	omschrijving	afmeting	opmerkingen
33	afsluiter	$\frac{3}{4}$ "	
34	doorstroombegrenzer	$\frac{3}{4}$ "	zie 21
35	bedieningsknop		
36	doorstroombegrenzer	2"	sluitdebiet: $60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ LPG-vloeist.
37	terugslagklep		
38	doorstroombegrenzer	$\frac{3}{4}$ "	zie 21
39	doorstroombegrenzer	$\frac{3}{4}$ "	zie 21

1-3.2.3 Lijst van appendages van de bestaande ondergrondse
autogasafleveringsinstallatie

	omschrijving	afmeting	opmerkingen
1	afsluiter	2"	
2	afsluiter	1½"	
3	afsluiter	1¼"	
4	afsluiter	¾"	
5	afsluiter	½"	
6	terugslagklep	2"	
7	doorstroombegrenzer	¾"	zie 21
8	afsluiter	2"	
9	bodemklep	2"	terugslagklep, dient zuigleiding vol vloeistof te houden
10	propaanpomp	2"/1½"	1 kW elektromotor, $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ bij 5 bar persdruk
11	terugslagklep	2"	
12	doorstroombegrenzer	1¼"	sluitdebiet: $24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (LPG-vloeistof)
13	afsluiter	1¼"	
14	dampafscheider	2 1	
15	afblaasveiligheid	¼"	25 bar
16	differentiaalklep		
17	propaanslang	5 m, ¾"	
18	nozzle		
19	doorlaat	2 mm ²	2 l/min
20	afsluiter	¾"	
21	doorstroombegrenzer	¾"	sluitdebiet: -12 °C: 0,08 Nm ³ /s ; 12 °C: 0,12 Nm ³ /s ; 26 °C: 0,15 Nm ³ /s LPG-damp
22	vulklep	¾"	
23	veiligheid	1¼"	13,8 bar; debiet 2,4 m ³ /s LPG-damp
24	terugslagklep	2"	
25	doorstroombegrenzer	¾"	zie 21
26	afsluiter	2"	
27	overstort	¾"	
28	niveaumeter		
29	manometer		
30	afblaasveiligheid	¾"	17 bar; 0,29 Nm ³ /s LPG-damp
31	afsluiter	¼"	
32	afblaasveiligheid	½"	17 bar; 0,18 Nm ³ /s LPG-damp

LEIDINGGEGEVENS ONDERGRONDSE TANK

Leiding nr.	Max. lengte (m)	Diam. $\times 10^{-3}$ (m)	Inhoud $\times 10^{-3}$ (m ³)	Gewicht inhoud	Opmerkingen
1a	0,5	19,1	0,14	2×10^{-3}	Gewichtsinhoud totaal 0,25 kg
1b	75	19,1	21,4	240×10^{-3}	
1c	2	19,1	0,57	6×10^{-3}	
2a	0,5	31,8	0,4	0,2	Gewichtsinhoud totaal 31,3 kg
2b	0,2	31,8	0,16	0,08	
2c	0,2	31,8	0,16	0,08	
2d	0,5	31,8	0,4	0,2	
2e	70	31,8	55,4	28,3	
2f	0,5	19,1	0,25	0,13	
2g				1	
2h	5	19,1	2,53	1,3	(inhoud afleverzuil 1 kg)
3a	0,5	19,1	0,14	2×10^{-3}	Gewichtsinhoud totaal 0,25 kg
3b	75	19,1	21,4	240×10^{-3}	
3c	0,2	19,1	0,057	6×10^{-4}	
4a	0,5	50,8	1	—	(alleen gas)
4b	75	50,8	152	77,5	totaal gewicht 77,7 kg
4c	0,2	50,8	0,2	0,1	
4d	0,2	50,8	0,2	0,1	
5a	0,5	31,75	0,4	0,2	Gewichtsinhoud leiding + pomp - inhoud 1 + 1 = 2 kg
5b	2	31,75	1,6	0,8	
6a	0,5	19,1	0,14	2×10^{-3}	Totaal gewicht = 9×10^{-3} kg
6b	2	19,1	0,57	7×10^{-3}	

Opmerking: Berekeningen effecten geheel gerelateerd aan die voor
bovengrondse opslag, ook wat betreft de opmerkingen.

BIJLAGE 8

EFFECTTABELLEN

OMSCHRIJVING	IFREK BE-	ONTWIK-	UITSTEL-TING						KANS OF		NUMMER
	IGIN GE-	KELINGS	VLEISTEF			GAS/DAMP			ONTWIKKE-		F.A.F.Y
	IREURTENISI	NUMMER	(KG)	(KG/S)	(T(S))	(KG)	(KG/S)	(T(S))	LINE	KROMEN	
IBLEVE TANKAUTO	67E-06	1	18900						1 000	10	
IBLEVE TANKAUTO	50E-06	1	18900						1 000	11	
IBLEVE TANKAUTO	36E-06	1	18900						1 000	12	
IBLEVE TANKAUTO	29E-06	1	18900						1 000	13	
IBLEVE TANKAUTO	25E-06	1	18900						1 000	14	
IBLEVE TANKAUTO	22E-06	1	18900						1 000	15	
IBLEVE TANKAUTO	20E-06	1	18900						1 000	16	
ILEKKAGE L4 (TANK/POMP)	90E-07	1			1 019999				1 000	20	
IBREUK L4	90E-08	1	(100						850	21	
IBREUK L4	90E-08	2			15 01 1201				075	22	
IBREUK L4	90E-08	3			15 019999				075	23	
IBREUK L7/4C	10E-03	1			3 01 1201				850	30	
IBREUK L7/4C	10E-03	2			3 01 1201				140	31	
IBREUK L7/4C	10E-03	3			3 01 1201				009	32	
IBREUK L7/4C	10E-03	4			3 01 1201				000	33	
IBREUK L7/4C	10E-03	5			1 519999				000	34	
IBREUK L7/4C	10E-03	6			3 019999				000	35	
ILEKKAGE L7/4C	10E-02	1			1 019999				1 000	36	
ILEKKAGE L4 (TANK/VULPUNT)	90E-05	1			1 019999				1 000	40	
IBREUK L4	90E-06	1			3 01 1201				500	41	
IBREUK L4	90E-06	2			3 01 1201				050	42	
IBREUK L4	90E-06	3			3 01 1201				040	43	
IBREUK L4	90E-06	4			1 519999				200	44	
IBREUK L4	90E-06	5			3 019999				200	45	

Tabel 1

OMSCHRIJVING	ONTWIK- KELINGS- NUMMER	FRIJHEM- TIE VAN ONTWIK	PLASBRAND			WARMTESTPALING			FAKKEL / BLEVE		
			WARMTESTRALING			WARMTESTPALING			SCHOKGOLF		
			STRAAL	AFSTAND	1 GRAADS	AFSTAND	1 GRAADS	AFSTAND	AFSTAND	AFSTAND	AFSTAND
			VAN DE PLAS (M)	1% DOOD (M)	OVERBRAND (M)	FAKKEL (M)	1% DOOD (M)	OVERBRAND (M)	SCHADE (M)	10% ZWARE (M)	190% UIT- (M)
1BLEVE TANKAUTO	1	67E-06				80	170	260	130	300	
1BLEVE TANKAUTO	1	50E-06				80	170	260	130	300	
1BLEVE TANKAUTO	1	36E-06				80	170	260	130	300	
1BLEVE TANKAUTO	1	29E-06				80	170	260	130	300	
1BLEVE TANKAUTO	1	25E-06				80	170	260	130	300	
1BLEVE TANKAUTO	1	22E-06				80	170	260	130	300	
1BLEVE TANKAUTO	1	20E-06				80	170	260	130	300	
1LEKKAGE L4 (TANK/POMP)	1	18E-07				10	10	20	0	0	0
1BREUK L4	1	15E-08				10	20	20	20	40	
1BREUK L4	2	34E-09				50	40	70	0	0	
1BREUK L4	3	34E-09				50	40	70	0	0	
1BREUK L7/4C	1	17E-04				30	20	40	0	0	
1BREUK L7/4C	2	28E-05				30	20	40	0	0	
1BREUK L7/4C	3	18E-06				30	20	40	0	0	
1BREUK L7/4C	4	86E-12				30	20	40	0	0	
1BREUK L7/4C	5	20E-08				20	20	30	0	0	
1BREUK L7/4C	6	52E-09				30	20	40	0	0	
1LEKKAGE L7/4C	1	20E-03				10	10	20	0	0	
1LEKKAGE L4(TANK/VULPUNT)	1	18E-05				10	10	20	0	0	
1BREUK L4	1	90E-07				30	20	40	0	0	
1BREUK L4	2	90E-08				30	20	40	0	0	
1BREUK L4	3	72E-08				30	20	40	0	0	
1BREUK L4	4	36E-07				20	20	30	0	0	
1BREUK L4	5	36E-07				30	20	40	0	0	

Tabel 2

OMSCHRIJVING	ONTWIK- KELINGS- NUMMER	FREQWEN- TIE VAN ONTWIK	DISPERSIE				VERBRANDING				GASVOLK				
			MET. IKANS OP		HOEVEEL- HEID IN		AFSTAND		MAX. LENGTE		EXPLOSIE (SCHOKGOLF)		EFFECT		
			CONDIMETED.		EXPLOSIE		CONTOUR		BEDREIGD		EFFECT CIRKELS		EFFECT AFSTANDEN		
			COND.	EXPLOSIE	HOEVEEL- HEID	IN WINDR.	CEBIE	SCHADE	BREUK	SCHADE	BREUK	SCHADE	BREUK	SCHADE	BREUK
				(KG)	(M)	(M)	(M ²)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)
LEKKAGE L4(TANK/VULPUNT)	1	45E-06	N	1.78E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0	0
BREUK L4	1	23E-07	N	1.78E+00	((100	0	20	(5000	0	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	50	9500	0	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	50	7000	0	0	0	0	0	0	0
BREUK L4	2	23E-08	N	1.78E+00	((100	0	30	(5000	0	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	60	12200	0	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	50	9000	0	0	0	0	0	0	0
BREUK L4	3	10E-08	N	1.78E+00	((100	0	30	(5000	0	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	60	12200	0	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	50	9000	0	0	0	0	0	0	0
BREUK L4	4	90E-08	N	1.78E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	40	(5000	0	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	30	(5000	0	0	0	0	0	0	0
BREUK L4	5	90E-08	N	1.78E+00	((100	0	20	(5000	0	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	50	9500	0	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	50	7000	0	0	0	0	0	0	0

Vervolg tabel 3

OMSCHRIJVING	ONTWIK- KELINGS- NUMMER	FREKVEN- TIE VAN ONTWIK	PLASHRAND			FAKKEL / BLEVE			SCHOKGOLF	
			WARMTESTRALING			WARMTESTRALING			SCHOKGOLF	
			STRAAL	AFSTAND	AFSTAND	R VUURPIL	AFSTAND	AFSTAND	AFSTAND	AFSTAND
			VAN DE PLAS (M)	12 DOOP (M)	1 GRAADS OVERBRAND (M)	o LENGTE (M)	AFSTAND (M)	11 GRAADS OVERBRAND (M)	10% ZWAPE SCHADE (M)	10% RUIT- BREK (M)
ILEKKAGE L1 (POMP/ZUIL)	1	18E-03				10	10	20	0	0
IEFEUK L1	1	15E-04				10	0	0	0	0
IEFEUK L1	2	16E-05				10	10	20	0	0
IEFEUK L1	3	11E-05				10	10	20	0	0
ILEKKAGE L2 (TANK/ZUIL)	1	18E-03				10	10	20	0	0
IEFEUK L2	1	10E-04				20	0	0	0	0
IEFEUK L2	2	72E-05				10	10	20	0	0
IEFEUK L2	3	10E-05				10	10	20	0	0
ILEKKAGE L3 (TANK/VULPUNT)	1	18E-03				10	10	20	0	0
IEFEUK L3	1	15E-04				10	0	0	0	0
IEFEUK L3	2	16E-05				10	10	20	0	0
IEFEUK L3	3	11E-05				10	10	20	0	0
ILEKKAGE L4 (TANK/VULPUNT)	1	18E-03				10	10	20	0	0
IEFEUK L4	1	18E-04				10	20	20	20	40
ILEKKAGE L5 (TANK/POMP)	1	20E-04				10	0	0	0	0
IEFEUK L5	1	10E-05				10	20	20	20	40
IEFEUK L5	2	50E-06				30	30	50	0	0
IEFEUK L5	3	50E-06				30	30	50	0	0
UIT GEBRUIK NEMEN	1	20E-05				10	10	20	0	0

Tabel 5

OMSCHRIJVING	IFPEK BE-	ONTWIK-	UITSTROMING						KANS OP		NUMMER
	IGIN GE-	KELINGS	VLOEISTOF			GAS/DAMP			ONTWIKKE-		
	BEURTENISI	NUMMER	I (KG)	IC (KG/S)	IT(S)	I (KG)	C (KG/S)	IT(S)	LING	FROMMEN	
ILEKKAGE L1(POMP/ZUIL)	.90E-03	1					< 1.019999	1.000		50	
IBREUK L1	.90E-04	1					< 1.01	11	050	51	
IBREUK L1	.90E-04	2					< 1.01	601	090	52	
IBREUK L1	.90E-04	3					< 1.01	1201	060	53	
ILEKKAGE L2(TANK/ZUIL)	.90E-03	1		< 1.019999				1.000		54	
IBREUK L2	.90E-04	1		1.01	11			1.000		55	
IBREUK L2	.90E-04	2		< 1.01	601			400		56	
IBREUK L2	.90E-04	3		< 1.019999				100		57	
ILEKKAGE L3 (TANK/VULPUNT)	.90E-03	1					< 1.019999	1.000		58	
IBREUK L3	.90E-04	1					< 1.01	11	050	59	
IBREUK L3	.90E-04	2					< 1.01	601	090	60	
IBREUK L3	.90E-04	3					< 1.01	9991	060	61	
ILEKKAGE L4 (TANK/VULPUNT)	.90E-03	1		< 1.019999				1.000		62	
IBREUK L4	.90E-04	1	< 100					1.000		63	
ILEKKAGE L5 (TANK/POMP)	.10E-03	1		< 1.01	11			1.000		64	
IBREUK L5	.10E-04	1	< 100					500		65	
IBREUK L5	.10E-04	2		6.31	601			250		66	
IBREUK L5	.10E-04	3		6.319999				250		67	
UIT GEBRUIK NEMEN	.10E-04	1					< 1.019999	1.000		68	

Tabel 4

OMSCHRIJFING	ONTWIK- KELINGS- NUMMER	FREYVEN- TIE VAN ONTWIK	DISPERSIE				AFSTAND				GASVOL				EXPLOSIE (SCHOKGOLF)									
			COND	EXPLOSIE (KG)	HOOGTE (M)	MAX LENGTE (M)	MAX LENGTE (M)	OP (M ²)	EFFECT (M)	EFFECT (M)	EFFECT (M)	EFFECT (M)	EFFECT (M)	EFFECT (M)	EFFECT (M)	EFFECT (M)								
																	VERBRANDING				EXPLOSIE (SCHOKGOLF)			
LEKKAGE L1 (POMP/ZUIG)	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L1	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L1	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L1	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L2 (TANK/ZUIG)	1	45E-04	N	1.78E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L2	1	45E-05	N	1.78E+00	<< 100	0	0	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	0	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	0	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L2	2	18E-05	N	1.78E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L2	3	45E-06	N	1.78E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L3 (TANK/VULPUNT)	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L3	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L3	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L3	0	N.V.T.																						
LEKKAGE L4 (TANK/VULPUNT)	1	45E-04	N	1.78E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L4	1	45E-05	N	1.78E+00	<< 100	0	20	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	30	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L5 (TANK/POMP)	1	50E-05	N	1.78E+00	<< 100	0	0	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	0	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	0	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L5	1	25E-06	N	1.78E+00	<< 100	0	20	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	30	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	10	<<5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L5	2	13E-06	N	1.78E+00	<< 100	0	40	< 5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	60	11900	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	50	9100	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
LEKKAGE L5	3	13E-06	N	1.78E+00	<< 100	0	40	< 5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			ZS	1.16E+00	<< 100	0	80	20800	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
			WS	1.60E-01	<< 100	0	70	15100	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
UIT GERUUK NEMEN	0	N.V.T.																						

Tabel 6.

OMSCHRIJVING	IFPEK BE-	ONTWIK-	UITSTROMING						VAAK OF	NUMMER
	ICIN GE-	KELINES	VLOEISTOF			GAS/DAMP			ONTWIK-	F)A.F)X
	PRESTENTIS	NUMMER	I (KG)	IC (KG/S)	IT(S)	I (KG)	IC (KG/S)	IT(S)	LING	DROMMEN
ILEYKAGE L2 (POMP TAN /ZUIL)	40E-02	1		(1	019999				1 000	70
IFPEUK L2	40E-03	1	(100						800	71
IFPEUK L2	40E-03	2		(1	019999				200	72
IFPEUK L2	40E-03	3		(1	019999				010	73

Tabel 7

OMSCHRIJVING	ONTWIK- / FREQWEN-		PLAASRAND			FAKKEL / BLEVE				
	NOMMER	ONTWIK	WAAKTESTPALING		AFSTAND	VAAKTESTPALING		AFSTAND	SCHOKGOLF	
			STRAAL	AFSTAND		P. VUURBAL	AFSTAND		10% ZWARE	10% RUIT-
			VAN DE	AFSTAND	1 GRAADS	LENGTE	AFSTAND	1 GRAADS	SCHADE	BRUK
			PLAS	1% DOOD	OVERBRAND	FAKKEL	1% DOOD	OVERBRAND	(M)	(M)
			(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)		
II ERKAGE L2 (POMP TANK/ZUIL)	1	50E-03				10	10	20	0	0
IBREUK L2	1	44E-04				10	20	20	20	40
IBREUK L2	2	15E-04				10	10	20	0	0
IBREUK L2	3	60E-06				10	10	20	0	0

Tabel 8

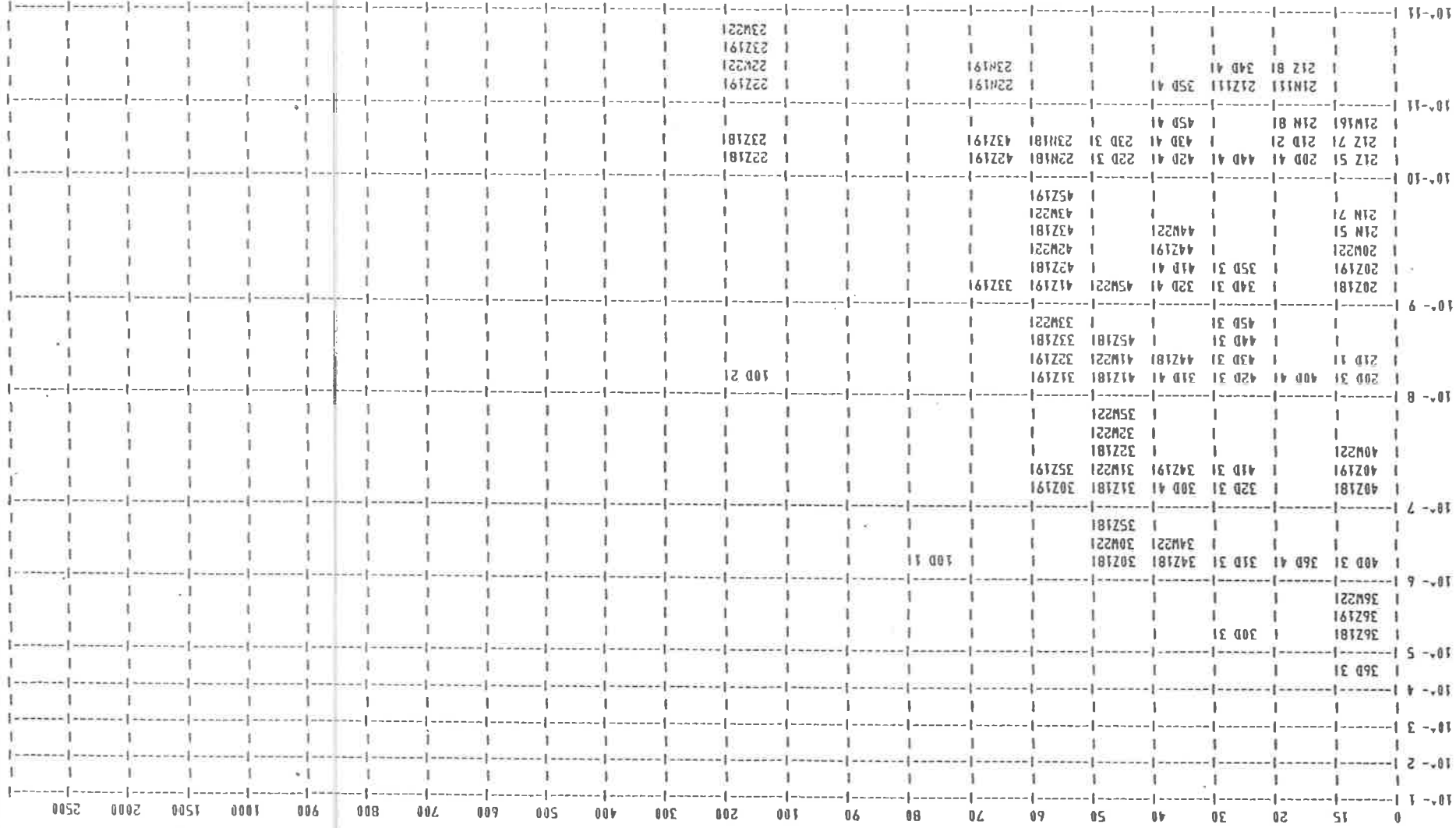
OMSCHRIJVING	ONTWIK- KELINGS- NUMMER	FREKVEN- TIE VAN ONTWIKK.	DISPERSIE				GAL-OLP				EXPLOESIE (SCHOKGOLF)			
			MET. TYPE (CONDIMETED)	OF (COND)	HOEVEEL- HEID IN (MA)	AFSTAND (MA)	VERBODING (MA)	LENGTE (M)	OPP (M ²)	EFFECT (M)	CIRKEL (M)	EFFECT (M)	AFSTAND (M)	EFFECT (M)
LEKKAGE L2 (POMP TANK/ZUIL)	1	20E-03	N	1.78E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
BRUK L2	1	.16E-04	N	1.78E+00	((100	0	20	((5000	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	30	((5000	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
BRUK L2	2	.40E-05	N	1.78E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
BRUK L2	3	.20E-06	N	1.78E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
			ZS	1.16E+00	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0
			WS	1.60E-01	((100	0	10	((5000	0	0	0	0	0	0

Tabel 9

BIJLAGE 9

ONTWIKKELINGENMATRICES

Table 1



AUTOSTANSTATION: OVERSLAG MAXIMAAL
EXTRA TECHNISCHE VOORZIENINGEN

1 FREQUENTIE DOPELIJKE BELASTING PER JAAR VERSUS AFSTAND VANAF ONTSMAPPIJNSPUNT (M)

10"-11	10"-12	10"-13	10"-14	10"-15
0	1	1	1	1
15	1	1	1	1
20	1	1	1	1
30	1	1	1	1
40	1	1	1	1
50	1	1	1	1
60	1	1	1	1
70	1	1	1	1
80	1	1	1	1
90	1	1	1	1
100	1	1	1	1
200	1	1	1	1
300	1	1	1	1
400	1	1	1	1
500	1	1	1	1
600	1	1	1	1
700	1	1	1	1
800	1	1	1	1
900	1	1	1	1
1000	1	1	1	1
1500	1	1	1	1
2000	1	1	1	1
2500	1	1	1	1

TOTALE FREQUENTIE PER CATEGORIE

0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
1	6E-041	7E-051	6E-051	2E-051	1E-051	8E-061	7E-061	7E-061	7E-081	7E-081	7E-081	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001

Vervolg tabel 1.

FREQUENTIE DODELIJKE BELASTING PER JAAR VERSUS AFSTAND VANAF ONTSNAPPINGSPUNT (M)

	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500	
10 ⁻¹ 1																								
10 ⁻¹ 2																								
10 ⁻¹ 3																								
10 ⁻¹ 4																								
10 ⁻¹ 5		36D 31																						
		36Z181		30D 31																				
		36Z191																						
		36W221																						
10 ⁻¹ 6		40D 31	36D 41	31D 31	34Z181	30Z181			16D 11															
					34W221	30W221																		
					35Z181																			
10 ⁻¹ 7		40Z181		32D 31	30D 41	31Z181	30Z191																	
		40Z191		41D 31	34Z191	31W221	35Z191																	
		40W221				32Z181																		
						32W221																		
						35W221																		
10 ⁻¹ 8		20D 31	40D 41	42D 31	31D 41	41Z181	31Z191				16D 21													
		21D 11		43D 31	44Z181	41W221	32Z191																	
				44D 31		45Z181	33Z181																	
				45D 31			33W221																	
10 ⁻¹ 9		20Z181		34D 31	32D 41	45W221	41Z191	33Z191																
		20Z191		35D 31	41D 41		42Z181																	
		20W221			44Z191		42W221																	
		21N 51			44W221		43Z181																	
		21N 71					43W221																	
							45Z191																	
10 ⁻¹ 10		21Z 51	20D 41	44D 41	42D 41	22D 31	22N181	42Z191				22Z181												
		21Z 71	21D 21		43D 41	23D 31	23N181	43Z191				23Z181												
		21W161	21N 81		45D 41																			
10 ⁻¹ 11			21N111	21Z111	35D 41			22N191				22Z191												
			21Z 81	34D 41				23N191				22W221												
												23Z191												
												23W221												
10 ⁻¹ 11																								

Tabel 2.

AUTOTANKSTATION. OVERSLAG MINIMAAL
EXTRA TECHNISCHE VOORZIENINGEN

FREQUENTIE DOELIJKE BELASTING PER JAAR VERSUS AFSTAND VANAF ONTSNAPPINGSPUNT (M)

	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500	
10 ⁻¹¹																								
10 ⁻¹²				33D 31				22D 41																
								23D 41																
10 ⁻¹³																								
10 ⁻¹⁴																								
10 ⁻¹⁵				33D 41																				

TOTALE FREQUENTIE PER CATEGORIE

	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
	.6E-041	.6E-051	.6E-051	.1E-051	.1E-051	.3E-061	.2E-061	.2E-061	.2E-081	.2E-081	.2E-081	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001	.0E+001

Vervolg tabel 2.

FREGLENTIE MODELIJKE BELASTING PER JAAR VERSUS AFSTAND VANAF ONTSNAPPINGSPIJNT (M)

	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
10^- 1																							
10^- 2																							
10^- 3																							
10^- 4		70D 31																					
		36D 31																					
		50D 31																					
		54D 31																					
		58D 31																					
		62D 31																					
		63D 11																					
		70Z181																					
		70W221																					
		71D 11																					
10^- 5		36Z181	55D 31	30D 31																			
		36Z191	70D 41																				
		36W221																					
		51D 31																					
		54Z181																					
		54Z191																					
		54W221																					
		56D 31																					
		59D 31																					
		62Z181																					
		62Z191																					
		62W221																					
		63N 51																					
		63N 71																					
		64D 31																					
		65D 11																					
		70Z191																					
		71N 51																					
		71N 71																					
		71Z 51																					
		71Z 71																					
		72D 31																					
10^- 6		40D 31	36D 41	31D 31	34Z181	30Z181			16D 11														
		52D 31	50D 41		34W221	30W221																	
		53D 31	54D 41		66D 31	35Z181																	
10^- 6																							

Tabel 3.

AUTOTANKSTATION. OVERSLAG EN OPSLAG
EXTRA TECHNISCHE VOORZIENINGEN

FREQUENTIE DOEDELIJKE BELASTING PER JAAR VERSUS AFSTAND VANAF ONTSNAPPINGSPUNT (M)

	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
10 ⁻⁶	56Z181	58D 41		67D 31																			
	56W221	62D 41																					
	57D 31	63D 21																					
	60D 31	63N 81																					
	61D 31	71D 21																					
	63Z 51	71N 81																					
	63Z 71	71N111																					
	63W161	71Z 81																					
	68D 31																						
	71W161																						
	72Z181																						
	72Z191																						
	72W221																						
	73D 31																						
10 ⁻⁷	40Z181	56D 41	32D 31	30D 41	31Z181	30Z191	67Z181																
	40Z191	63N111	41D 31	34Z191	31W221	35Z191																	
	40W221	63Z 81	63Z111	66N181	32Z181	66Z181																	
	51D 41	65D 21	71Z111	66N191	32W221																		
	55D 41	65N 81		67N181	35W221																		
	56Z191	72D 41		67N191																			
	57Z181																						
	57Z191																						
	57W221																						
	59D 41																						
	64D 41																						
	65N 51																						
	65N 71																						
	65Z 51																						
	65Z 71																						
	65W161																						
	73Z181																						
	73W221																						
10 ⁻⁸	20D 31	40D 41	42D 31	31D 41	41Z181	31Z191	67W221		67Z191		16D 21												
	21D 11	52D 41	43D 31	44Z181	41W221	32Z191																	
	73Z191	53D 41	44D 31		45Z181	33Z181																	
		57D 41	45D 31		66D 41	33W221																	
		60D 41			67D 41	66Z191																	
		61D 41				66W221																	
		65N111																					
		65Z 81																					
10 ⁻⁸																							

Vervolg tabel 3.

AUTOTANKSTATION. OVERSLAG EN OPSLAG
EXTRA TECHNISCHE VOORZIENINGEN

FREQUENTIE DODELIJKE BELASTING PER JAAR VERSUS AFSTAND VANAF ONTSNAPPINGSPUNT (M)

	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
10 ⁻⁸			68D 41																				
			73D 41																				
10 ⁻⁹																							
	20Z181		34D 31	32D 41	45W221	41Z191	33Z191																
	20Z191		35D 31	41D 41	42Z181																		
	20W221		65Z111	44Z191	42W221																		
	21N 51			44W221	43Z181																		
	21N 71				43W221																		
					45Z191																		
10 ⁻¹⁰																							
	21Z 51	20D 41	44D 41	42D 41	22D 31	22N181	42Z191				22Z181												
	21Z 71	21D 21		43D 41	23D 31	23N181	43Z191				23Z181												
	21W161	21N 81		45D 41																			
10 ⁻¹¹																							
		21N111	21Z111	35D 41			22N191				22Z191												
		21Z 81	34D 41				23N191				22W221												
											23Z191												
											23W221												
10 ⁻¹²																							
			33D 31				22D 41																
							23D 41																
10 ⁻¹³																							
10 ⁻¹⁴																							
10 ⁻¹⁵				33D 41																			

TOTALE FREQUENTIE PER CATEGORIE

0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500
6E-031	2E-041	6E-051	2E-051	1E-051	3E-061	2E-061	2E-061	5E-081	2E-081	2E-081	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001	0E+001

Vervolg tabel 3.