

**Actualisatie van ongevalsfrequenties en  
vervolgkansen met betrekking tot vrijkomen  
van gevaarlijke stoffen**

Referentienummer 93-053  
Dossiernummer 112327-24680  
Datum april 1993  
NP

Auteur  
C.M.A. Jansen

Bestemd voor  
Bouwdienst Rijkswaterstaat  
t.a.v. de heer J. Hoeksma  
Postbus 20.000  
3502 LA Utrecht

## Samenvatting

Op verzoek van Bouwdienst Rijkswaterstaat heeft de Afdeling Industriële Veiligheid van het Instituut voor Milieu- en Energietechnologie TNO een studie uitgevoerd met als doel de letselongevalsfrequenties en uitstroom- en ontstekingskansen te actualiseren.

Uit de studie wordt geconcludeerd dat de letselongevalsfrequenties in vergelijking met de waarden zoals onder andere toegepast in de beslismodellen lager zijn geworden. De gemiddelde reductie voor ongevalsfrequenties op autosnelwegen bedraagt circa een factor 2,3. Vastgesteld is ook dat de gemiddelde letselongevalsfrequentie voor autowegen vrijwel ongewijzigd is gebleven in vergelijking met die toegepast in de beslismodellen.

Overigens kan door plaatselijke situaties de ongevalsfrequentie substantieel afwijken van het gemiddelde. Waar enigszins mogelijk wordt aanbevolen gebruik te maken van specifieke ongevalsgegevens.

Met betrekking tot de actualisatie van uitstroomkansen voor vloeistoffen is op basis van nieuwe gegevens uit de TNO databank FACTS een uitstroomkans van 0,5 berekend. Deze kans is gelijk aan die toegepast vóór de actualisatie.

Voor aangeven van de onzekerheidsband kunnen de 95% confidence limits worden gebruikt (0,43-0,58).

Voor tot vloeistof verdichte gassen is alleen de uitstroomkans voor een continue bron op basis van nieuwe gegevens geactualiseerd en bepaald op 0,151. Deze kans is ongeveer een factor 3 hoger dan tot nu toe gehanteerd (0,05). De kans op instantaan vrijkomen is op basis van de bestaande gatgrootteverdeling bepaald op 0,0045 en is een factor 3 hoger dan tot nu toe gehanteerd (0,0015).

De ontstekingskans voor vloeistoffen is op basis van recente gegevens bepaald op 0,068. Op grond van een gelijke verdeling tussen vertraagde en directe ontsteking is de ontstekingskans voor zowel vertraagd als directe ontsteking 0,034 en is een factor 1,9 verlaagd (was  $\approx$  0,065).

Op grond van recente gegevens is de ontstekingskans bij vrijkomen van gassen voor een continue bron bepaald op 0,15 en 0,068 respectievelijk voor directe en vertraagde ontsteking. Deze geactualiseerde kansen zijn een factor 1,5 hoger (was 0,1 respectievelijk 0,045).



## Inhoudsopgave

|          |                                                                |           |
|----------|----------------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>Samenvatting .....</b>                                      | <b>2</b>  |
|          | <b>Inhoudsopgave .....</b>                                     | <b>3</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                         | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Letselongevalsfrequentie .....</b>                          | <b>5</b>  |
| 2.1      | Letselongevalsfrequentie uit de LPG-Integraal studie.....      | 5         |
| 2.2      | Letselongevalsfrequentie gehanteerd in de beslismodellen ..... | 5         |
| 2.3      | Actualisatie van de letselongevalsfrequentie .....             | 5         |
| <b>3</b> | <b>Kans op vrijkomen van gevaarlijke lading .....</b>          | <b>8</b>  |
| 3.1      | Algemeen.....                                                  | 8         |
| 3.2      | Kans op vrijkomen van vloeistoffen .....                       | 8         |
| 3.2.1.   | Kanscijfers uit de LPG-Integraal studie .....                  | 8         |
| 3.2.2.   | Kanscijfers uit beslismodel brandbare vloeistoffen .....       | 9         |
| 3.2.3.   | Actualisatie van uitstroomkansen van vloeistoffen .....        | 10        |
| 3.3      | Kans op vrijkomen van tot vloeistof verdichte gassen .....     | 13        |
| 3.3.1.   | Kanscijfers uit LPG-Integraal.....                             | 13        |
| 3.3.2.   | Actualisatie van uitstroomkansen .....                         | 14        |
| 3.4      | Samenvatting van de uitstroomkansen.....                       | 15        |
| 3.5      | Ontstekingskansen voor vloeistoffen en gassen.....             | 16        |
| 3.5.1.   | Ontstekingskansen uit de LPG-Integraal studie.....             | 16        |
| 3.5.2.   | Actualisatie van ontstekingskansen .....                       | 18        |
| <b>4</b> | <b>Evaluatie van de resultaten .....</b>                       | <b>23</b> |
| <b>5</b> | <b>Literatuur .....</b>                                        | <b>29</b> |
| <b>6</b> | <b>Verantwoording .....</b>                                    | <b>30</b> |

## **1 Inleiding**

Op verzoek van de Bouwdienst Rijkswaterstaat heeft de Afdeling Industriële Veiligheid TNO een actualisatie uitgevoerd met betrekking tot de letselongevalsfrequentie voor voertuigen alsmede de kans op vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

In een aantal studies in het recente verleden, uitgevoerd in opdracht van de Bouwdienst, is regelmatig gebruik gemaakt van ongevallenfrequenties alsmede de kans op vrijkomen van lading, gegeven ongevallen. De toegepaste frequenties en kansen waren veelal gebaseerd op studies van vaak vele jaren geleden en zouden wellicht in de loop der jaren kunnen zijn veranderd.

Daartoe heeft de Bouwdienst TNO verzocht na te gaan in hoeverre frequenties en kansen zouden kunnen worden geactualiseerd.

In dit rapport is hiervan verslag gedaan. Achtereenvolgens komt aan de orde.

- actualisatie van de letselongevalsfrequentie (hoofdstuk 2);
- actualisatie van kans op vrijkomen van gevaarlijke lading, onderscheiden naar vloeistoffen en gassen, (hoofdstuk 3);
- beschouwing van de resultaten (hoofdstuk 4).



## 2 Letselongevalsfrequentie

Onder letselongevalsfrequentie wordt hier de frequentie van ongevallen verstaan waarvan mag worden verwacht dat deze in principe aanleiding kunnen geven tot vrijkomen van (een deel van) de lading tijdens transport van gevaarlijke stoffen over de weg. Het gaat hierbij dan in het algemeen om ongevallen met grote materiële schade, en/of persoonlijk letsel.

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de ongevalsfrequenties zoals vastgesteld in het verleden en op de recentelijk geïnventariseerde ongevalsfrequenties.

### 2.1 Letselongevalsfrequentie uit de LPG-Integraal studie

In de LPG-Integraal studie [1] is op uitgebreide wijze de letselongevalsfrequentie voor ongevallen op de openbare weg bepaald. Bij deze studie heeft het accent gelegen op ongevallen met vrachtauto's waarbij tenminste sprake was van letsel in 1977. Hierbij zijn botsingen tussen vrachtauto's en voetgangers, fietsers en bromfietsers niet beschouwd.

Het onderzoek resulteerde in een ongevalsfrequentie van  $4,4 \cdot 10^{-7}$  vtg.<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>. Deze ongevalsfrequentie is een gemiddelde voor alle wegen (autosnelwegen, secundaire wegen etc.).

### 2.2 Letselongevalsfrequentie gehanteerd in de beslismodellen

De letselongevalsfrequentie zoals die is gehanteerd voor de toepassing van de beslismodellen vervoer gevaarlijke stoffen door tunnels [2, 3] is in tabel 2.1 samengevat.

Tabel 2.1 Overzicht van gehanteerde ongevalsfrequenties

| Wegtype                      | Ongevalsfrequentie<br>[*10 <sup>-7</sup> vtg.km.jr <sup>-1</sup> ] |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| autosnelweg                  | 2,0                                                                |
| autoweg (2-baans)            | 3,5                                                                |
| autoweg (1-baans)            | 3,5                                                                |
| wegen buiten de bebouwde kom | 5,0                                                                |
| wegen binnen de bebouwde kom | 7,0                                                                |
| tunnels                      | 2,0                                                                |

### 2.3 Actualisatie van de letselongevalsfrequentie

Op grond van algemene gegevens van de Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Dienst Verkeerskunde) is de letselongevalsfrequentie bepaald voor ongevallen op autosnelwegen en autowegen [8].

Het betreft hier ongevallen tussen motorvoertuigen (personenauto's zowel als vrachtauto's), waarbij tenminste sprake was van slachtoffers. Geen onderscheid werd hier gemaakt tussen personenauto's en vrachtauto's. In [2] is vastgesteld, dat de letselongevalsfrequentie voor vrachtverkeer niet significant afwijkt van de letselongevalsfrequentie voor personenauto's.

De letselongevalsfrequentie voor ongevallen waarbij tenminste gewonden vielen bedraagt  $8,7 \cdot 10^{-8}$  vtg.km<sup>-1</sup> voor autosnelwegen en  $3,1 \cdot 10^{-7}$  vtg.km<sup>-1</sup> voor autowegen. Deze frequentie is bepaald op grond van de frequentie voor slachtoffers per reizigerskilometer (0,13 per  $10^6$  reizigerskm<sup>-1</sup> respectievelijk 0,47 per  $10^6$  reizigerkilometer<sup>-1</sup>) en de gemiddelde bezettingsgraad per voertuig (1,5 personen). De gemiddelde bezettingsgraad is bepaald op grond van gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek.

Uit een overzicht per provincie blijkt dat de onderlinge letselongevalsfrequentie voor autosnelwegen een factor 2 kan verschillen. Voor autowegen kan dit verschil oplopen tot een factor 7. Het is niet uitgesloten dat plaatselijk de verschillen nog groter kunnen zijn.

Door de Stichting Wetenschappelijk onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) zijn ongevalsfrequentie voor 1986 gepubliceerd. Voor autosnelwegen is de letselongevalsfrequentie  $7,0 \cdot 10^{-8}$  vtg.km<sup>-1</sup> en voor autowegen  $12,7 \cdot 10^{-8}$  vtg.km<sup>-1</sup>.

Hieronder is een overzicht gegeven van Noorse en Amerikaanse (letsel)ongevalsfrequenties. Hoewel deze frequenties niet zullen worden gebruikt bij de actualisatie spelen zij indirect wel een rol bij de vaststelling van de uitstroomkansen. Dit omdat de uitstroomkansen gerelateerd dienen te zijn aan letselongevallen. Hierop wordt later nog nader teruggekomen.

#### **Noorse ongevalsgegevens**

In [4] zijn op basis van statistische gegevens uit Noorwegen over een periode van 9 jaar de volgende ongevalsfrequenties vastgesteld voor alle wegen in de nabijheid van Oslo.

|                    |                                            |
|--------------------|--------------------------------------------|
| Van de weg afraken | : $5,3 \cdot 10^{-7}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| Aanrijdingen       | : $1,1 \cdot 10^{-7}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| Alle ongevallen    | : $6,4 \cdot 10^{-7}$ vtg.km <sup>-1</sup> |

#### **Amerikaanse gegevens**

In [5] zijn op basis van Amerikaanse gegevens de volgende ongevalsfrequentie gegeven:

##### *Niet-stedelijk gebied*

|                                     |                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| twee strooks wegen                  | : $1,4 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| meer strooks wegen, niet gescheiden | : $2,8 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| meer strooks wegen, gescheiden      | : $1,3 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| autosnelwegen                       | : $0,4 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |

##### *Stedelijk gebied*

|                                     |                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| twee strooks wegen                  | : $5,4 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| meer strooks wegen, niet gescheiden | : $5,4 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |



*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgcansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*

|                                |   |                                          |
|--------------------------------|---|------------------------------------------|
| meer strooks wegen, gescheiden | : | $8,7 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| eenrichting verkeer            | : | $6,0 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |
| autosnelwegen                  | : | $1,4 \cdot 10^{-6}$ vtg.km <sup>-1</sup> |

Gegevens omtrent de ernst van de ongevallen is niet bekend. Dit maakt vergelijking met de Nederlandse cijfers moeilijk.

### Engelse gegevens

In [6] is een letselongevalsfrequentie gegeven voor vrachtauto's met gevaarlijke stoffen:  $6,2 \cdot 10^{-7}$  vtg.km<sup>-1</sup>.

Deze ongevalsfrequentie heeft betrekking op ongevallen op alle wegen. Een uitsplitsing naar autosnelwegen en andere wegen bleek niet mogelijk.

### Samenvatting

Samengevat leveren de verschillende ongevalsfrequenties, voor de Nederlandse situatie, het volgende beeld voor autosnelwegen en (autowegen):

Tabel 2.2 Overzicht van geactualiseerde letselongevalsfrequenties

| Land          | Ongevalsfrequentie<br>[*10 <sup>-7</sup> vtg.km <sup>-1</sup> ] |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|
| Nederland     |                                                                 |
| LPG-Integraal | 4,4                                                             |
| Beslismodel   | 2,0<br>(3,5)                                                    |
| Actualisatie  | 0,87<br>(3,1)                                                   |
| Kencijfers    | 0,7                                                             |
| SWOV          | (1,3)                                                           |

Voor de letselongevalsfrequentie voor Nederland wordt geconcludeerd dat de geactualiseerde ongevalsfrequentie voor autosnelwegen in Nederland belangrijk lager is (circa een factor 2,3) dan die gehanteerd in [2, 3]. De ongevalsfrequentie voor autowegen is nagenoeg gelijk aan die in [2, 3]. De kencijfers van de SWOV geven een lagere frequentie dan die uit [8].

Voor het toepassen van letselongevalsfrequentie wordt aanbevolen steeds specifieke frequenties toe te passen. Dit vanwege grote lokale verschillen.

### **3 Kans op vrijkomen van gevaarlijke lading**

#### **3.1 Algemeen**

Bij kwantificeren van risico's is vaststellen van de frequentie van de basisgebeurtenis (het ongeval) een eerste stap. De volgende stappen zijn onder andere de kwantificering van de kans op vrijkomen van lading en daarnaast, als het brandbare stoffen betreft, de kans dat de vrijgekomen lading wordt ontstoken. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de kans op vrijkomen van lading na een ongeval.

#### **3.2 Kans op vrijkomen van vloeistoffen**

De kans op vrijkomen van gevaarlijke lading, gegeven een ongeval, is geactualiseerd op basis van verschillende literatuurgegevens en ongevalsbestanden zoals de databank FACTS van TNO.

Allereerst zal een overzicht worden gegeven van in het verleden toegepaste kansen.

##### **3.2.1 Kanscijfers uit de LPG-Integraal studie**

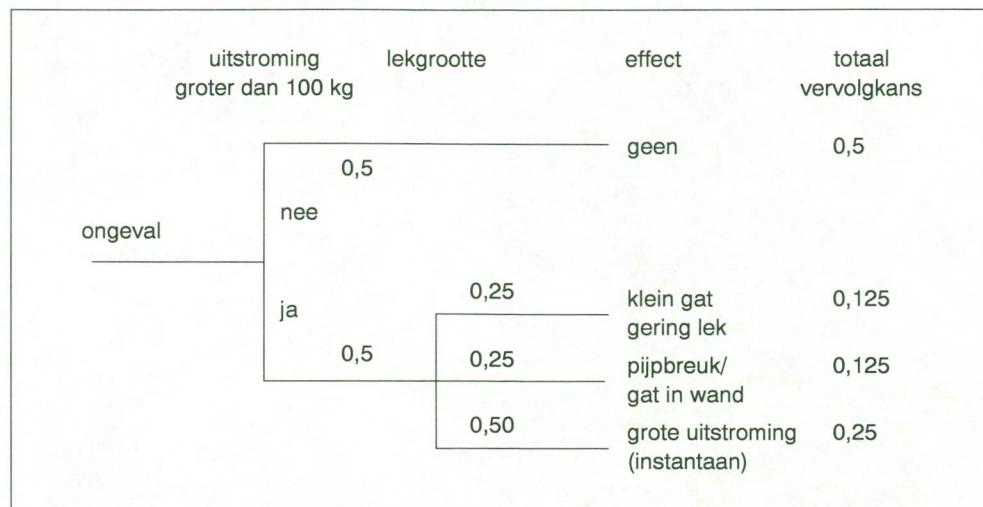
In de LPG-Integraal studie [1] is voor brandbare vloeistoffen vastgesteld dat in 50% van de gevallen meer dan 100 kg aan lading vrijkomt ( $P = 0,5$ ). Deze kans is gebaseerd op ongevalscasuïstiek over de jaren 1978 tot en met 1980 en op grond van het te verwachten aantal ongevallen per jaar met benzinetankwagens. Dit laatste gebaseerd op de gemiddelde letselongevalsfrequentie ( $4,4 \cdot 10^{-7}$  per voertuigkilometer) en het aantal benzinevoertuigkilometers per jaar.

Gegeven vrijkomen wordt daarnaast de kans gegeven voor instantaan vrijkomen van de gehele inhoud ( $P = 0,5$ ) en de kans op vrijkomen van een substantieel deel van de inhoud ( $P = 0,25$ ).

De kans op te verwaarlozen lekkages is bepaald op  $P = 0,25$ .

In de onderstaande kansenboom zijn de verschillende uitstroomkansen voor brandbare vloeistoffen in hun onderlinge verband gegeven.





### 3.2.2 Kanscijfers uit beslismodel brandbare vloeistoffen

In het beslismodel voor brandbare vloeistoffen (de geactualiseerde versie)[3], is op basis van gegevens uit ongevalsdatabase FACTS een relatie gevonden tussen uitgestroomde hoeveelheid en kans. De basis uitstroomkans is 0,5. Hierbij zijn drie gatgrootten onderscheiden:

#### *gatgrootte 1:*

kleine gaten en lekkages;  
karakteristiek uitstroomhoeveelheid  $< 1 \text{ m}^3$ .  
Kans: 0,526 (gegeven uitstromen).

#### *gatgrootte 2:*

pijpbreuk en gaten in de tankwand;  
karakteristiek uitstroomhoeveelheid  $1 - < 10 \text{ m}^3$ .  
Kans = 0,316 (gegeven uitstromen).

#### *gatgrootte 3: scheur in de tankwand;*

karakteristieke uitstroomhoeveelheid  $10 - 30 \text{ m}^3$ .  
Kans = 0,158 (gegeven uitstromen).

In de kansenboom hieronder zijn de verschillende kanscijfers in hun onderlinge verband weergegeven.

*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolggansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*

|         | uitstroming<br>groter dan 100 kg | lekgrootte | effect       | totaal<br>vervolggans |
|---------|----------------------------------|------------|--------------|-----------------------|
| ongeval | nee                              | 0,5        | geen         | 0,5                   |
|         |                                  |            |              |                       |
|         | ja                               | 0,526      | gatgrootte 1 | 0,263                 |
|         |                                  | 0,316      | gatgrootte 2 | 0,158                 |
|         |                                  | 0,158      | gatgrootte 3 | 0,079                 |

### 3.2.3 Actualisatie van uitstroomkansen van vloeistoffen

Actualisatie van uitstroomkansen heeft plaatsgevonden op basis van nieuwe literatuurgegevens aan de ene kant en recente gegevens uit de TNO databank FACTS aan de andere kant.

Als belangrijkste bron van gegevens is gebruik gemaakt van [6] en van literatuurreferenties vanuit deze publikatie. In genoemd artikel is een diepgaande studie gemaakt naar de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen over de weg. Er is een groot aantal literatuurreferenties gegeven en het mag worden beschouwd als een 'state of the art' betreffende dit onderwerp op dit moment.

Naast gemiddelde kansen zijn, waar de gegevens dit mogelijk maakten, de zogenaamde 95% confidence limits gegeven. Dat wil zeggen dat wordt aangegeven dat de waarden met 95% betrouwbaarheid binnen de vermelde grenzen zal liggen.

De berekeningsmethode is ontleend aan [9].

In bijlage 1 is een beknopte beschrijving gegeven van de berekeningswijze.

#### Noorse ongevalsgegevens

In [4] zijn op basis van statistische gegevens uit Noorwegen over een periode van 9 jaar de volgende uitstroomkansen vastgesteld op basis van ongevallen met tankauto's in de regio Oslo.

Tabel 3.1 Overzicht van uitstroomkansen voor vloeistoffen (Noorwegen)

| Type ongeval       | Gemiddelde kans | 95% confidence limits |
|--------------------|-----------------|-----------------------|
| van de weg afraken | 0,71            | 0,65 – 0,77           |
| aanrijdingen       | 0,29            | 0,23 – 0,35           |
| alle ongevallen    | 0,64            | 0,58 – 0,70           |



Deze waarden zijn bepaald op grond van 230 ongevallen waarbij sprake was van lekkage, schade aan de tank of schade aan het laad- of lossysteem.

### Amerikaanse ongevalsgegevens

In [6] is op basis van 1831 Amerikaanse ongevalsgegevens vastgesteld dat de uitstroomkans voor vloeistoffen 0,19 bedraagt (gegeven een ongeval), (95% confidence limits: 0,172 - 0,208).

Zoals eerder opgemerkt moet worden aangetekend dat ook hier de ernst van het ongeval niet is gegeven. Niet bekend is of het gaat om bijvoorbeeld alleen letselongevallen of alle gerapporteerde ongevallen zonder nadere selectie.

### TNO database FACTS

Recherche in de TNO ongevallen database FACTS heeft in totaal 185 ongevallen opgeleverd waarbij tankauto's geladen met vloeistoffen waren betrokken. In de meeste gevallen was de tankauto geladen met benzine. Voor de analyse van de ongevallen werd onderscheid gemaakt naar botsingen en eenzijdige ongevallen.

Onder eenzijdige ongevallen wordt hier verstaan ongevallen waarbij slechts één voertuig betrokken is geweest en waarbij ook geen sprake was van een botsing met een vast voorwerp (boom, brug etc.). Het gaat hier dus om ongevallen zoals van de weg raken, kantelen veroorzaakt door (te) hoge snelheid en dergelijke.

Analyse van deze ongevallen heeft geresulteerd in de volgende uitstroomkansen:

Tabel 3.2 Overzicht van geactualiseerde uitstroomkansen voor vloeistoffen (FACTS)

| Type ongeval          | Gemiddelde kans | 95% confidence limits |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| eenzijdige ongevallen | 0,50            | 0,43 – 0,58           |
| aanrijdingen          | 0,51            | 0,44 – 0,58           |
| alle ongevallen       | 0,50            | 0,43 – 0,58           |

Indien de vrijgekomen hoeveelheid (gegeven in circa 60% van de ongevallen) naar gatgroottecategorieën, zoals in [3] worden onderscheiden dan ontstaan de volgende uitstromingskansen:

gatgrootte 1 ( $< 1 \text{ m}^3$ ) : 0,46  
 gatgrootte 2 ( $1 - < 10 \text{ m}^3$ ): 0,39  
 gatgrootte 3 ( $10 - 30 \text{ m}^3$ ) : 0,15

Deze kansverdeling is nagenoeg gelijk aan die vastgesteld in [3].

*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgekansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*

Tabel 3.3 Overzicht van de geactualiseerde uitstroomkansen

| Stofcategorie                       | Huidige kansen |                   | Geactualiseerde kansen |                |       |
|-------------------------------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------|-------|
|                                     | LPG-I<br>[1]   | beslism.<br>[2,3] | Noorwegen<br>[4]       | Amerika<br>[6] | FACTS |
| brandbare<br>vloeistof<br>vrijkomen |                |                   | (0,64)                 | 0,19           |       |
| gatgrootte 1                        | 0,125          | 0,263             | —                      | —              | 0,23  |
| gatgrootte 2                        | 0,125          | 0,158             | —                      | —              | 0,195 |
| gatgrootte 3                        | 0,25           | 0,079             | —                      | —              | 0,075 |

Uit tabel blijkt dat op grond van de gegevens uit FACTS de kans op uitstromen ten opzichte van [2] en [3] slechts, een geringe wijziging heeft ondergaan.

### Resumé

Bij beschouwing van de kanscijfers uit de verschillende bronnen wordt geconcludeerd dat de uitstroomkansen sterk uiteenlopen.

Als echter het produkt van frequentie en kans wordt vergeleken dan geeft dit het volgende beeld:

- Noorse gegevens:  $6,4 \cdot 10^{-7} * 0,64 = 4,1 \cdot 10^{-7}$
- Amerikaanse gegevens:  $4 \cdot 10^{-7} * 0,19 = 7,6 \cdot 10^{-8}$
- Nederlandse gegevens:  $8,7 \cdot 10^{-8} * 0,5 = 4,4 \cdot 10^{-8}$

De verschillen tussen de Nederlandse en Amerikaanse gegevens zijn relatief gering, de Noorse gegevens zijn, in vergelijking met de Amerikaanse en Nederlandse gegevens sterk afwijkend.

Gezien de hoogte van de op grond van de Noorse gegevens geschatte uitstroomkans wordt aangenomen dat alleen de ernstige (letsel)ongevallen zijn geanalyseerd. Zekerheid bestaat hieromtrent echter niet maar wordt hier verder wel als uitgangspunt beschouwd. De uitstroomkans is wel relatief hoog. Gezien de relatief hoge ongevalsfrequentie wordt aangenomen dat het hier gaat om een specifieke situatie en geen gemiddeld beeld geeft.

Met het oog hierop wordt geconcludeerd dat de Noorse gegevens niet betrouwbaar zijn en hier niet verder worden beschouwd.

Op grond van de hoge ongevalsfrequentie en de relatief lage uitstroomkans voor de Amerikaanse gegevens is naar alle waarschijnlijkheid een ongevalsfrequentie vastgesteld op basis van alle ongevallen en dus niet alleen letselongevallen.

Omdat de uitstroomkans niet is betrokken op letselongevallen kan deze niet voor de actualisatie worden toegepast.

Op basis van bovenstaande wordt aanbevolen een uitstroomkans van 0,5 te hanteren. Dit mede op basis van het feit dat deze uitstroomkans wordt afgeleid uit goed beschreven ongevallen en ook in eerdere analyses [1] is gevonden.



## Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgekansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen

De actualisering van de kansverdeling van de gatgrootten resulteert in een verdeling die niet veel afwijkt van de verdeling van de kansen vóór de actualisatie.

Een overzicht van de verschillende kansen is hieronder weergegeven (de kansen toegepast vóór de actualisatie zijn ( ) gegeven):

| uitstroming<br>groter dan 100 kg |     | lekgrootte   | effect       | totaal<br>vervolgekans |
|----------------------------------|-----|--------------|--------------|------------------------|
| ongeval                          | nee | 0,5 (0,5)    | geen         | 0,5 (0,5)              |
|                                  |     |              |              |                        |
|                                  | ja  | 0,46 (0,526) | gatgrootte 1 | 0,23 (0,263)           |
|                                  |     | 0,5 (0,5)    | gatgrootte 2 | 0,195 (0,158)          |
|                                  |     | 0,15 (0,158) | gatgrootte 3 | 0,075 (0,079)          |

### 3.3 Kans op vrijkomen van tot vloeistof verdichte gassen

#### 3.3.1 Kanscijfers uit LPG-Integraal

In de LPG-Integraal studie [1] zijn voor tot vloeistof verdichte gassen uitstroomkansen bepaald op grond van zowel Nederlandse ongevalsgegevens als Amerikaanse. De aanvulling met Amerikaanse gegevens heeft plaatsgevonden op grond van de overweging dat Nederlandse ongevalsgegevens te gering in aantal waren om als basis te dienen voor de kwantificering van uitstroomkansen.

De resultaten zijn:

- kans op vrijkomen (gegeven een ongeval) : 0,05;
- kans op instantaan vrijkomen : 0,03;
- kans op pijpbreuk/gat in tankwand : 0,07;
- kans op (te verwaarlozen) lekkages : 0,9.

Bovenstaande resulteert in de volgende kansenboom:

## Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolggansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen

|         | uitstroming<br>groter dan 100 kg | leksgrootheid | effect                           | totaal<br>vervolggansen |
|---------|----------------------------------|---------------|----------------------------------|-------------------------|
| ongeval | nee                              | 0,95          | geen                             | 0,95                    |
|         |                                  | 0,05          | kleine lekkages<br>(geen effect) | 0,045                   |
|         | ja                               | 0,9           | pijpbreuk/gat<br>in tankwand     | 0,0035                  |
|         |                                  | 0,03          | instantaan<br>vrijkomen          | 0,0015                  |

### 3.3.2 Actualisatie van uitstroomkansen

#### Noorse gegevens

In [4] zijn op basis van statistische gegevens uit Noorwegen uitstroomkansen vastgesteld. De uitstroomkansen zijn gebaseerd op slechts drie ongevallen in een periode van 9 jaar.

Vastgesteld is dat de uitstroomkans (gegeven een ongeval) kan variëren van 0,01 - 0,05.

#### Amerikaanse ongevalsgegevens

In [6] is op basis van 259 Amerikaanse ongevalsgegevens vastgesteld dat de uitstroomkans  $P = 0,081$  (gegeven een ongeval) bedraagt.

De 95% confidence limits zijn: 0,047 - 0,115.

#### TNO database FACTS

Recherche in de TNO ongevallen database FACTS heeft in totaal 53 ongevallen opgeleverd waarbij tankauto's geladen met tot vloeistof verdichte gassen waren betrokken. In de meeste gevallen betrof het LPG. Voor de analyse van de ongevallen werd ook hier onderscheid gemaakt naar botsingen en eenzijdige ongevallen (zie voor definitie hiervoor).

Analyse van deze ongevallen heeft geresulteerd in de volgende uitstroomkansen:

|                       |                                              |
|-----------------------|----------------------------------------------|
| eenzijdige ongevallen | : 0,105;                                     |
| aanrijdingen          | : 0,267;                                     |
| alle ongevallen       | : 0,151 (95% confidence limits: 0,1 - 0,28). |



### 3.4 Samenvatting van de uitstroomkansen

In de tabel 3.4 zijn de verschillende geactualiseerde uitstroomkansen samengevat.

Tabel 3.4 Overzicht van de geactualiseerde uitstroomkansen voor tot vloeistof verdichte gassen

| Stofcategorie               | Huidige kansen |          | Geactualiseerde kansen |             |       |
|-----------------------------|----------------|----------|------------------------|-------------|-------|
|                             | LPG-I          | beslism. | Noorwegen [4]          | Amerika [6] | FACTS |
| brandbare gassen vrijkomen  | 0,05           | 0,05     | (0,01/0,05)            | 0,081       | 0,151 |
| instantaan                  | 0,03           | 0,03     |                        |             |       |
| grote                       |                |          |                        |             |       |
| hoeveelheid te verwaarlozen | 0,07           | 0,07     |                        |             |       |
|                             | 0,9            | 0,9      |                        |             |       |

Voor de actualisatie bleek het niet mogelijk onderscheid te maken tussen de grootte van de uitstroming. In de meeste gevallen werd in de casuïstiek en literatuur geen melding gedaan omtrent de hoeveelheid gas, die was vrijgekomen. Wel bestaat de indruk, dat op grond van ongevalsbeschrijvingen, zoals genomen maatregelen, evacuatie en dergelijke, het in het algemeen ging om relatief geringe hoeveelheden.

Aangenomen wordt dat de gemiddelde kans voornamelijk betrekking heeft op niet-instantaan vrijkomen en dat de verdeling in gatgrootte dezelfde is als in [1]. Dat betekent, dat de kansverdeling als volgt wordt:

- kans op te verwaarlozen lekkages: 0,136 (was 0,045)
- kans op pijpbreuk/gat in tankwand: 0,0106 (was 0,0035)
- kans op instantaan vrijkomen: 0,0045 (was 0,0015).

Uit het overzicht blijkt, dat de verschillende kansen circa een factor 3 hoger zijn dan in [1].

#### Resumé

Bij beschouwing van de kanscijfers uit de verschillende bronnen wordt geconcludeerd dat de uitstroomkansen een factor 2 uiteenlopen (0,08 - 0,151). Hierbij zijn, analoog aan brandbare vloeistoffen, de Noorse gegevens ook nu als niet betrouwbaar beschouwd.

Als het produkt van frequentie en kans wordt vergeleken dan geeft dit het volgende beeld:

- Amerikaanse gegevens:  $4 \cdot 10^{-7} \cdot 0,081 = 3,2 \cdot 10^{-8}$
- Nederlandse gegevens:  $8,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,151 = 1,3 \cdot 10^{-8}$

Zoals eerder opgemerkt is voor de Amerikaanse gegevens waarschijnlijk een ongevalsfrequentie vastgesteld op basis van alle ongevallen en dus niet alleen letselongevallen. Ook nu wordt geconcludeerd dat de uitstroomkans niet voor de actualisatie kon worden gebruikt.

Op basis van bovenstaande is geconcludeerd dat de uitstroomkans zoals bepaald uit de ongevalsgegevens van FACTS een betrouwbaar beeld geeft. Mede doordat deze laatste is gebaseerd op goed beschreven ongevallen. Aanbevolen wordt deze uitstroomkans te hanteren.

Voor de kansverdeling van de verschillende gatgrootten wordt dezelfde kansverdeling toegepast als in [1] (zie par. 3.3.1).

Dit geeft de volgende kansverdeling:

- kleine lekkages:  $0,9 * 0,151 = 0,136$
- pijpbreuk/gat in wand:  $0,07 * 0,151 = 0,0106$
- instantaan vrijkomen:  $0,03 * 0,151 = 0,0045$

De kansenboom ziet er dan, na actualisatie, als volgt uit:

| uitstroming<br>groter dan 100 kg |                     | lekgrootte       | effect                           | totaal<br>vervolgkans |
|----------------------------------|---------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------|
| ongeval                          | nee                 | 0,849 (was 0,95) | geen                             | 0,849 (0,95)          |
|                                  | ja                  | 0,90             | kleine lekkages<br>(geen effect) | 0,136 (0,045)         |
|                                  | 0,151<br>(was 0,05) | 0,07             | pijpbreuk/gat<br>in tankwand     | 0,0106 (0,0035)       |
|                                  |                     | 0,03             | instantaan<br>vrijkomen          | 0,0045 (0,0015)       |

### 3.5 Ontstekingskansen voor vloeistoffen en gassen

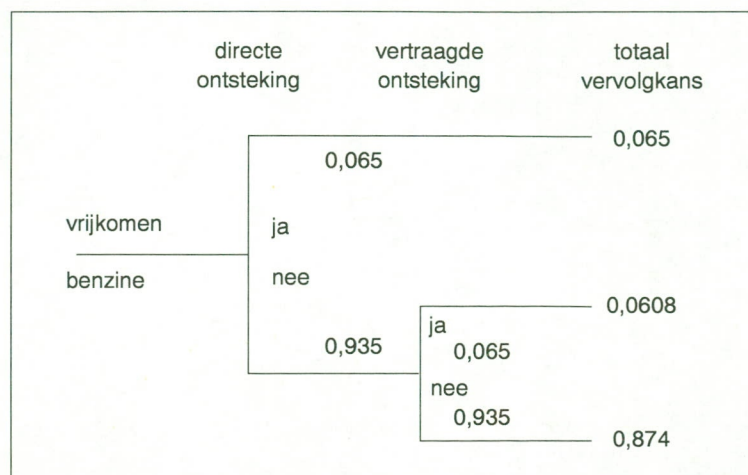
#### 3.5.1 Ontstekingskansen uit de LPG-Integraal studie

##### Vloeistoffen

De in de LPG-integraal studie toegepaste ontstekingskansen zijn in hun onderlinge verband in onderstaande kansenboom weergegeven:

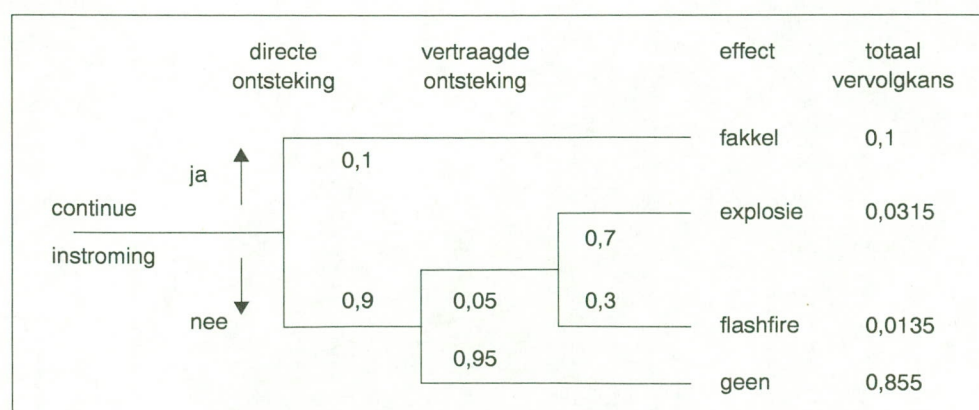
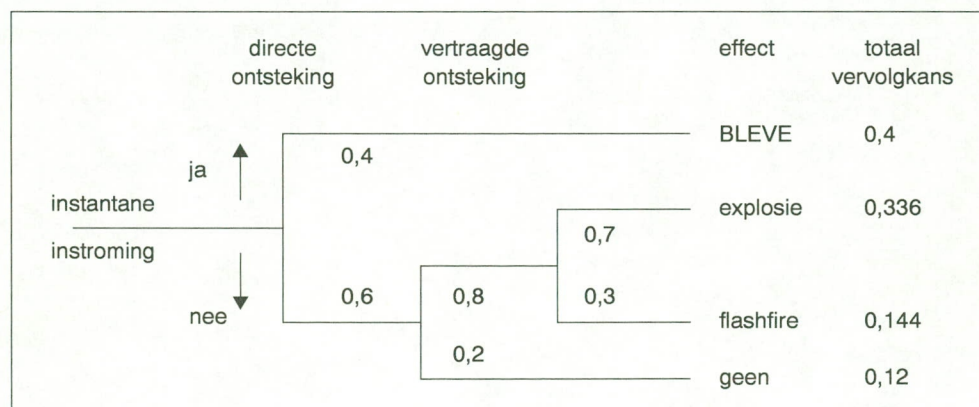


*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgschans met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*



### Tot vloeistof verdichte gassen

Voor tot vloeistof verdichte gassen zijn in de LPG-integraal studie de volgende ontstekingschans gegeven [1].



In het beslismodel [2] werden de volgende kansen gebruikt:

|                          | directe<br>ontsteking | vertraagde<br>ontsteking | effect | totaal<br>vervolgekans |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------|------------------------|
| instantane<br>instroming | ja ↑<br>1,0           |                          | BLEVE  | 1,0                    |
|                          | nee ↓<br>0            |                          | geen   | 0                      |

|                        | directe<br>ontsteking | vertraagde<br>ontsteking | effect    | totaal<br>vervolgekans |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------------------|
| continue<br>instroming | ja ↑<br>0,1           |                          | fakkel    | 0,1                    |
|                        |                       |                          | explosie  | 0,0315                 |
|                        | nee ↓<br>0,9          | 0,05                     | flashfire | 0,0135                 |
|                        |                       | 0,95                     | geen      | 0,855                  |

### 3.5.2 Actualisatie van ontstekingskansen

#### Brandbare vloeistoffen

##### Noorse ongevalsgegevens

In [4] zijn op basis van statistische gegevens uit Noorwegen ontstekingskansen voor brandbare vloeistoffen geschat op 0,01 - 0,05. Geen gegevens zijn vermeld met betrekking tot het tijdstip van ontsteken (direct, vertraagd) alsmede een relatie met de grootte van de uitstroming.

##### Wereldwijd

In [7] zijn ontstekingskansen gegeven voor lekkages van brandbare vloeistoffen in de procesindustrie.

Alhoewel de situatie bij transport ongevallen niet geheel vergelijkbaar zijn met die in de procesindustrie geven zij wellicht toch een indicatie.

De ontstekingskans voor grote lekkages (gedefinieerd als een gatgrootte met een diameter 0,30 meter) en te vergelijken met instantaan vrijkomen bij tankauto transport is 0,08.



De ontstekingskans voor kleine lekkages ter grootte van een diameter van circa 0,025 meter is 0,05.

### Canadese gegevens

In [6] is een analyse gegeven van 32 ongevallen waarbij benzine is vrijgekomen. In 2 gevallen was sprake van brand als gevolg van vrijkomen van (een deel van) de lading. Dit geeft een gemiddelde ontstekingskans van 0,0625.

De 95% confidence limits zijn: 0,0077 - 0,208.

### TNO database FACTS

Analyse van de ongevallen uit de databank FACTS heeft geresulteerd in vijf branden bij 69 ongevallen waarbij brandbare vloeistoffen zijn vrijgekomen.

Opvallend hierbij is dat het alleen om botsingen gaat. Geen informatie werd gevonden omtrent het tijdstip van ontsteken. Ook bleek het niet mogelijk een relatie te leggen tussen vrijgekomen hoeveelheid en ontstekingskans.

Als schatting hiervoor wordt aangehouden dat in 50% van de gevallen directe ontsteking optreedt.

Dit resulteert in een kans op directe/vertraagde ontsteking van 0,036.

De 95% confidence limits zijn: 0,013 - 0,109.

Tabel 3.5 Overzicht van de ontstekingskansen van vloeistoffen

| Bron          | Huidige ontstekingskansen |           | Geactualiseerde ontstekingskansen |           |                   |
|---------------|---------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|-------------------|
|               | direct                    | vertraagd | direct                            | vertraagd | tijdstip onbekend |
| LPG-Integraal | 0,065                     | 0,0608    |                                   |           |                   |
| Beslismodel   | 0,065                     | 0,0608    |                                   |           |                   |
| Noorwegen [4] |                           |           |                                   |           | (0,05 – 0,01)     |
| Canada [6]    |                           |           |                                   |           | 0,0625            |
| FACTS         |                           |           |                                   |           | 0,072             |
| Overige [7]   |                           |           |                                   |           | 0,05 – 0,08       |
|               |                           |           | gemiddelde kans : 0,068           |           |                   |
|               |                           |           | spreiding : 0,05 – 0,08           |           |                   |
|               |                           |           | directe ontsteking : 0,034        |           |                   |
|               |                           |           | vertraagde ontsteking : 0,034     |           |                   |

Zoals uit de tabel blijkt is als gemiddelde ontstekingskans voor brandbare vloeistoffen 0,068 bepaald. Omdat de ongevalsgegevens geen nadere detaillering naar tijdstip van ontsteking mogelijk maakten is een gelijke verdeling aangehouden voor directe en vertraagde ontsteking. Dit analoog aan [1]

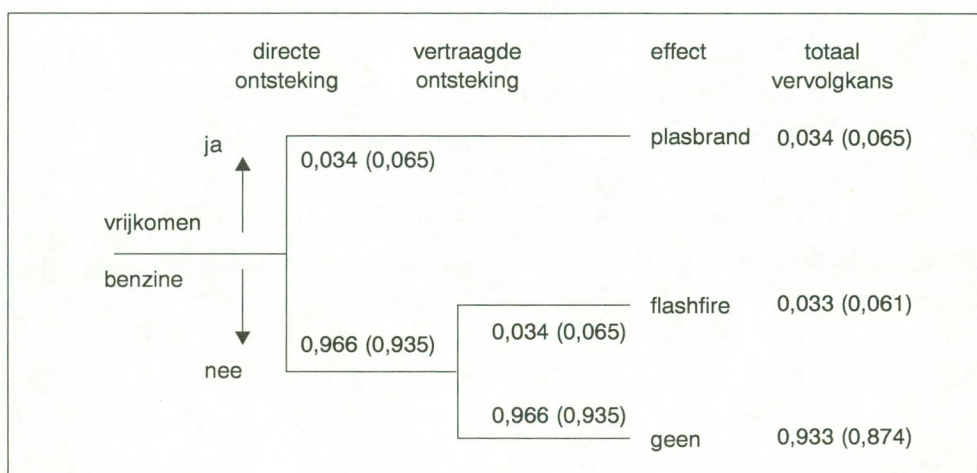
Deze benadering resulteert in een ontstekingskans van 0,034 en is een factor 1,9 lager dan in [1] (0,065).

## Resumé

Voor vaststellen van de geactualiseerde ontstekingskansen worden de gegevens uit Noorwegen niet betrokken. Dit omdat het hier gaat om schattingen en de waarden niet uit ongevalsgegevens zijn afgeleid.

Zoals uit de tabel blijkt bedraagt de gemiddelde ontstekingskans voor brandbare vloeistoffen 0,068 met een spreiding van 0,05 - 0,08. Omdat de ongevalsgegevens geen nadere detaillering mogelijk maakte naar ontstekingstijdstip is een gelijke verdeling aangehouden tussen directe en vertraagde ontsteking. Deze benadering resulteert in een ontstekingskans van 0,034 en is een factor 1,9 lager dan bepaald in [1].

De kansenboom voor deze situatie ziet er als volgt uit:



## Brandbare tot vloeistof verdichte gassen

### Noorse ongevalsgegevens

In [4] zijn op basis van ontstekingskansen van ongevallen met brandbare vloeistoffen in Noorwegen ontstekingskansen voor brandbare gassen geschat op 0,1 - 0,5.

### Wereldwijd

In [7] zijn ontstekingskansen gegeven voor lekkages van brandbare gassen in de procesindustrie.

Alhoewel de situatie bij transport ongevallen niet geheel vergelijkbaar zijn met die in de procesindustrie geven zij wellicht toch een indicatie omtrent de kans op ontsteken. De ontstekingskans is bepaald voor drie lekgrootten:

|                                          |         |
|------------------------------------------|---------|
| klein lek: $< 1 \text{ kg.s}^{-1}$       | : 0,01; |
| groot lek: $1 - 50 \text{ kg.s}^{-1}$    | : 0,07; |
| zeer groot lek: $> 50 \text{ kg.s}^{-1}$ | : 0,3.  |

In dit verband kan een groot lek gelijk worden gesteld aan pijpbreuk/gat in de tankwand en een zeer groot lek aan instantaan vrijkomen.



### TNO database FACTS

Analyse van de ongevallen uit de databank FACTS heeft geresulteerd in 8 LPG uitstromingen. In twee gevallen trad daarbij brand op veroorzaakt door vrijkomende LPG. Omtrent tijdstip van ontsteken was niets vermeld. Ook gegevens omtrent uitgestroomde hoeveelheid waren niet bekend.

Bovenstaande resulteert in een kans op brand (gegeven vrijkomen) van 0,25.

De 95% confidence limits zijn: 0,0318 - 0,651.

Tabel 3.6 Overzicht van de verschillende geactualiseerde ontstekingskansen voor gassen

| Bron                 | Huidige ontstekingskansen |           | Geactualiseerde ontstekingskansen |
|----------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------------|
|                      | direct                    | vertraagd | tijdstip onbekend                 |
| LPG-Integraal        |                           |           |                                   |
| instantaan vrijkomen | 0,4                       | 0,48      |                                   |
| continu vrijkomen    | 0,1                       | 0,045     |                                   |
| Beslismodel          | 1,0                       | 0         |                                   |
| instantaan vrijkomen |                           |           |                                   |
| continu vrijkomen    | 0,1                       | 0,045     |                                   |
| Noorwegen [4]        |                           |           | (0,1 – 0,5)                       |
| FACTS                |                           |           | 0,25                              |
| Overige [7]          |                           |           | 0,3 – 0,07                        |
|                      |                           |           | gemiddelde kans : 0,218           |
|                      |                           |           | spreiding : 0,07 – 0,30           |

Uit de tabel volgt een gemiddelde ontstekingskans voor brandbare gassen van 0,218. Dit betreft waarschijnlijk zowel vertraagde als directe ontsteking maar dit bleek niet uit de ongevalsgegevens te kunnen worden bepaald. Ook was niet altijd duidelijk of sprake was van een continue of een instantane uitstroming.

Aangenomen wordt hier dat de kansen voornamelijk betrekking hebben op continue (dus veelal relatief kleinere) bronnen. Dit geldt zeker voor de ongevallen uit FACTS. In [1] is de verhouding tussen directe en vertraagde ontsteking 0,1:0,045. Dezelfde verhouding toegepast op de geactualiseerde kans levert een kansverdeling voor een continue bron op van:

*Continue bron:*

directe ontsteking : 0,15;

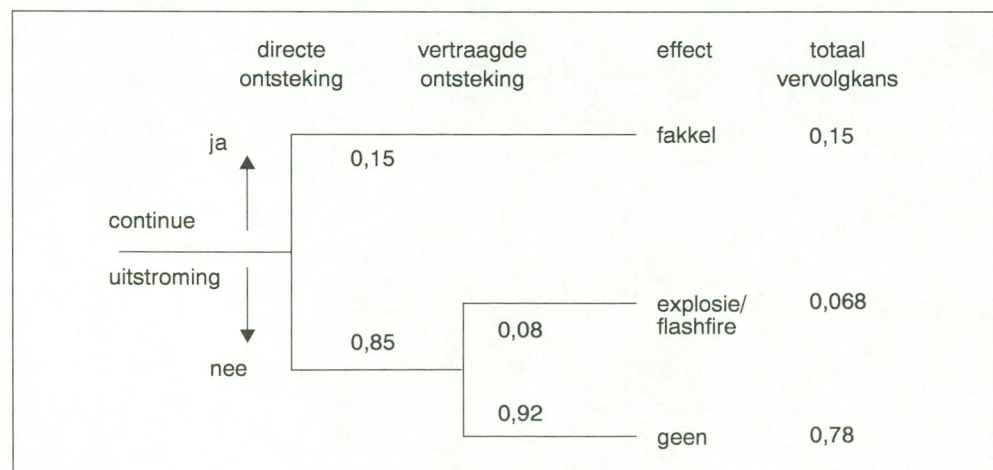
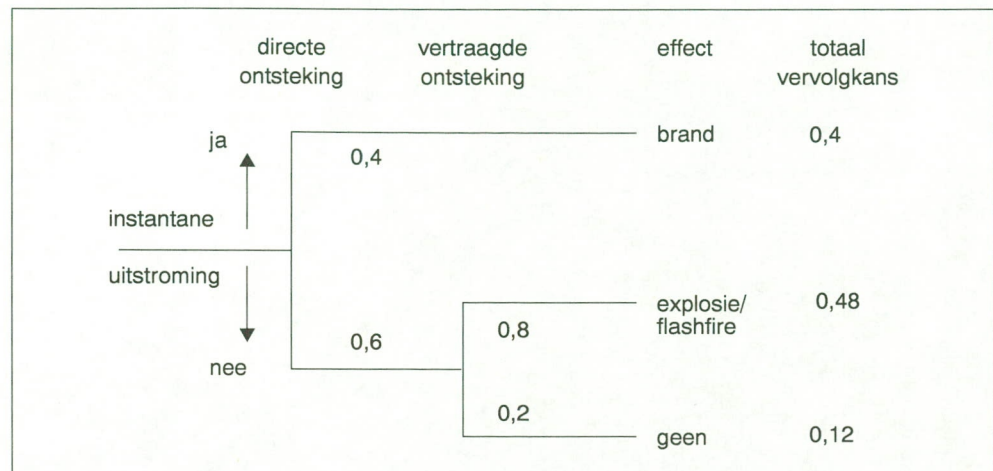
vertraagde ontsteking : 0,068.

In vergelijking met de ontstekingskansen uit de LPG-Integraal studie betekent dit dat de ontstekingskansen circa een factor 1,5 zijn verhoogd.

Voor instantane bronnen bleek het niet mogelijk de kansen te actualiseren en worden de kansen niet gewijzigd.

*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgcansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*

In de onderstaande kansenboom zijn de verschillende kansen in hun onderlinge samenhang gegeven:





## 4 Evaluatie van de resultaten

### Letselongevalsfrequentie

De letselongevalsfrequentie werd geactualiseerd op basis van ongevalscijfers over de jaren 1986 tot en met 1988.

Op grond van deze ongevalscijfers werd een letselongevalsfrequentie voor autosnelwegen bepaald op:  $8,7 \cdot 10^{-8}$  vtg.km<sup>-1</sup> voor autosnelwegen.

Dit betekent een verlaging met een factor 2,3 ten opzichte van de letselongevalsfrequentie zoals toegepast in de beslismodellen.

De geactualiseerde letselongevalsfrequentie voor autowegen is  $3,1 \cdot 10^{-7}$  vtg.km<sup>-1</sup> en is nagenoeg gelijk aan die toegepast in de beslismodellen.

Uit de provinciale verdeling van de letselongevalsfrequentie is gebleken, dat deze sterk afhankelijk is van plaatselijke omstandigheden en zijn onderlinge verschillen van een factor 2 mogelijk. Voor autowegen kan dit oplopen tot zelfs een factor 7.

Aanbevolen wordt daarom zo mogelijk steeds gebruik te maken van traject specifieke letselongevalsfrequenties. Indien geen specifieke gegevens beschikbaar zijn wordt aanbevolen recente kencijfers van de SWOV te gebruiken.

### Uitstroomkansen van vloeistoffen

Op grond van gegevens uit de TNO databank FACTS is een geactualiseerde uitstroomkans van gemiddeld 0,5 berekend.

Aanbevolen wordt om in het vervolg deze uitstroomkans toe te passen die is afgeleid uit de TNO databank FACTS. Voor aangeven van een onzekerheidsband kan gebruik worden gemaakt van de berekende 95% confidence limits (0,43 - 0,58).

Ook de kansverdeling voor de verschillende gatgrootten is geactualiseerd. De resultaten zijn hieronder samengevat:

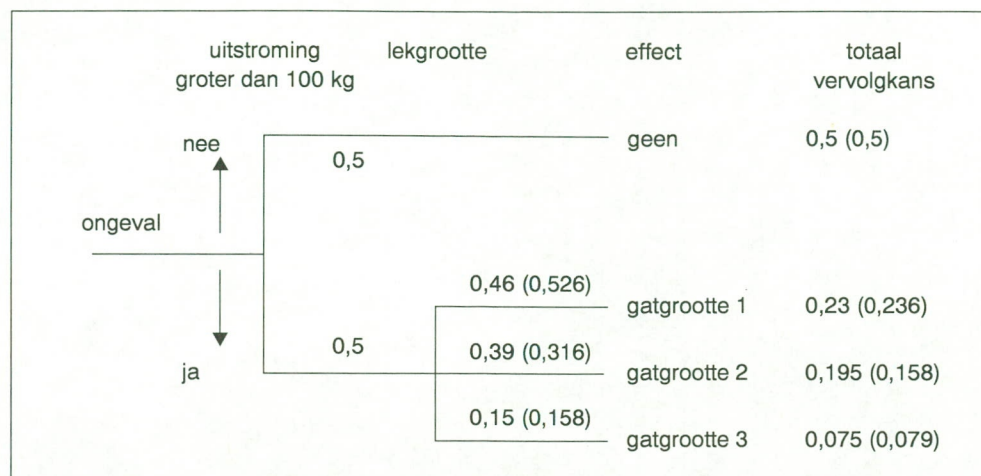
gatgrootte 1: 0,46 (was 0,526);

gatgrootte 2: 0,39 (was 0,316);

gatgrootte 3: 0,15 (was 0,158).

Voorgesteld wordt om de bestaande kansverdeling toe te passen.

Bovenstaande weergegeven in een kansboom geeft:



### Uitstroomkansen voor gassen

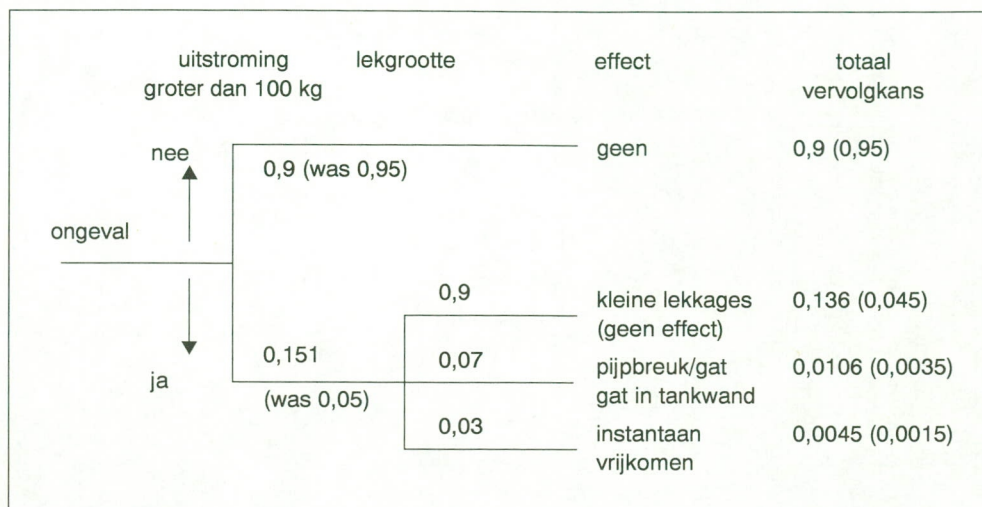
Op basis van ongevalsgegevens uit de TNO databank FACTS is een geactualiseerde uitstroomkans bepaald van 0,151 en is een factor 3 hoger. Gegevens uit andere bronnen bleken niet bruikbaar.

In [1] is de verhouding bepaald tussen verschillende gatgrootten. Onderscheiden werd kleine (niet relevante lekkages) in 90% van de gevallen en pijpbreuk/gat in tankwand en instantaan vrijkomen in respectievelijk 7% en 3% van de gevallen. Deze verdeling toegepast op de geactualiseerde uitstroomkans (0,151) levert de volgende kansen:

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| kleine lekkages (geen effect): | 0,136 (was 0,045);   |
| pijpbreuk/gat in tankwand:     | 0,0106 (was 0,0035); |
| instantaan vrijkomen:          | 0,0045 (was 0,0015). |



Bovenstaande weergegeven in een kansenboom geeft:



De ongevalsgegevens waren onvoldoende gedetailleerd om een kansverdeling vast te stellen tussen continue en instantane uitstromingen. Hierdoor is de eerder vastgestelde kansverdeling gehanteerd.

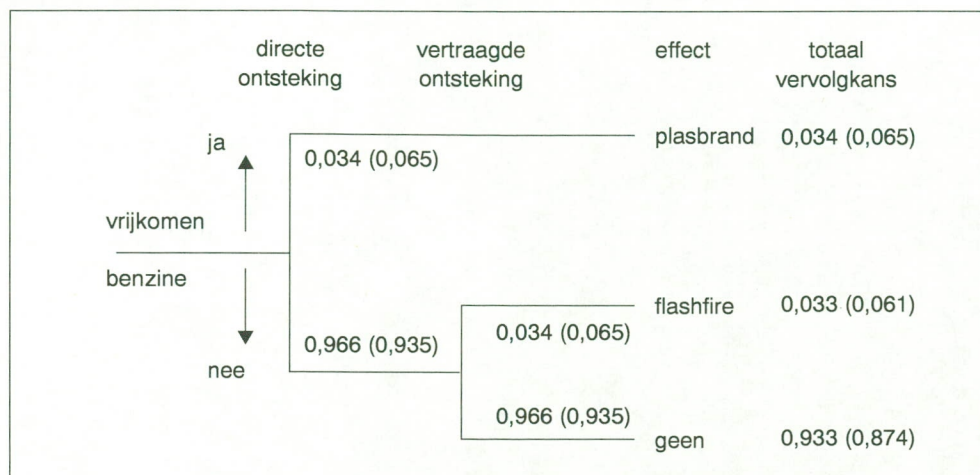
### Ontstekingskans voor brandbare vloeistoffen

Op grond van actuele literatuur en ongevalsgegevens is een ontstekingskans voor brandbare vloeistoffen van gemiddelde 0,068 bepaald. De spreiding is 0,05 - 0,08. Omdat de ongevalsgegevens geen nadere detaillering mogelijk maakte naar ontstekingstijdstip is een gelijke verdeling aangehouden tussen directe en vertraagde ontsteking.

Deze benadering resulteert in een ontstekingskans van 0,034 en is een factor 1,9 lager dan de oorspronkelijke waarde [1, 3].

De kansenboom is nu als volgt:

*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgcansen met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*



### Ontstekingskans voor brandbare gassen

Op grond van actuele literatuur- en ongevalsgegevens is een ontstekingskans voor brandbare gassen berekend van gemiddeld 0,218.

De spreiding bedraagt 0,07 - 0,3.

Het betreft hier waarschijnlijk zowel vertraagde als directe ontsteking maar dit bleek niet uit de ongevalsgegevens te kunnen worden bepaald.

Ook was niet altijd duidelijk of sprake was van continue of instantane uitstromingen. Aangenomen wordt hier dat de kansen voornamelijk betrekking hebben op continue (dus veelal relatief kleinere) bronnen

Op basis van eenzelfde verdeling van de kans op vertraagde of directe ontsteking als in [1] namelijk 0,1 voor directe ontsteking en 0,045 voor vertraagde ontsteking worden, voor een continue bron, de geactualiseerde kansen als volgt:

*Continue bron:*

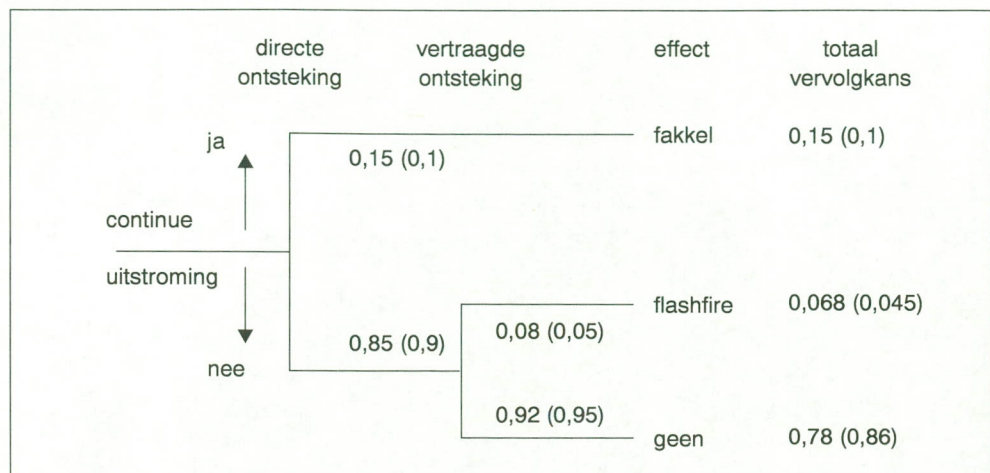
directe ontsteking : 0,15 (was 0,1);

vertraagde ontsteking : 0,068 (was 0,045).



*Actualisatie van ongevalsfrequenties en vervolgschans met betrekking tot vrijkomen van gevaarlijke stoffen*

Bovenstaande weergegeven in een kansboom geeft:



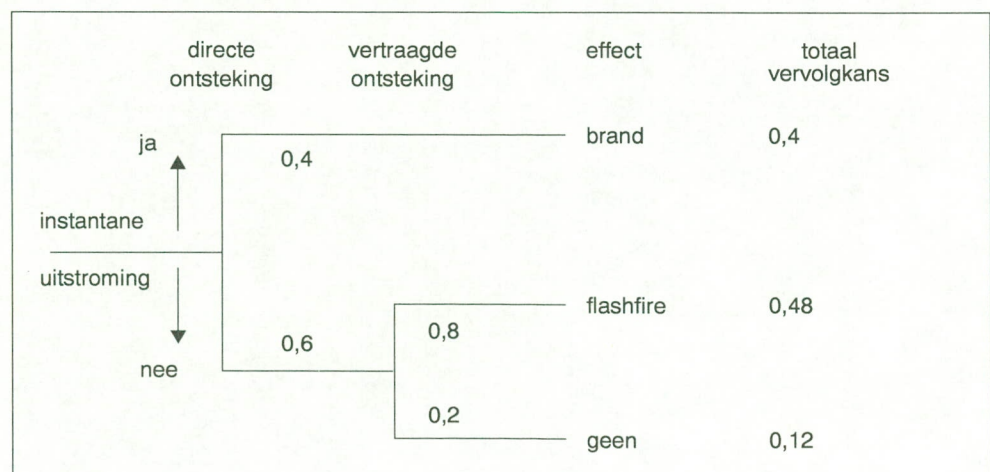
In vergelijking met de ontstekingschans uit de LPG-Integraal studie betekent dit dat de ontstekingschans circa een factor 1,5 is verhoogd.

Voor instantane bronnen bleek het niet mogelijk de kans de actualiseren. Daarom wordt aanbevolen om de huidige, niet geactualiseerde kans, toe te passen. Deze ontstekingschans zijn:

*Instantane bron:*

directe ontsteking : 0,4;  
vertraagde ontsteking : 0,48.

Bovenstaande weergegeven in een kans boom geeft:



### Vergelijking van de geactualiseerde kansgetallen

In het voorgaande is een overzicht gegeven van de resultaten van de actualisatie van uitstroomkansen en ontstekingskansen. Daarbij is onderscheid gemaakt naar vloeistoffen en gassen.

Om de gebruiker de mogelijkheid te bieden de invloed aan te geven van de toepassing van de kansen afkomstig van de verschillende bronnen wordt in de tabel hieronder een overzicht gegeven van de verschillende kansen zoals op dit moment toegepast en de verhouding tussen de geactualiseerde kansen en de bestaande kansen in de vorm van een verschilfactor.

De grootte van de verschilfactor wordt bepaald door de verhouding van het produkt van uitstroomkans en ontstekingskans.

Getracht is om tevens het onzekerheidsgebied aan te geven van de toegepaste kansen. De ongevalsgegevens waarop de verschillende kansen zijn gebaseerd lieten een dergelijke uitwerking echter niet toe.

Tabel 4.1 Overzicht van de uitstroom- en ontstekingskansen en de verschilfactor

| Stof-categorie                | Uitstroomkans |        |        | Ontstekingskans [-] |       |       |           |        |       |      |      |      | Verschil-factor |      |
|-------------------------------|---------------|--------|--------|---------------------|-------|-------|-----------|--------|-------|------|------|------|-----------------|------|
|                               |               |        |        | Direct              |       |       | Vertraagd |        |       |      |      |      |                 |      |
|                               | B.M           | LPG-I  | Act.   | B.M                 | LPG-I | Act.  | B.M.      | LPG-I  | Act.  | Act. | Act. | Act. | B.M.            | LPG  |
| <i>brandbare vloeistoffen</i> |               |        |        |                     |       |       |           |        |       |      |      |      |                 |      |
| gatgrootte 1                  | 0,263         | 0,125  | 0,23   | -                   | -     | -     | -         | -      | -     |      |      |      |                 |      |
| gatgrootte 2                  | 0,158         | 0,125  | 0,195  | 0,065               | 0,065 | 0,034 |           |        |       |      |      |      | 0,65            | 0,81 |
|                               |               |        |        |                     |       |       | 0,061     | 0,0608 | 0,033 |      |      |      | 0,67            | 0,85 |
| gatgrootte 3                  | 0,079         | 0,25   | 0,075  | 0,065               | 0,065 | 0,034 |           |        |       |      |      |      | 0,50            | 0,16 |
|                               |               |        |        |                     |       |       | 0,061     | 0,0608 | 0,033 |      |      |      | 0,51            | 0,16 |
| <i>brandbare gassen</i>       |               |        |        |                     |       |       |           |        |       |      |      |      |                 |      |
| continue uitstroming          | 0,0035        | 0,0035 | 0,0106 | 0,1                 | 0,1   | 0,15  |           |        |       |      |      |      | 4,55            | 4,55 |
|                               |               |        |        |                     |       |       | 0,045     | 0,045  | 0,068 |      |      |      | 4,55            | 4,55 |
| instantane uitstroming        | 0,0015        | 0,0015 | 0,0045 | 1,0                 | 0,4   | 0,4   |           |        |       |      |      |      | 1,21            | 3,0  |
|                               |               |        |        |                     |       |       | 0         | 0,48   | 0,48  |      |      |      | -               | 3,0  |



## 5 Literatuur

- [1] LPG-Integraal;  
Vergelijkende risico-analyse van de opslag,  
de overslag, het vervoer en het gebruik van LPG en benzine.  
MT-TNO mei 1983.
- [2] Jansen, C.M.A., Janssen L.A.M.;  
Deelrapport 3.  
Handboek voor het toepassen van het beslissingsmodel vervoer  
van gevaarlijke stoffen door tunnels of via omleidingen.  
MT-TNO Ref. nr. 82-012195. Juni 1983.
- [3] Jansen, C.M.A.;  
Actualisatie handleiding beslismodel vervoer brandbare  
vloeistoffen door tunnels of via omleidingen.  
MT-TNO Ref. nr. 90-027. Maart 1990.
- [4] 6th International Symposium 'Loss Prevention and  
Safety Promotion in the Process Industries'.  
Oslo, Norway, June 19-22, 1989. Volume I: lectures: 1-36.
- [5] Truck accident rate model for hazardous materials routing.  
Transportation Research record 1264 (1990).
- [6] Davies P.A. and Lees F.P.;  
The assessment of major hazards:  
The road transport environment for conveyance  
of hazardous materials in Great Britain.  
Journal of Hazardous Materials 32 (1992) 41-79.
- [7] Cox A.W., Lees F.P., Ang M.L.;  
Classification of hazardous locations.  
Report of the Inter-Institutional Group on the  
Classification of Hazardous Locations. Institution of  
Chemical Engineers. Rugby, Warwickshire England.
- [8] Referentiecijfers.  
Verkeersonveiligheid Rijkswegen 1986 tot en met 1988  
Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde.
- [9] Martz, H.F., Waller, R.A.  
Bayesian Reliability Analysis  
John Wiley & Son, 1982.

## 6 Verantwoording

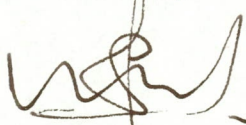
Naam en adres van de opdrachtgever  
Bouwdienst Rijkswaterstaat  
t.a.v. de heer J. Hoeksma  
Postbus 20.000  
3502 LA Utrecht

Namen en functies van de medewerkers  
C.M.A. Jansen

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed  
Niet van toepassing

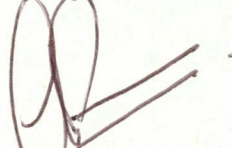
Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad  
januari 1993

Ondertekening



C.M.A. Jansen  
onderzoekleider

Goedgekeurd door



ir. C.M. Pietersen  
werkgroep leider



BIJLAGE 1

Beschrijving berekening confidence limits

### 3.6.2 Interval Estimation

We turn now to the problem of interval estimation. Two types of techniques are considered. First, we discuss confidence intervals (CI). Second, probability intervals (PI) as they relate to Bayesian inference are introduced, to be further considered in Section 5.5.3.

For confidence intervals the idea is to find two functions of the data, say  $L(\cdot)$  and  $U(\cdot)$ , so that prior to observing the sample there is a known probability that the parameter (or function of parameters) of interest, say  $\Omega$ , is contained in the interval  $[L(\cdot), U(\cdot)]$ . That is,

$$\Pr[L(\cdot) \leq \Omega \leq U(\cdot)] = 1 - \gamma, \quad 0 < \gamma < 1,$$

is a valid statement based on the sampling distribution of the data. After the sample is observed, the functions  $L(\cdot)$  and  $U(\cdot)$  yield two numbers, say  $L$  and  $U$ . We call the interval  $(L, U)$  a *two-sided confidence interval* (TCI) of level  $(1 - \gamma)$  or a  $100(1 - \gamma)\%$  confidence interval. Such an interval will be referred to as a  $100(1 - \gamma)\%$  TCI. The reasoning is as follows: Prior to obtaining the sample, the probability that the data obtained will yield an interval  $(L, U)$  containing the unknown point  $\Omega$ , is  $(1 - \gamma)$ . However, once the data are in hand, the values of  $L$  and  $U$  are fixed and the interval  $(L, U)$  either contains the point or *does not contain* the point  $\Omega$ . Thus, we speak of our *confidence* in the interval  $(L, U)$  as being  $100(1 - \gamma)\%$  and the  $(L, U)$  a  $(1 - \gamma)$  level confidence interval. *Upper one-sided confidence intervals* (UCI) or *lower one-sided confidence intervals* (LCI) which specify only an upper or a lower limit, respectively, are similarly defined.

In contrast to the above classical confidence interval where the parameter is assumed to be an unknown constant, the Bayesian views  $\Omega$  as an r.v. that has a known prior probability distribution, say  $g(\omega)$ . Then any two values of the variable,  $\Omega$ , say  $\omega_1$  and  $\omega_2$  such that

$$\Pr(\omega_1 \leq \Omega \leq \omega_2) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} g(\omega) d\omega = 1 - \gamma$$

is a  $(1 - \gamma)$  level *two-sided Bayes probability interval* (TBPI) for  $\Omega$ , which we denote by  $100(1 - \gamma)\%$  TBPI. If data are combined with the prior distribution by Bayes' theorem to provide a posterior distribution, say  $g(\omega|\cdot)$ , then we would use  $\omega_1$  and  $\omega_2$  such that

$$\Pr(\omega_1 \leq \Omega \leq \omega_2 | \cdot) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} g(\omega|\cdot) d\omega = 1 - \gamma$$

to determine a  $100(1 - \gamma)\%$  TBPI for  $\Omega$ . One-sided Bayesian probability intervals are similarly defined in Section 5.5.3.

The concepts of confidence intervals and probability intervals are now illustrated for two models, binomial and exponential. For the binomial data giving  $X$  successes in  $n$  tests, it can be shown that a  $100(1 - \gamma)\%$  TCI estimate of  $p$  is given by the following formulas:

$$\begin{aligned} L(x) &= \frac{x}{x + (n - x + 1)\mathcal{F}_{1-\gamma/2}(2n - 2x + 2, 2x)}, \\ U(x) &= \frac{(x + 1)\mathcal{F}_{1-\gamma/2}(2x + 2, 2n - 2x)}{(n - x) + (x + 1)\mathcal{F}_{1-\gamma/2}(2x + 2, 2n - 2x)}, \end{aligned} \quad (3.19)$$

where  $\mathcal{F}_{1-\gamma/2}(n_1, n_2)$  is the  $100(1 - \gamma/2)$ th percentile of the  $\mathcal{F}(n_1, n_2)$  distribution which is defined in (3.14). Table B4 in Appendix B gives values of  $\mathcal{F}_{\gamma}(n_1, n_2)$  for selected values of  $\gamma$ ,  $n_1$ , and  $n_2$ .