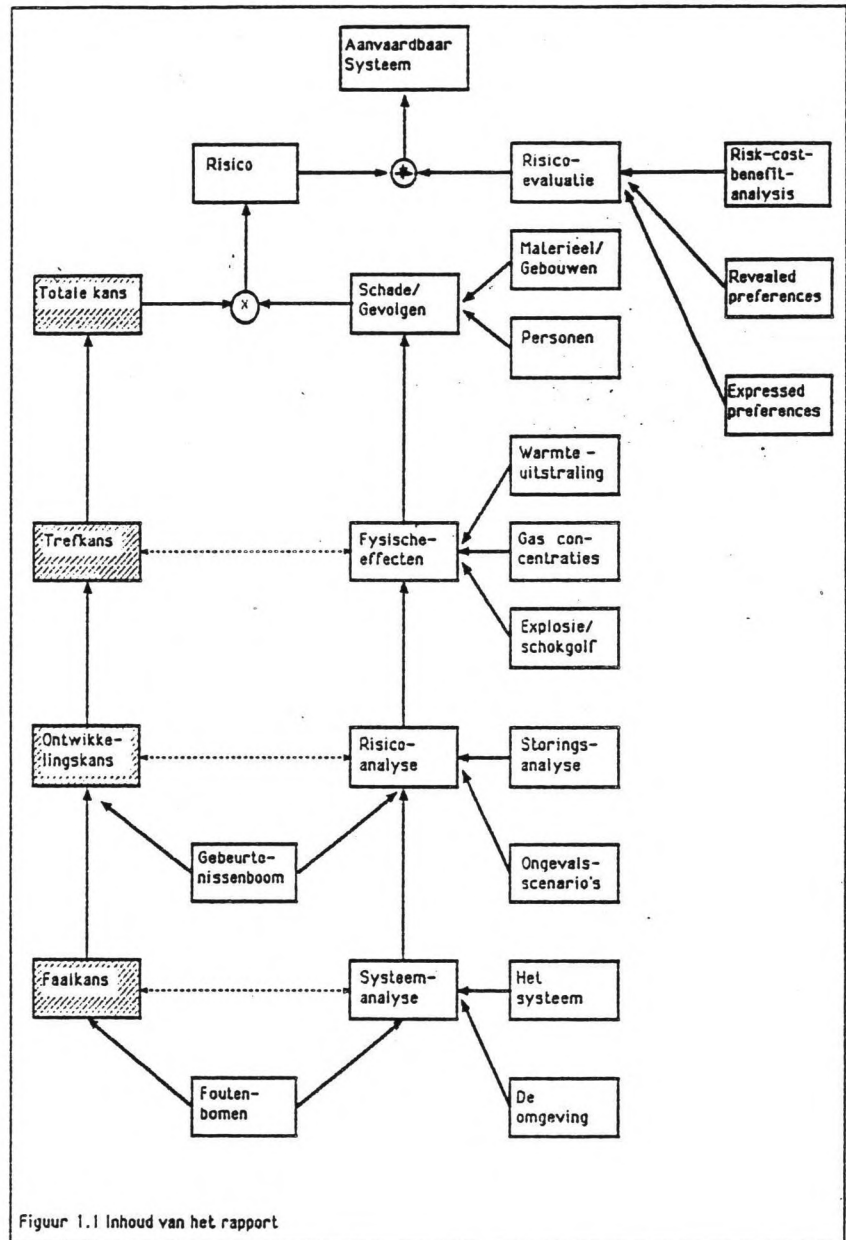


Veiligheidsstudie: onderdeel van de kwaliteitszorg

Augustus 1990

R.G. de Roos



2217.



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

Veiligheidsstudie:
onderdeel
van de
kwaliteitszorg

augustus 1990

Hoofdafstudeerrapport van:

Robert G. de Roos

Begeleiders:

Prof.ir. H. Velsink
Vakgroep Waterbouwkunde

Dr.ir. L.H.J. Goossens
Vakgroep Veiligheidskunde

Ir. R. Groenveld
Vakgroep Waterbouwkunde

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

Voorwoord

Delft, september 1990

Afstuderen, een geladen begrip, ik zou hier kort toe willen lichten welke inhoud ik aan het begrip afstuderen geef.

De volgende aspecten komen hierbij naar voren:

- het probleem "zoeken" en afbakenen
- literatuur onderzoek en leggen van contacten (informatie)
- kennis (uitwisseling)
- inventiviteit (de rode draad vinden)
- motivatie (vooral eigen)
- ontspanning (recapitulatie)
- rapporteren (een uitdaging)

Afstuderen is niet alleen een laatste toetsing of je op een academisch niveau kunt werken, maar vooral een laatste leerschool om zelfstandig een groot probleem te kunnen aanpakken.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met mijn twee hoofdbegeleiders. Met hun expertise, ervaring en onmisbare adviezen is dit rapport mede tot stand gekomen.

Hiervoor wil ik Prof.ir. H. Velsink en Dr.ir. L.H.J. Goossens hartelijk bedanken.

robert de roos

Inhoudsopgave Rapport.

26 augustus 1990

Samenvatting

Inhoudsopgave

Figuren en tabellen

1. Inleiding

1.1. Probleemstelling, 9

1.2. Doelstelling, 10

1.3. Werkwijze

2. De systeem-analyse

2.1. Het systeem

2.1.1. De terminologie, 11

2.1.2. Relatie tussen diepgang en projectfase, 14

2.1.3. Globale indeling sub-systemen, 20

2.2. De omgeving

2.2.1. Het opslag terrein, 22

2.2.2. Klimatologische en andere gegevens, 24

2.2.3. Terrein en omgevingskenmerken, 25

3. Identificatie ongewenste gebeurtenissen

3.1. Ongewenste gebeurtenissen, 27

3.2. Risico-analyse technieken

3.2.1. Een overzicht, 28

3.2.2. DOW Fire and explosion index, 29

3.2.3. De boomanalyses, 31

3.3. Ongevalsscenario's

3.3.1. De strategie, 33

3.3.2. Eigen ongevalsscenario's, 35

3.3.3. De referentie tabellen, 37

4. Bepaling mogelijke fysische-effecten

4.1. Inleiding, 38

4.2. Specificatie van de sub-systemen

4.2.1. Het tankpark, 38

4.2.2. De pijpleidingen, 44

4.2.3. De tankschepen, 45

4.3. Chemische stoffen

4.3.1. De hoeveelheid chemische stoffen, 46

4.3.2. Indeling van de beschouwde stoffen, 47

4.3.3. Grenswaarden voor gevaarlijke stoffen, 48

4.3.4. De stofeigenschappen, 50

5. Berekening van de mogelijke fysische effecten

- 5.1. Het computerprogramma, 51
- 5.2. De uitstromingsmogelijkheden
 - 5.2.1. Damp- en gaswolkuitstroming, 52
 - 5.2.2. Vloeistofuitstroming, 53
 - 5.2.3. Verdamping, 54
- 5.3. Warmteuitstraling
 - 5.3.1. De BLEVE, 56
 - 5.3.2. De fakkel, 57
 - 5.3.3. De Plasbrand, 57
- 5.4. Damp concentratie
 - 5.4.1. Inleiding, 58
 - 5.4.2. Semi-continue dispersie, 58
 - 5.4.3. Instantane dispersie, 59
- 5.5. Explosie berekeningen
 - 5.5.1. Inleiding, 60
 - 5.5.2. De berekening, 60

6. Risico

- 6.1. Risico, 61
- 6.2. Risico-evaluatie, 63
 - 6.2.1. Kansbegrip in de risico-analyse, 66
- 6.3. Risico beheersing, 67
- 6.4. Conclusies en aanbevelingen, 68

Literatuurlijst, 69

Personenlijst, 72

Bijlage

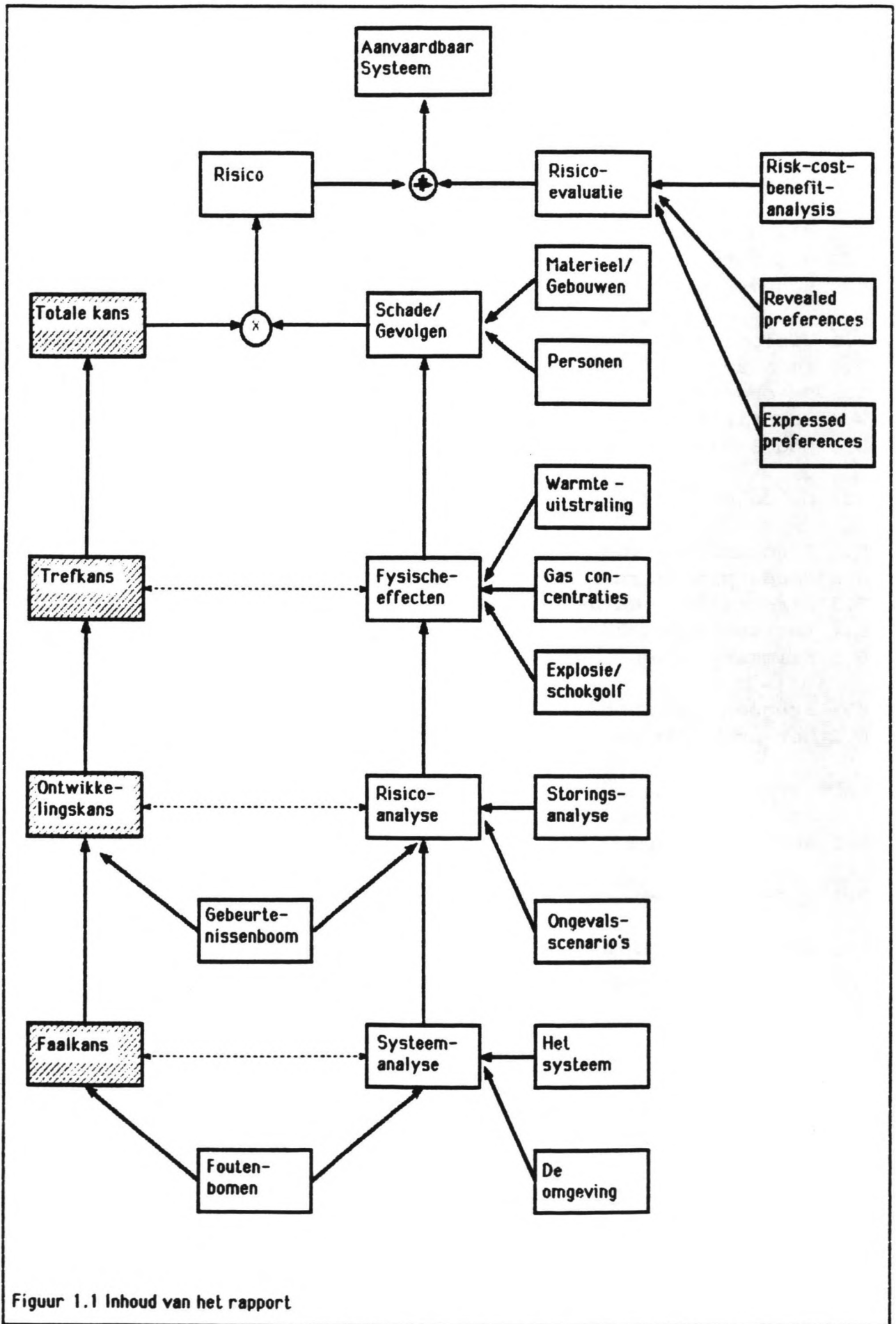
- Programmahandleiding
 - Veiligheids cursus
-

Figuren

- 1.1 Stroomschema rapport
- 2.1 Systeem
- 2.2 Sub-systeem
- 2.3 Planningsfasen
- 2.4 Het totale havensysteem
- 2.5 Schematische weergave overslaginstallatie
- 3.1 Risico-kromme
- 3.2 Fire and explosion index
- 3.3 De ongevallen strategie
- 3.4 Identificatieschema uitstroming
- 3.5 Model van een tank
- 4.1 Gekoelde tank
- 5.1 Stroomschema van "het Gele boek"
- 5.2 Verdampingsvormen
- 5.3 Directe ontsteking bij uitstroming
- 5.4 Verspreiding van stof
- 5.5 Klimaatklassen
- 6.1 Frequentiecurven uit risicostudies
- 6.2 Het principe van kanstoekenning in risicostudies

Tabellen

- 2.1 Aantal personen in een bepaalde omgeving
 - 3.1 DOW-fire index
 - 5.* Resultaten van het computerprogramma "FYSEFF"
-



Figuur 1.1 Inhoud van het rapport

Samenvatting

Bij de opslag en overslag van gevaarlijke stoffen in een haven moet bij het doorlopen van alle ontwerp en lokatiekeuze-aspecten speciale aandacht worden besteed aan de veiligheidsaspecten. Bij gevaarlijke stoffen wordt gedacht aan stoffen die giftig, brandbaar of explosief zijn als ze in een bepaalde concentratie in de lucht aanwezig zijn.

Om uiteindelijk tot een aanvaardbaar risiconiveau voor een bepaald systeem te kunnen komen, worden de volgende fasen in de achtereenvolgende hoofdstukken doorlopen.

In hoofdstuk 2 moet het beschouwde systeem in een model gezet worden. Hierbij moet de omgeving, het klimaat en de geotechnische gegevens uitgezocht worden. De mate van gedetailleerdheid van deze beschrijving wordt hoofdzakelijk bepaald door de project-fase waarin de veiligheidsstudie wordt opgestart.

In hoofdstuk 3 wordt getracht door middel van brainstorm-technieken zicht te krijgen op alle mogelijke ongewenste begin- gebeurtenissen, (het bezwijken van een component, een menselijke fout, brand etc.) die de goede werking van het systeem zouden kunnen beïnvloeden. In deze fase wordt ook onderzocht wat de mogelijke reacties van het systeem op elke ongewenste begin- gebeurtenis kan zijn. Eén van de instrumenten hiervoor is de gebeurtenissenboom, die op logische wijze het verband vastlegt tussen één begingebuurtenis en alle mogelijke daarop volgende reacties van het systeem.

In hoofdstuk 4 wordt bestudeerd op welke wijzen een ongewenste reactie van het systeem tot stand kan komen. Een manier om tot een ongewenste gebeurtenis te komen is de faal- oftewel fouten-boom. De sub-systemen moeten verder gespecificeerd worden. En nu moet ook uitgezocht worden wat de karakteristieke grootheden en de eigenschappen van de stof zijn om zo zicht te krijgen op de mogelijke fysische effecten.

In hoofdstuk 5 volgt de bepaling van de grootte van de daaruit voortvloeiende fysische effecten. Er wordt onder andere gekeken naar warmte-uitstraling door brand, een schokgolf door een chemische of fysische explosie en de concentratie verdeling in de gedispergeerde damp- of gaswolken. Daarna moet de schade vastgesteld worden die daardoor kan worden veroorzaakt.

In hoofdstuk 6 van de veiligheidsstudie wordt de kans op de ongewenste topgebeurtenis berekend. Deze kans is opgebouwd uit:

- de kans op falen van de mens en/of apparatuur (faalkans)
- de kans dat dit falen leidt tot het optreden van de betreffende fysische effecten (ontwikkelingskans)
- de kans op blootstelling aan deze effecten (trefkans)

Dit kan met behulp van een berekening en/of puttend uit databanken waarin empirische gegevens over de faalfrequenties van allerlei componenten zijn opgeslagen. Daarna wordt volgens de conventies van de waarschijnlijkheidsleer de kans op falen van het gehele systeem vastgesteld.

Tot slot zal er een risico-evaluatie plaatsvinden waarin getracht zal worden om een beeld te krijgen van de problemen die zich hier voordoen.

1. Inleiding

1.1. Probleemstelling

Bij projecten voor het ontwerpen, of het inrichten van een haven-terrein is de veiligheidszorg van groot belang. Een onderdeel van de veiligheidszorg is de gevaarlijke stoffen problematiek.

Met gevaarlijke stoffen worden in dit rapport stoffen bedoeld die in de vorm van explosies, warmte uitstraling of (toxische) concentraties in de lucht schadelijke invloed kunnen hebben op de gebouwen, het milieu en de mensen in de omgeving. Deze ongewenste gebeurtenissen worden fysische-effecten genoemd.

Als deze stoffen op- of overgeslagen moeten worden, is het gewenst om in een vroeg stadium van de planning zicht te krijgen op de volgende drie aspecten:

- de mogelijke fysische effecten
- de schade die door deze effecten worden veroorzaakt
- en de kans dat een effect optreedt

In de beginfase van de planning kunnen namelijk nog gemakkelijk aanpassingen en verbeteringen doorgevoerd worden. De bestudering van deze effect-schade-kans cyclus wordt voortaan een veiligheidsstudie genoemd.

Specifiek gericht op havenactiviteiten betekent dat, als er bij een haventerminal of een haven in zijn geheel gevaarlijke stoffen op- en overgeslagen worden, een veiligheidsstudie opgestart zal worden. Bij de afronding van het project zal de voltooide veiligheidsstudie kunnen dienen voor de aanvraag van verschillende vergunningen bij de overheid.

Alle aspecten van een veiligheidsstudie zullen geïnventariseerd en samengevat moeten worden. Een ontwerper zal dan een op zijn probleem geënte veiligheidsstudie op kunnen zetten, rekening houdend met de fase waarin het project zich bevindt.

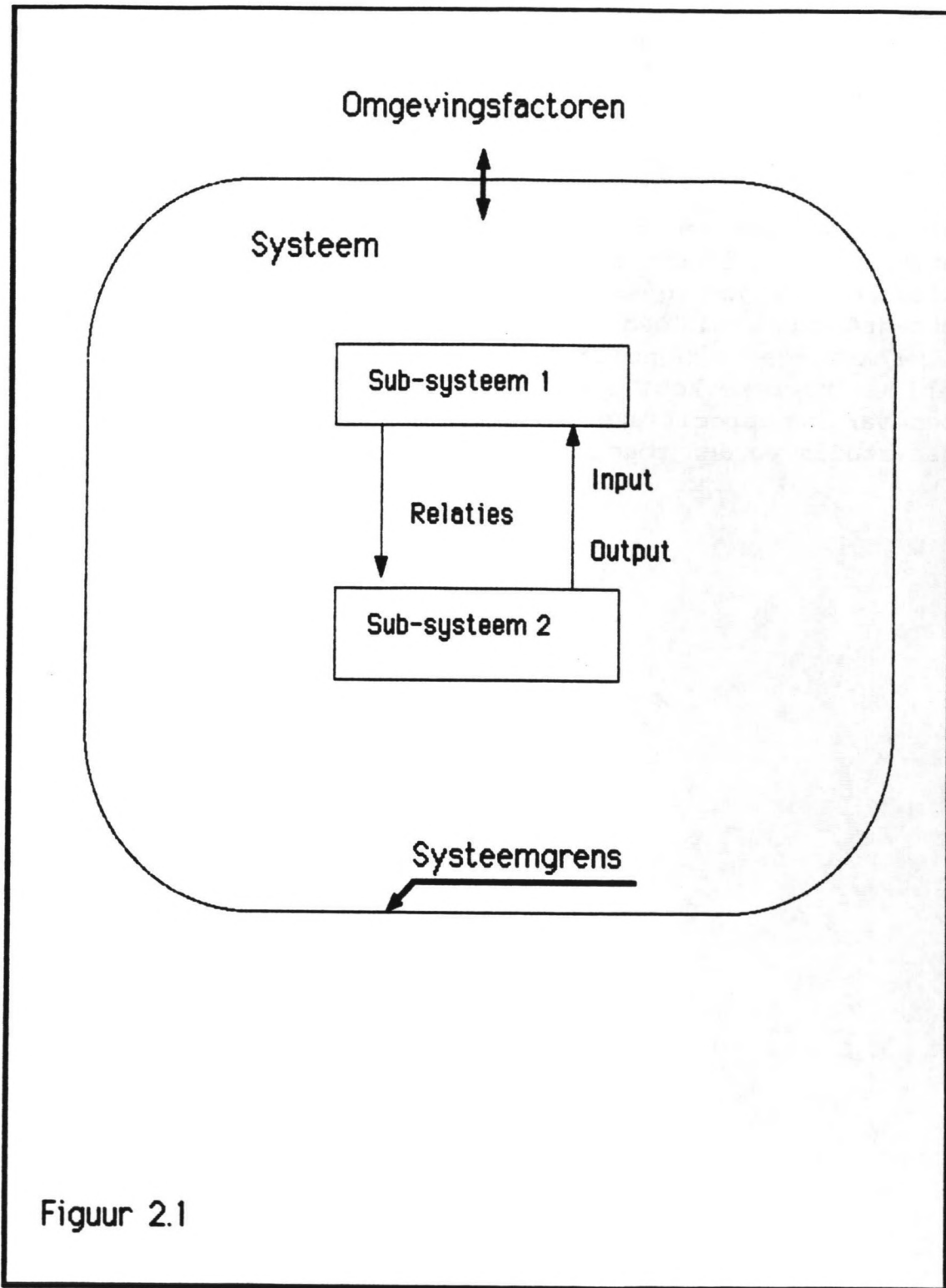
Hiervoor moeten alle onderdelen van deze studie zodanig gepresenteerd worden dat de ontwerper met het gegeven raamwerk tot een aanvaardbaar risiconiveau kan komen. In dit rapport moet duidelijk worden welke stappen in een specifieke veiligheidsstudie uitgebreid, welke beknopt en welke geheel weggelaten kunnen worden.

Ter verduidelijking van het gegeven raamwerk zullen, door middel van een case-studie op een nieuw te ontwerpen haven te

Ennore in India, de verschillende aspecten en stadia van een in de initiatieffase opgezette veiligheidsstudie nader worden toegelicht.

1.2. Doelstelling

Het ontwikkelen van een raamwerk voor een zo algemeen mogelijk opgezette veiligheidsstudie, waarbij alle aspecten op een chronologische wijze gestructureerd zullen worden. Bij de fysische-effecten zal een computerprogramma gebruikt worden, om de berekeningen die nodig zijn voor een effect-analyse tot een minimum te beperken. Als laatste zullen de verschillende aspecten van een specifieke veiligheidsstudie aan de hand van een case-studie worden toegelicht.



Figuur 2.1

2. De systeem-analyse

2.1. Het systeem

2.1.1. De terminologie

In het eerste gedeelte van dit hoofdstuk wordt beoogd om een te onderzoeken systeem in een model te zetten.

Onder een systeem wordt hier verstaan een verzameling elementen, ook wel componenten genoemd, die in onderlinge wisselwerking functioneren en afgescheiden kunnen worden van de omgeving van het systeem. Deze afscheiding geeft een systeemgrens aan en kan een in de tijd constante in- en output hebben.

Met het model wordt een vereenvoudiging, in de zin van simpeler en niet kleiner, van het werkelijke systeem bedoeld.

In dit rapport wordt met het systeem het droge en natte gedeelte van de haven bedoeld waar de opslag, overslag danwel ander transport van gevaarlijke stoffen een rol spelen. Het totale systeem kan daardoor bestaan uit de volgende sub-systemen: het tankpark, de overslagfaciliteiten, de zeeschepen enzovoort.

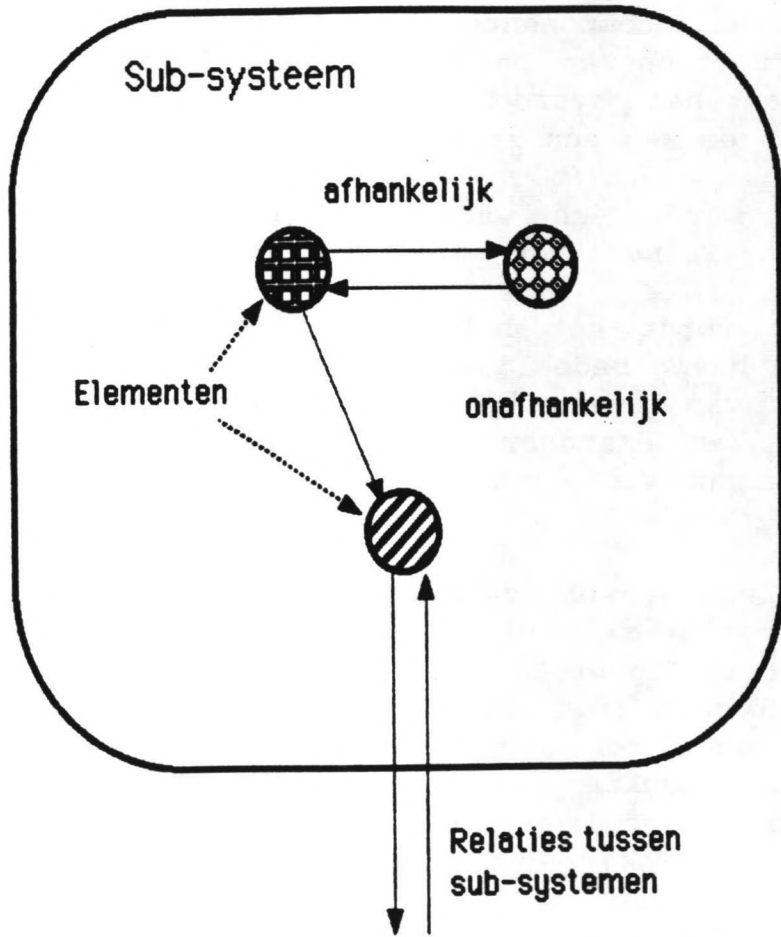
Als eerste zullen de sub-systeemgrenzen worden vastgesteld. Daarvoor zal eerst de relatie tussen de sub-systemen onderling bepaald worden (zie figuur 2.1).

Het eerste geval doet zich voor als de relatie tussen de sub-systemen min of meer constant in de tijd is. Bijvoorbeeld de constante stroom produkten tussen de fabriek en de plaats waar de stoffen worden opgeslagen, het tankpark. Dan kan het ene sub-systeem (de fabriek) gebruikt worden voor het bepalen van de in- en output van het andere sub-systeem (het tankpark). De relatie en de grenzen tussen deze twee sub-systemen kunnen dan makkelijk bepaald worden.

Deze onderlinge relatie kan zo complex zijn dat aparte beschouwing van de sub-systemen te veel randvoorwaarden zal opleveren. De twee sub-systemen worden dan tot één sub-systeem samengevoegd.

Als de relatie wel tijdsafhankelijk is kunnen zich twee gevallen voordoen:

- a Als een bepaald sub-systeem verschillende randvoorwaarden onder bepaalde specifieke variabele omstandigheden heeft, dan kan dit sub-systeem apart beschouwd worden, maar zullen er voor alle omstandigheden van dit sub-systeem specifieke



Figuur 2.2

randvoorwaarden opgesteld worden. Bijvoorbeeld tijdens het lossen, het laden en het niet gebruiken van de laad- en lossystemen.

- b Als de tijdsafhankelijkheid zo random is dat het gedrag van het ene sub-systeem constant het gedrag van het andere sub-systeem beïnvloedt, dan moeten deze twee sub-systemen, zoals hierboven al is vermeld, tot één sub-systeem worden samengevoegd.

Door het vaststellen van de projectdoelen kan besloten worden om bepaalde sub-systemen, in acht nemend de voorwaarden die hiervoor zijn genoemd, alleen als randvoorwaarden voor de te onderzoeken sub-systemen op te nemen. Het sub-systeem dat de randvoorwaarden verschaft zou dan als systeemgrens kunnen fungeren.

Een simpel voorbeeld daarvan is dat voor de veiligheidsstudie van een haven de scheepvaart buiten de haven als input voor het totale systeem, de haven, kan dienen en niet als sub-systeem wordt meegenomen. De denkbeeldige systeemgrens wordt dan bij de haveningang gelegd.

Bij de definitie van de systeemvariabelen, oftewel het bepalen van de componenten en de onderlinge verhoudingen van die componenten in het model, spelen de volgende factoren een rol:

- a De fase waarin het project zich bevindt. Daar wordt in de volgende paragraaf uitvoerig op ingegaan.
- b Of de systeemvariabelen al dan niet afhankelijk zijn.

ad.b

In termen van veiligheid bij de terminalindeling of bij de bepaling van de onderlinge afstanden van de componenten, gaat het om de afhankelijke systeemvariabelen die de gevolgen weergeven van component 1 op component 2.

Bij onafhankelijke variabelen (zoals de hoeveelheid en soort gevaarlijke stof) gaat het om de specificatie van de elementen (zie figuur 2.2).

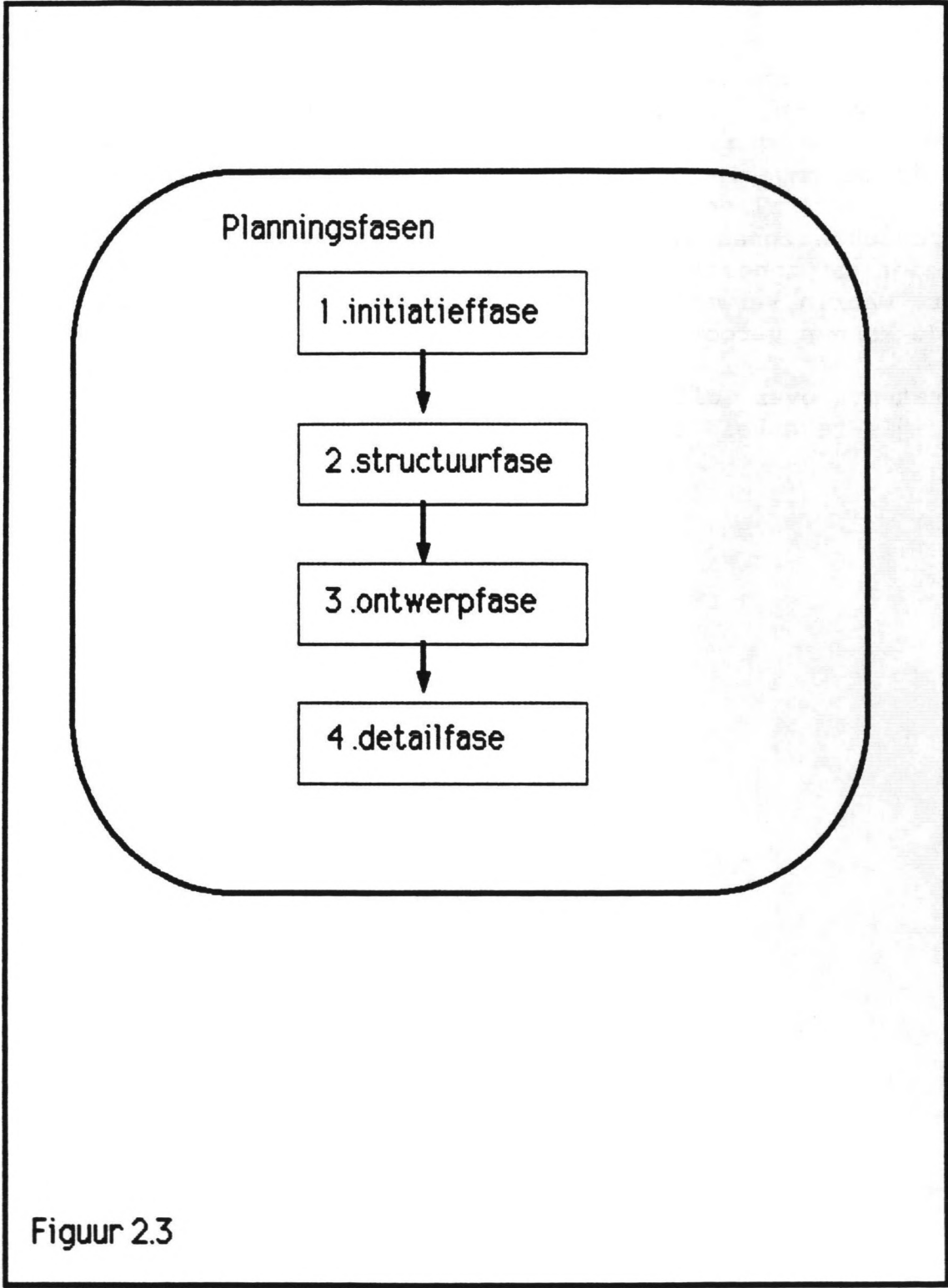
Bij de detaillering van een sub-systeem gaat het om de afhankelijke systeemvariabelen die binnen dat sub-systeem invloed hebben. Bijvoorbeeld een te hoog pompdebiet kan veroorzaken dat de tank tot boven zijn capaciteitsgrens gevuld wordt.

De mate van detaillering van de sub-systemen kan sterk uiteenlopen. Bij het opzetten van een globale havenindeling, waarbij de onderlinge afstanden van de sub-systemen van belang

zijn, zal volstaan kunnen worden met een simpel model zonder uitwerking van alle details, zoals koppelingen, afsluiters en ventielen.

Tot slot zullen de omgevingsfactoren van het systeem bekeken moeten worden, zoals de klimatologische condities, de geotechnische gegevens en de gegevens van de populatie die zich in de omgeving ophouden c.q. verblijven. Met de omgeving wordt niet alleen het havengebied bedoeld, maar alle aangrenzende zones waarin gevaarlijke stoffen een rol spelen. Dat zijn de zones van de aan- en afvoerroutes te land en te water, waarin verwacht kan worden dat de fysische effecten nog schade kunnen veroorzaken.

Literatuur over dit onderwerp is te vinden in het boek "Bedrijfs-zekerheid theorie en techniek" [1].



Figuur 2.3

2.1.2. De diepgang van een projectfase

Zoals in de inleiding al naar voren is gekomen is het belangrijk om te weten in welke fase van het project met de studie wordt begonnen. Voor de indeling in fasen wordt het vak "project organisatie" [2] gebruikt. Hierin worden de volgende planningsfasen onderscheiden (zie ook figuur 2.3):

- 1 het vooronderzoek
- 2 de structuurfase
- 3 de ontwerpfase
- 4 de detailfase

Daarna zijn de volgende fasen te onderscheiden:

- 5 de commissieeringsfase
- 6 de installatiefase
- 7 de operationele fase; start up; productie

Vooraf de operationele fase is qua risico uitermate interessant, de menselijke fouten spelen hier een belangrijke rol. In een veiligheidsstudie wordt getracht om de fouten die in de operationele fase gemaakt worden, ongeacht welke fout, dat de gevolgen op de omgeving beperkt worden. In het kader van dit afstudeerwerk zal niet verder op dit onderwerp worden ingegaan.

Elke fase heeft zijn specifieke aanpak niet alleen in de gedetailleerdheid maar ook in de gewenste resultaten. De gewenste resultaten samen met de gegevens, die in de fase bekend kunnen worden verondersteld, bepalen de diepgang in die fase. Uitsplitsing van de resultaten worden gegeven in het boek "De efficiency en effectiviteit van risicostudies" [3]. Deze aspecten zullen nu voor de verschillende fasen kort worden toegelicht. Elke fasebeschouwing wordt gesplitst in drie onderdelen:

- a een definitie van de inhoud van de fase
- b de uitsplitsing van de gewenste faseresultaten
- c de gevolgen voor de diepgang in die fase

ad.1. Het vooronderzoek of initiatiefase.

In het vooronderzoek zijn er nog geen beperkingen opgelegd omtrent overheidsvoorschriften en eisen van de opdrachtgever. Het probleem kan zich voordoen dat bepaalde gebieden aangewezen moeten worden voor de ontwikkeling van toekomstige activiteiten. In deze fase, waarin de vestigingsbeslissing een

grote rol speelt, zullen de grotere potentiële effecten van een eenvoudig model worden bekeken.

Voor het verdere verloop van het project zijn de resultaten van dit vooronderzoek van groot belang. De gewenste resultaten kunnen worden gesplitst in de volgende onderdelen:

- De grootte van het gebied, dat bedreigd wordt.
- De aard van de bedreiging; karakterisering van de risico's.
- De risico's ten aanzien van transportstromen (aan- /afvoer).
- Het aantal personen dat gevaar loopt bij een bepaalde calamiteit.
- De omvang van de materiële schade.

De vraag wat de waarschijnlijkheid van deze effecten is, wordt alleen in kwalitatieve termen gesteld. Een probabilistische berekening kan in deze fase nog buiten beschouwing gelaten worden.

Aan het einde van deze fase kan de vestigingsbeslissing genomen worden. Een vergunning wordt nu nog niet verleend, dat kan pas aan het einde van de volgende fase.

De volgende punten moeten voor deze resultaten in de beschouwing opgenomen worden:

- a In deze fase is het nog niet nodig om een gedetailleerd model te maken, waardoor faalscenario's met kleinere fysische effecten nu nog buiten beschouwing kunnen worden gelaten.
- b Voor de lokatiekeuze en in mindere mate de terreinindeling, is het van belang te kijken tot waar de sub-systeem overschrijdende fysische-effecten invloed hebben. Het is nu al wel mogelijk om op deterministische basis de waarschijnlijkheid van deze effecten te bepalen. De kans wordt dan meer in kwalitatieve termen gesteld. Voor het creëren van ongevals-scenario's wordt in paragraaf 3.1 uitgebreider ingegaan.
- c In dit stadium zijn de plannen nog makkelijk te veranderen, maar de soort en de hoeveelheid stof blijft nagenoeg hetzelfde. Een keuze die nu gemaakt zou kunnen worden is of er voor één maand stof in opslag wordt gehouden of langer in verband met vertragingen die kunnen ontstaan in de aan- en afvoer van de stoffen.
- d Het project is nog niet gespecificeerd, en er is nog weinig over de procesbeveiliging en de systeembeveiliging bekend. Hierdoor kunnen kleinere fysische-effecten nog buiten beschouwing gelaten worden. Bijvoorbeeld de plasbrand, die

alleen op het bedrijfsterrein zelf effect heeft en dus buiten het sub-systeem geen invloed heeft. Maar de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), die alleen optreedt bij drukopslag, moet wel in de beschouwing opgenomen worden. Een BLEVE heeft buiten de sub-systeem grenzen wel invloed. Op deze twee fysische-effecten wordt in hoofdstuk 5 verder ingegaan.

De structuurfase.

Bij de structuurfase zijn de basiseisen en de functionele uitgangspunten van de opdrachtgever bekend. De lokatie staat nu vast, waardoor de omgevingsfactoren bekend zijn. In deze fase zijn de terreinindeling en de onderlinge plaatsing van de componenten binnen het sub-systeem de aandachtspunten.

In deze fase moet de beslissing genomen worden over de vergunningverlening. In Nederland bijvoorbeeld moet rekening gehouden worden met:

- de Arbeidsomstandighedenwet
- de Wet Ruimtelijke Ordening

Indien de vergunning verleend wordt en de omstandigheden voldoen niet aan de geldende criteria zal een arbeidsveiligheidsrapport moeten worden opgesteld.

Als resultaat van deze fase worden een scala van normen, richtlijnen en overheidsmaatregelen in de planning opgenomen. De volgende informatie is nu gewenst:

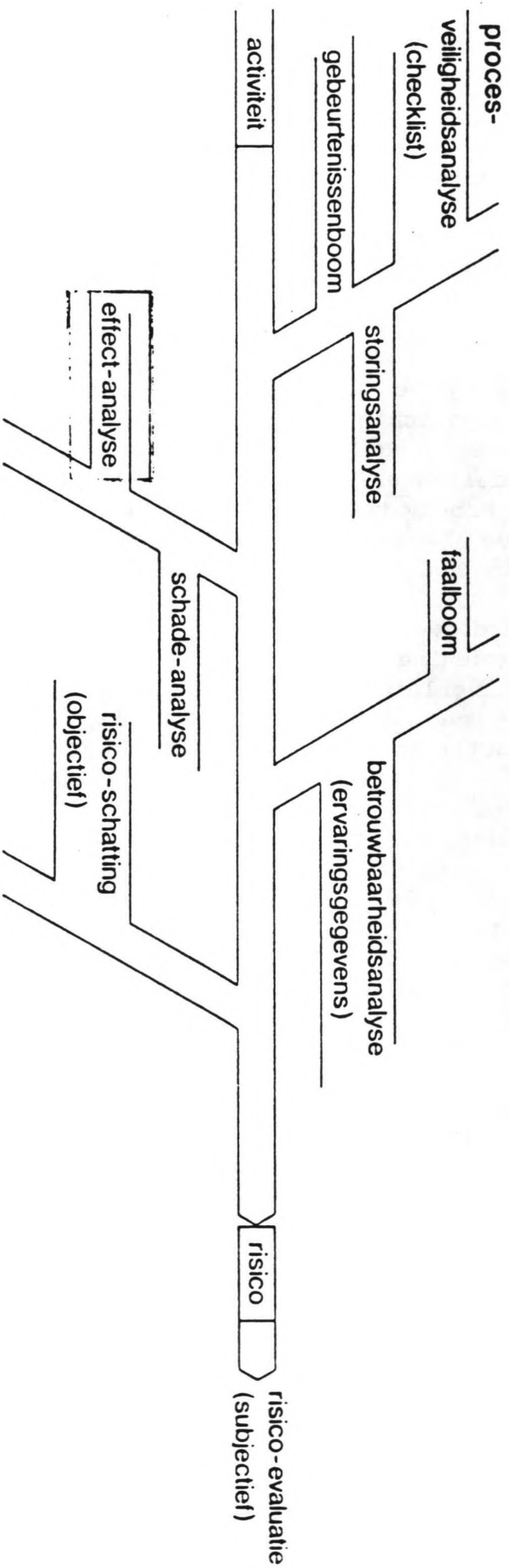
- De afstand waarop voor de gezondheid schadelijke geachte effecten kunnen ontstaan.
- Technische veiligheidsmaatregelen en uitvoeringsvormen, waarbij het ontstaan van calamiteiten en de gevolgen daarvan zoveel mogelijk beperkt worden.
- Vaststellen van de faal- en ongevalsscenario's die relatief de grootste problemen leveren voor evacuatie.
- Vaststellen welke transportroutes worden gebruikt en welke risico's dit met zich meebrengt.

De volgende punten moeten hiervoor in de beschouwing opgenomen worden:

- a In deze fase wordt vaak gewerkt met de DOW fire and explosion index methode om zicht te krijgen op de te treffen maatregelen (zie uitleg paragraaf 3.2.1.1.).
- b In deze fase worden ook de kleinere fysische effecten meegenomen, deze hebben een grotere kans van voorkomen.
- c In deze fase komen de grote lijnen van normen, richtlijnen en overheidsmaatregelen aan de orde. Deze

identificatie van
ongewenste gebeurtenissen

kwantificering van de kans op schade ten gevolge van
de geïdentificeerde ongewenste gebeurtenissen



kwantificering van de gevolgen van de geïdentificeerde
ongewenste gebeurtenissen

kwantificering van het risico
van de activiteit

veiligheidsaspecten kunnen onderverdeeld worden in bijvoorbeeld de soort opslagtanks, de afscheiding tussen de tanks onderling, scheiding tussen mensen en de gevaarlijke stoffen en de uitsplitsing van de rampenbestrijdingsmiddelen zoals specifieke stoffen voor het blussen van een chemische brand, wegen voor de brandweer en een rampenplan voor het bedrijf en de omgeving.

De ontwerpfase.

De ontwerpfase heeft tot doel om een bestek op te zetten waarmee het project kan worden uitgevoerd. Hiervoor wordt ook de uitvoering nader gespecificeerd. Daarna leiden de specificaties per component tot de keuze van materialen en constructies.

De details die voortkomen uit de normen van de overheid en de richtlijnen van de opdrachtgever worden nu nader uitgewerkt.

Bij componenten wordt bijvoorbeeld een volledige pomp bedoeld die door een bepaalde fabriek wordt geleverd. Die pomp hoeft dan niet verder in onderdelen te worden uitgesplitst, wel moet aangegeven worden wat voor soort pomp er gebruikt gaat worden.

Van die componenten wordt een "Mean Time to Failure" meegegeven door de producent, deze waarde kan als basis gebruikt worden voor de faalkans berekening. Er moet rekening mee gehouden worden dat in het algemeen de waarde die opgegeven wordt door de fabriek te optimistisch is.

Deze fase heeft de meest uitgebreide veiligheidsstudie als resultaat. De volgende onderdelen moeten hier zeker in verwerkt zijn:

- Een volledige systeem-analyse bestaande uit:
 - a beschrijving van het systeem
 - b beschrijving van de omgeving
- Een risico-analyse:
 - a storingsanalyse
 - b ongevalsscenario's
- Specificatie van de fysische-effecten
 - a warmte-uitstraling
 - b gasconcentraties
 - c explosies
- Een risico-evaluatie:
 - a Risk-cost-benefit-analysis
 - b Revealed preferences
 - c Expressed preferences

Al deze onderdelen zijn in het stroomschema van figuur 1.1 weergegeven.

Een belangrijk aspect in deze fase wordt nu ook de kans, deze is opgebouwd uit:

- de kans op falen van de mens en/of apparatuur (faalkans)
- de kans dat dit falen leidt tot het optreden van de betreffende fysische-effecten (ontwikkelingskans)
- de kans op blootstelling van deze effecten (trefkans)

De volgende punten moeten hiervoor in beschouwing worden genomen:

- a Eerst wordt er meestal een zogenaamde "HAZard and Operability" (HAZOP) studie uitgevoerd. Deze studie wordt ook wel een storingsanalyse genoemd en is een systematisch onderzoek naar alle voorzienbare afwijkingen van een normale procesvoering. Deze studie haalt de ontwerpfouten uit het ontwerp en levert tevens een groslijst op van ongevalsscenario's.
- b In deze fase komt de model beschrijving het dichtst bij de werkelijkheid oftewel het beschouwde systeem. Op basis van de uitgevoerde storingsanalyse kunnen er gebeurtenissenbomen opgesteld worden, aan de hand waarvan de veiligheidssystemen nader uitgewerkt kunnen worden.
- c Als een volledige kwantitatieve risico-analyse gewenst, danwel vereist is, gaan de foutenbomen een belangrijke rol spelen. Bij alle componenten in de foutenboom zullen faalkansen gezet moeten worden. De ontwikkelingskansen en de trefkansen zullen gespecificeerd moeten worden. Door daarna de kans maal gevolg van elke gebeurtenis te bepalen kan het risico van het totale systeem bepaald worden.

De detailfase.

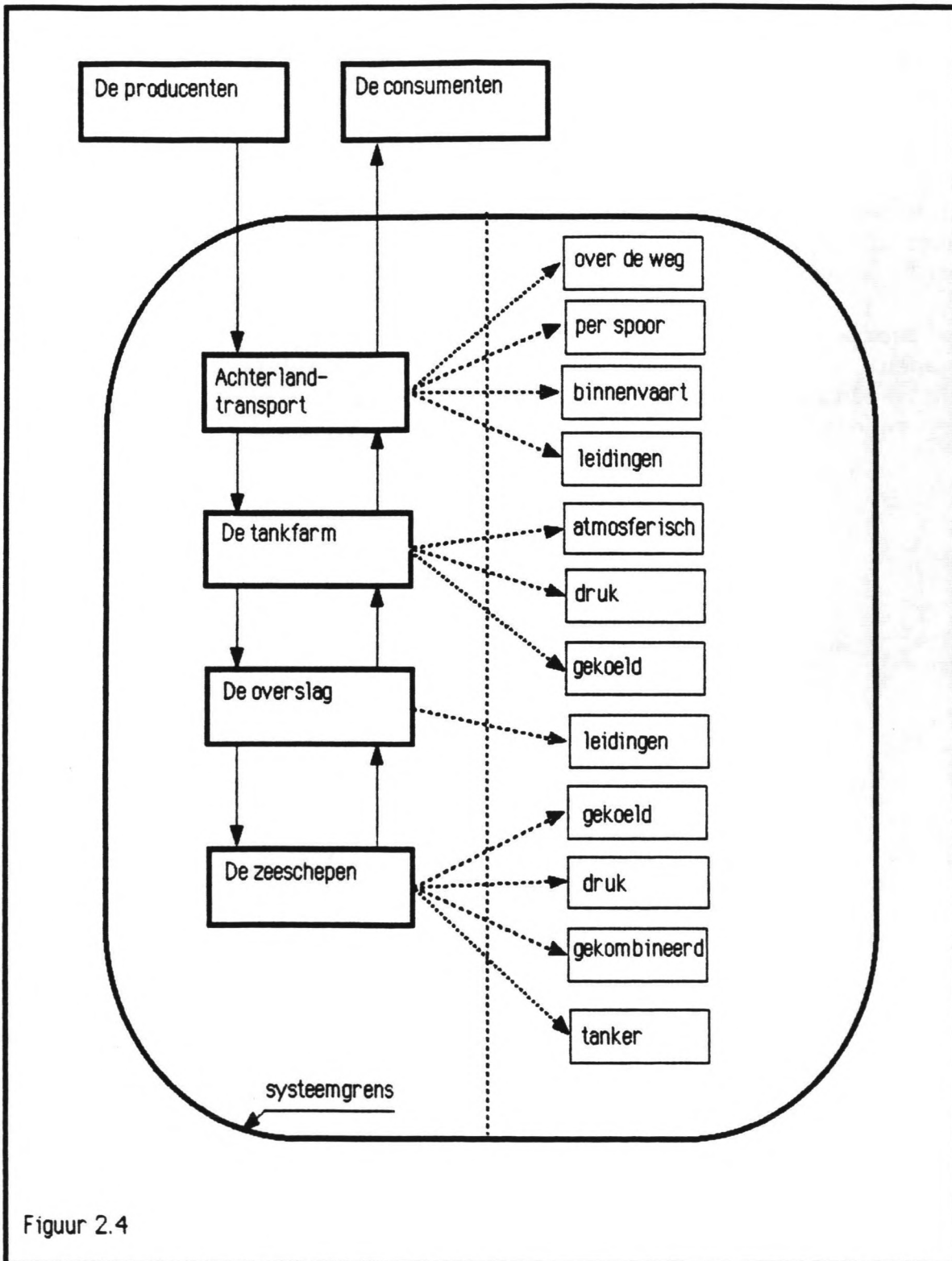
Bij de detailfase wordt er een complete produktbeschrijving gegeven. Het ontwerp wordt zodanig vertaald dat het uitgevoerd kan worden. Daarna is het een kwestie van procesbeheersing en het bewaken van gestelde eisen in de produktiefase.

In Nederland moeten aan de volgende wettelijke regelingen gehouden worden (afhankelijk van de situatie):

- 1 Wet selectieve investeringsregeling
- 2 Wet inzake de luchtverontreiniging
- 3 Hinderwet
- 4 Ontgrondingswet
- 5 Wet Ruimtelijke Ordening

De ontwerper heeft dan zijn werk gedaan en neemt het management van het verantwoordelijke bedrijf, de beheersing van de veiligheidsaspecten op zich. Op deze fasen wordt in het kader van dit afstuderen niet verder ingegaan.

Het totale systeem met de verschillende sub-systemen



Figuur 2.4

2.1.3. Globale indeling van de sub-systemen

In deze paragraaf zal een korte uiteenzetting gegeven worden van een logische indeling van de sub-systemen. Voor de indeling wordt de "route" gebruikt die de produkten volgen. Er zijn dan twee mogelijke benaderingen namelijk:

- Het produkt wordt ingevoerd en moet naar het achterland vervoerd worden.
- Het produkt komt uit het achterland van de haven, en moet over zee verder vervoerd worden.

De volgorde van de eerste benadering wordt hieronder weergegeven, de tweede benadering kan gevonden worden door de gegeven volgorde om te keren:

- 1 de zeeschepen
- 2 de overslagleidingen
- 3 het tankpark
- 4 het achterland transport

In figuur 2.4 staan de twee benaderingen schematisch weergegeven. Bij elk sub-systeem staan enkele mogelijke hoofdelementen vermeld. Voor elk sub-systeem zal de benodigde informatie opgesomd worden. Voor elk sub-systeem zullen zich weer andere problemen voordoen en zal het accent op een andere plaats komen te liggen.

De sub-systemen:

1. de zeeschepen

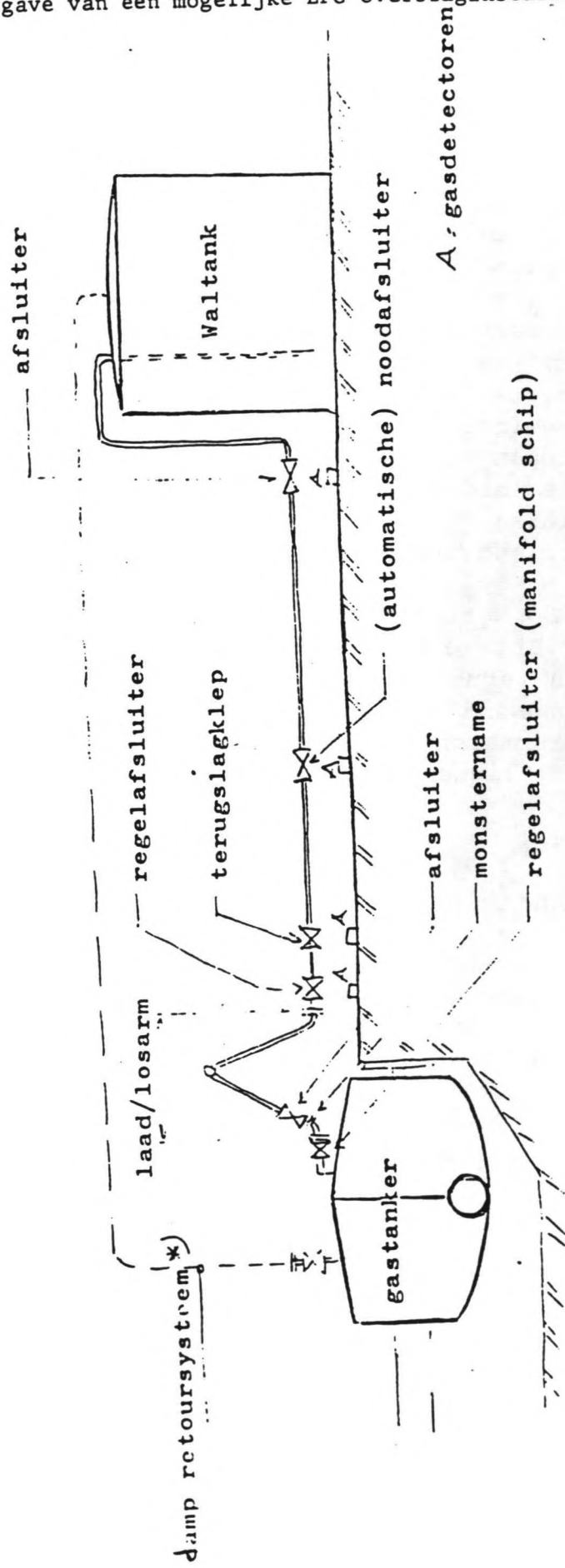
Er zal een scheepvaartstudie opgestart moeten worden. Het aantal, de grootte en de soort schepen moet uitgezocht worden. De schepen kunnen in de volgende hoofdtypen voorkomen:

- a gekoelde tanks
- b druktankers
- c gecombineerd (druk en gekoeld)
- d normale atmosferische druk

De grootte van de afzonderlijke tanks in de schepen zijn bepalend voor de effectafstanden. Deze afstanden zijn van belang voor de lokatiekeuze.

Het aantal aanlegplaatsen moet uitgezocht worden.

Schematische weergave van een mogelijke LPG-overslaginstallatie.



*) Afhankelijk van de opslagsystemen van het schip en de walinstallatie kan in sommige gevallen van het dampretoursysteem gebruik worden gemaakt bij het laden van een gastanker.

Figuur 2.5

2.de overslagleidingen

- Het aantal leidingen en de diameter van de leidingen moet bepaald worden.
- De aansluiting met de schepen moet bepaald worden (manifold).
- De speciale constructie van de kade m.b.t. de plaatsing van de leidingen.

In eerste instantie moet de afstand tussen de leidingen en het tankpark aangenomen worden. Later als er meer inzicht in de effect-afstanden is kan deze afstand aangepast worden. Dit sub-systeem is belangrijk voor de lokatie keuze omdat blijkt dat bij de overslag de meeste fouten worden gemaakt.

3.het tankpark

In het tankpark moet uitgezocht worden hoeveel en welke soort stoffen daar opgeslagen zal worden.

Voor de wijze van opslag zal eventueel een of meerdere alternatieven uitgewerkt worden.

De volgende opslagvormen komen voor:

- a atmosferische opslag,
- b drukopslag,
- c gekoelde opslag.

De situering van en de afscheiding tussen de tanks moet bepaald worden.

De kantoren, parkeerplaatsen en wegen zullen geplaatst moeten worden.

4.het achterland transport

Het natransport is op verschillende manieren mogelijk namelijk:

- a met de binnenvaart,
- b met wegtransport,
- c per spoor,
- d met transportleidingen.

Hiervoor moet een afweging gemaakt worden voor de kosten en het risico dat elke specifieke vorm van transport met zich meebrengt.

Hiernaast staat figuur 2.5 met een globale weergave van de eerste drie sub-systemen.

2.2. De omgeving

2.2.1. Het opslagterrein

Door middel van een checklist zullen nu de gegevens die van belang zijn of invloed kunnen hebben op de veiligheid van het terrein en de omgeving gegenereerd worden. Voor een groot deel is deze informatie terug te vinden in het boek "checklist proces installaties" [4]. Veel van deze aspecten zouden al in het lopende project ter sprake zijn gekomen, maar er zijn specifieke aspecten voor een veiligheidsstudie die speciale aandacht vereisen. Per onderwerp zullen nu de aandachtspunten worden toegelicht. Hiervoor is ook het boek "Problematiek van gevaarlijke stoffen" [5] gebruikt.

Het terrein

- Het moet groot genoeg zijn om een veilige indeling te kunnen maken.
- Er moet een scheiding aangebracht worden tussen opslag en overslag enerzijds en de kantoren waar de meeste mensen zich bevinden anderzijds.
- Het verkeer moet tot een minimum beperkt worden.
- De uitbreiding moet mogelijk zijn met instandhouding van de scheiding tussen mensen en gevaarlijke stoffen.

De terrein lokatie

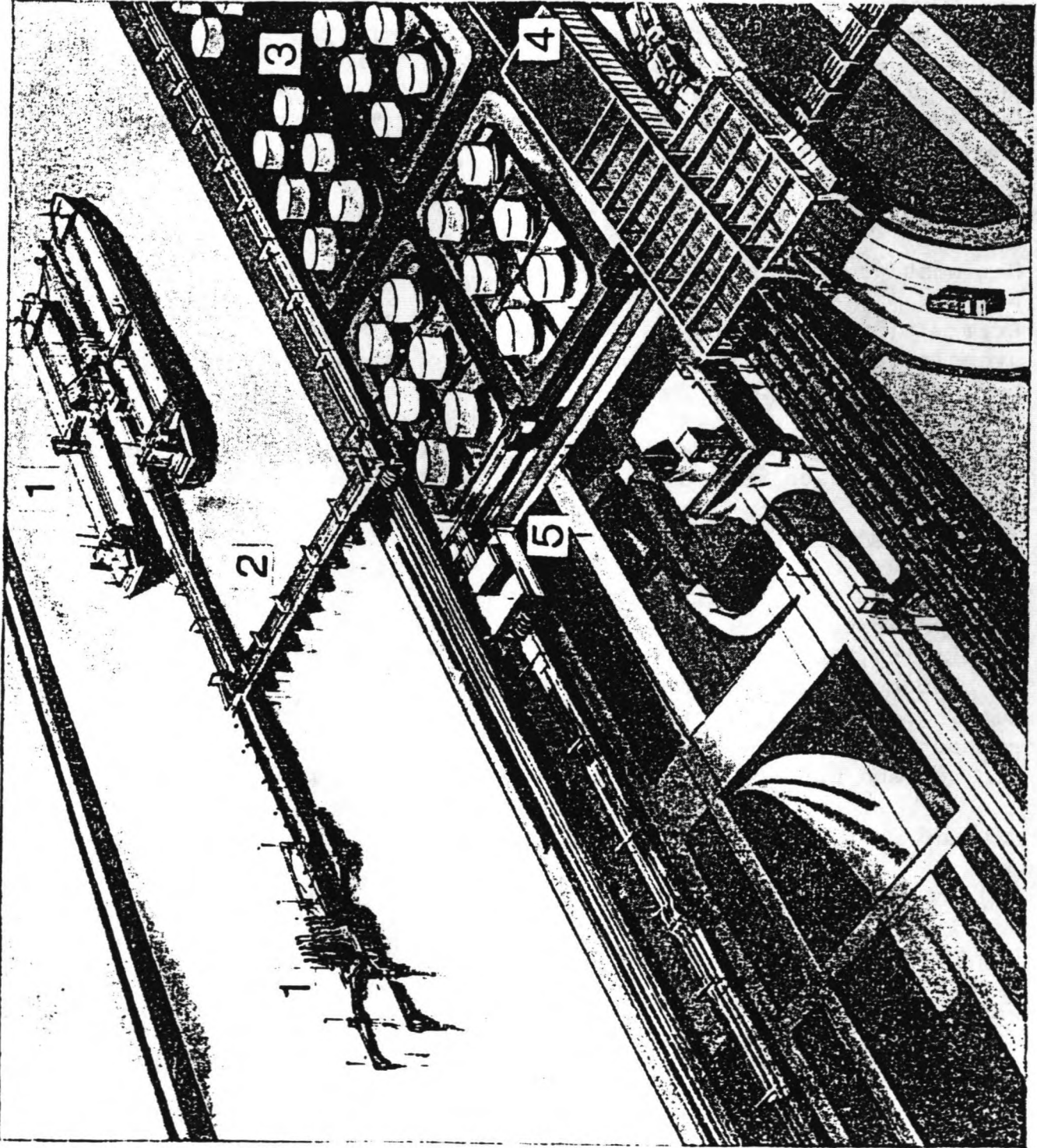
- De kans dat het terrein overstroomt, door vloed of hoge grondwaterstanden.
- De ligging ten opzichte van de overheersende windrichting.
- De bodemgesteldheid met betrekking tot de draagkracht, zetting, geofysische storingen, zuurgraad (in verband met de aantasting van tanks en leidingen) en reliëf en hellingen (in verband met wegstromen van de vrijgekomen vloeistof).

De bereikbaarheid van de terreinen

- Bij calamiteiten moet hulpverlening snel aanwezig kunnen zijn.
- De omliggende wegen moeten bekeken worden of er tunnels, spoorweg overgangen, bruggen of andere obstakels aanwezig zijn.

Wesentliche Funktions-
elemente eines
Ölhafens

- 1 Tankerliegeplatz;
- 2 Verbindungsrohr-
leitung; 3 Tanklager;
- 4 Kesselwagen-Belade-
station; 5 Pumpstation



Bereikbaarheid van de overslagstijgers of kade

- Het veilig aanleggen van de schepen in de haven, mede in verband met de overheersende windrichting.
- De manoeuvreerbaarheid in de haven en bereikbaarheid (bochten).
- Het risico van aanvaring door andere schepen.
- De mogelijkheid tot afsluiting van het basin bij calamiteiten.

Met deze lijst wordt er niet van uitgegaan dat nu alle punten zijn behandeld, maar een indicatie te geven wat er allemaal voor een veiligheidsstudie uitgezocht moet worden. Uit deze opsomming blijkt ook dat een veiligheidsstudie parallel loopt met het ontwerp van een haven. Bij beide studies komen veel aandachtspunten overeen.

Voor elke situatie moeten de daar heersende omstandigheden en regelgeving opnieuw bekeken worden. Om nog enkele voorbeelden te geven van aandachtspunten het volgende:

- Is het terrein vroeger vervuild in verband met zetting en andere eigenschappen van de grond?
- Worden er in de buurt trillingen veroorzaakt door bijvoorbeeld nabij gelegen fabrieken waardoor elektronica kan worden beïnvloed?
- Is er een vliegveld in de buurt? Ook hier kunnen trillingen voorkomen, waarbij een verhoogde kans op calamiteiten aanwezig is.
- Ook moeten omstandigheden, waarbij luchtvervuiling optreedt, uitgezocht worden.

Dit zijn specifieke omstandigheden die in elk gebied kunnen optreden en waar elke keer weer speciale aandacht aan moet worden besteed.

2.2.2. Klimatologische en andere gegevens

Voor de bepaling van de invoergegevens van het computerprogramma zijn de volgende aspecten van belang:

-De klimaatklasse

In het computerprogramma wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde "Pasquill-klassen" [6]. In Nederland zijn deze klimaatklassen door het KNMI opgezet. De heersende stabiliteitsklasse (van de atmosfeer) kan bepaald worden uitgaande van de tijd van de dag, de bewolgingsgraad, de windsnelheid en het seizoen. Veel berekeningen worden uitgevoerd met D-5 dit betekend een neutrale weersgesteldheid en een windsnelheid van 5 m/s.

-De temperatuur

Het is belangrijk om te weten welke temperatuur er gemiddeld heerst en wat de minimale en de maximale temperatuur is. In het computerprogramma kunnen alle temperaturen ingevoerd worden, zodat uitgezocht kan worden wat de temperatuur voor gevolgen heeft op de berekeningen.

-De wind

Wind speelt bij de berekeningen een belangrijke rol. Om wind gegevens in een bruikbare vorm te krijgen is het nodig om die windgegevens in bruikbare statistische waarden om te zetten. Hiervoor moet de windroos van het gebied geanalyseerd worden. In eerste instantie wordt de gemiddelde windsnelheid bepaald, met de standaardafwijking, waaruit één of meer windsnelheden gekozen worden. Wel moet er op gelet worden of in een bepaald gebied langere tijd windstilte kan optreden. Dit zou hoge concentraties van de dampen of gassen kunnen veroorzaken.

-Orkanen

In bepaalde gebieden is het niet zo denkbeeldig dat daar orkanen optreden. Dit is op zich gunstig voor de verspreiding van een bepaalde concentratie van die stof in de lucht, maar een aandachtspunt zou moeten zijn of een orkaan op een of andere manier de kans kan verhogen op falen van een systeem.

-Aardbevingen, overstromingen en vloedgolven

Deze gegevens zijn wel van belang voor het ontwerp en de kans op falen van het systeem, maar deze gegevens hebben in eerste instantie weinig effect op berekeningen van het computerprogramma.

2.2.3. Terrein / omgevingskenmerken (geografische, topografische en demografische gegevens).

Voor een veiligheidsstudie is het van belang om aan te kunnen geven wat de schadelijke fysische-effecten voor gevolgen hebben op de omgeving. Hiervoor moet in de omgeving gekeken worden of er belangrijke industrieën of populatieconcentraties in de omgeving voorkomen.

Literatuur hierover is te vinden in een cursus voor "Leider meetplanorganisatie" van de rijksbrandweeracademie [7], deze cursus legt het accent op de mensen die zich in de omgeving bevinden.

Voor de inschatting is een duidelijk beeld nodig van de ontwikkelingsmogelijkheden van het ongeval zelf en de omvang en de functie/bestemming van het gebied waar de gevolgen merkbaar zijn. Zo is uit geografische en topografische gegevensbestanden en kaarten informatie af te lezen over hoogteverschillen, bodem gesteldheid, begroeiing, schuilgelegenheid, opvangmogelijkheden bij bevolkingsverplaatsingen, aan- en afvoerroutes en de plaats van kwetsbare bedrijven en activiteiten.

Verder kan met topografische kaarten en demografische gegevens worden afgeleid hoeveel en wat voor mensen in dit gebied verblijven op een bepaald tijdstip. Van belang daarbij zijn de gegevens over bevolkingsconcentraties, specifieke objecten zoals ziekenhuizen en bejaardencentra, de aanwezigheidsgraad en de homogeniteit van de verdeling over het gebied.

Nauwkeurige inventarisatie van bevolkingsdichtheden zijn in verband met de mobiliteit van de mensen weinig zinvol. Volstaan kan worden om deze getallen te structureren in bepaalde klassen. Zoals bijvoorbeeld de indeling die overgenomen is uit "inventarisatie en evaluatie risico dragende activiteiten in Gelderland" [8]:

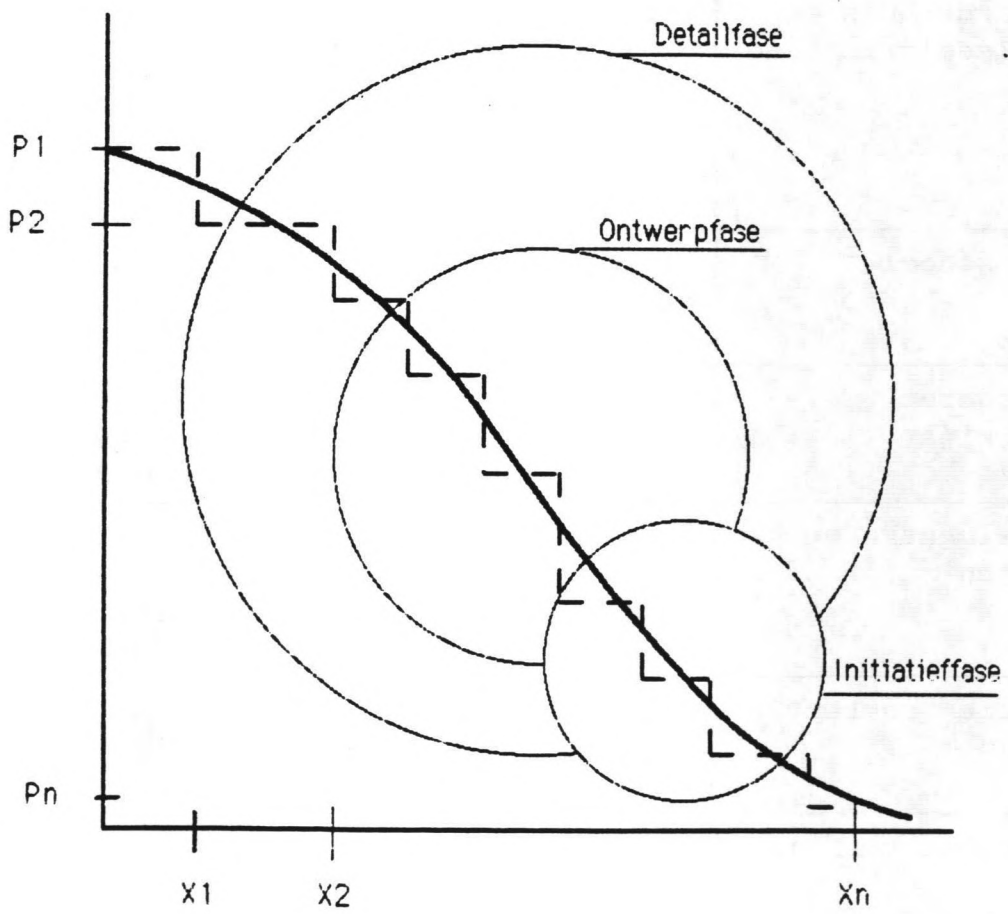
klasse I	1-10 mensen
klasse II	10-50 mensen
klasse III	>50 mensen

Andere indelingen zijn mogelijk vooral als er zich regelmatig veel mensen in de omgeving ophouden.

Om een indruk te geven van de hoeveelheid mensen die in een bepaalde omgeving voorkomen is deze tabel overgenomen uit literatuur [7].

Type omgeving of object	Categorie	Aantal aanwezige personen
Woonomgeving	buitengebied incidentele bebouwing rustige woonwijk drukke woonwijk stadsbebouwing	1 pers./ha 5 pers./ha 25 pers./ha 70 pers./ha 120 pers./ha
Industriegebied	lage persoonsdichtheid gem. pers. dichtheid hoge pers. dichtheid	5 pers./ha 40 pers./ha 80 pers./ha
Bejaardenhuis en verpleeginrichting	klein middelgroot groot	60 bedden= 240 pers. 300 bedden=1500 pers. 600 bedden=3000 pers.
Basisschool	klein middelgroot groot	50 pers. 200 pers. 500 pers.
Voortgezet onderwijs	klein middelgroot groot	200 pers. 500 pers. 1000 pers.
Winkelcentra en straten	incidenteel klein middelgroot groot	10 pers. 100 pers./ha 500 pers./ha 1000 pers./ha
Sport en recreatie buiten	extensief gebruik intensief gebruik zeer intensief gebruik	25 pers./ha 500 pers./ha 2500 pers./ha
Recreatie terrein camping	kampeerbedrijf toeristische plaats	130 pers./ha 200 pers./ha
Horeca, theater en dergelijke	klein middelgroot groot	10 pers. 50 pers. 250 pers.
Sporthal, overdekt zwembad	klein middelgroot groot	50 pers. 500 pers. 1000 pers.

tabel 2.1 aantal personen in een bepaalde omgeving



Figuur 3.1 Risico-kromme

3. Identificatie ongewenste gebeurtenissen

3.1. Ongewenste gebeurtenissen

Er zal door middel van risico-analyse methoden getracht worden om zicht te krijgen op alle mogelijke ongewenste gebeurtenissen, de zogenaamde ongevalsscenario's, die de goede werking van het systeem kunnen beïnvloeden. Hiervoor moeten realistische ongewenste gebeurtenissen worden gecreëerd. Daarmee wordt bedoeld dat bij de gebeurtenis de waarschijnlijkheid oftewel de kans van voorkomen daarop in kwalitatieve termen bepaald moet worden. Het maximale fysische-effect is meestal niet het meest waarschijnlijke effect.

Door zoveel mogelijk verschillende ongevalsscenario's te genereren, met steeds verder afnemende bron (hoeveelheid stof die vrijkomt) zal een goed zicht worden verkregen op de potentiële fysische-effecten en in mindere mate de waarschijnlijkheid.

In figuur 3.1 is weergegeven hoe een plaatje er uit kan zien waarbij globaal de kans tegen het gevolg is uitgezet. In deze figuur is ook aangegeven welk gedeelte van dit figuur bij een bepaalde fase (zie paragraaf 2.1) van een project hoort.

Figuur 3.1 is oorspronkelijk van Kaplan en Garrick, 1981 [9] en is als bijlage I achter in dit rapport opgenomen.

Een scenario bestaat uit een definitie van :

- een begingeburtenis
- een of meerdere detectie- en herstelfuncties
- een ongewenste gebeurtenis

In figuur 3.1 zijn i scenario opgenomen die de index 1 t/m N hebben.

De P en de X hebben de volgende betekenis:

P_i = de kans op een i -de scenario

X_i = het gevolg van het i -de scenario

De kromme zou voor ieder systeem opnieuw moeten worden bepaald. Dan kan er namelijk wat gezegd worden over hoe groot het percentage "grote" ongelukken t.o.v. de "kleinere" ongelukken staat. Normaal zal er een beeld ontstaan van grote ongelukken met een nagenoeg te verwaarlozen kans van voorkomen en daar tegenover kleine lekkages die dagelijks voorkomen.

3.2. Risico-analyse technieken

3.2.1. Een overzicht

Er zijn veel verschillende technieken om voor een probleem een risico-analyse uit te voeren, eerst een korte uiteenzetting wat voor gangbare technieken er bestaan, vrij naar L.H.J. Goossens bijlage I.

- 1 Rapid ranking methoden: met deze (kwalitatieve) schalingsmethoden kan snel beoordeeld worden hoe een concrete installatie qua risico in te schatten is. Voorbeeld uit de procesindustrie is de DOW Fire & Explosion Index, deze methode wordt kort toegelicht in de volgende paragraaf.
- 2 Checklists: met deze (kwalitatieve) methoden kan redelijk snel een beeld worden gevormd aan welke aspecten aandacht is besteed. In paragraaf 2.3 wordt de checklist gebruikt om de omgeving te beschrijven.
- 3 Storingsanalyses: de kwalitatieve varianten van deze methoden tonen aan hoe afwijkingen van de ingestelde condities in de procesinstallatie aanleiding kunnen geven tot ongewenste gebeurtenissen. De meest bekende is de Hazard and Operability Study (HAZOP, ontwikkeld door ICI), waarbij in team-verband een procesontwerp aan de hand van gidswoorden volledig doorlopen wordt. Hiervoor heeft het Directoraat-Generaal van de arbeid een brochure uitgebracht [4]. Een meer kwantitatieve variant is de "Failure Mode and Effect Analysis". Daarbij wordt een inschatting gemaakt van de faalwijzen en de kansverdeling over deze faalwijze in procenten. Deze analyse-techniek valt onder de causale evaluatie techniek, waar in de volgende paragraaf op in wordt gegaan.
- 4 Boomanalyses: deze methoden vergen in het algemeen veel meer tijd dan de voorgaande methoden. Hieronder vallen de foutenboom en de gebeurtenissenboom, beide methoden worden bij uitstek gebruikt voor kwantitatieve risico-analyses.
- 5 Ongevalsanalyses: deze hebben tot doel ongevallen te analyseren. Als er voldoende ongevallen voor handen zijn, is het mogelijk kwantitatieve uitspraken te doen. Zij dienen vaak als basis voor het definiëren van de ongevalsscenario's.

EXHIBIT A

FIRE AND EXPLOSION INDEX



LOCATION _____	DATE _____
----------------	------------

PLANT _____	PROCESS UNIT _____	EVALUATED BY _____	REVIEWED BY _____
-------------	--------------------	--------------------	-------------------

MATERIALS AND PROCESS

MATERIALS IN PROCESS UNIT _____

STATE OF OPERATION <input type="checkbox"/> START-UP <input type="checkbox"/> SHUT-DOWN <input type="checkbox"/> NORMAL OPERATION	BASIC MATERIAL(S) FOR MATERIAL FACTOR _____
--	---

MATERIAL FACTOR (SEE TABLE I OR APPENDICES A OR B) *Note requirements when unit temperature over 140°F* _____

1. GENERAL PROCESS HAZARDS	PENALTY	PENALTY USED
BASE FACTOR _____ →	1.00	1.00
A. EXOTHERMIC CHEMICAL REACTIONS (FACTOR .30 to 1.25)		
B. ENDOTHERMIC PROCESSES (FACTOR .20 to .40)		
C. MATERIAL HANDLING & TRANSFER (FACTOR .25 to 1.05)		
D. ENCLOSED OR INDOOR PROCESS UNITS (FACTOR .25 to .90)		
E. ACCESS	.35	
F. DRAINAGE AND SPILL CONTROL (FACTOR .25 to .50) _____ Gals.		
GENERAL PROCESS HAZARDS FACTOR (F ₁) _____ →		

2. SPECIAL PROCESS HAZARDS	PENALTY	PENALTY USED
BASE FACTOR _____ →	1.00	1.00
A. TOXIC MATERIAL(S) (FACTOR 0.20 to 0.80)		
B. SUB-ATMOSPHERIC PRESSURE (- 500 mm Hg)	.50	
C. OPERATION IN OR NEAR FLAMMABLE RANGE <input type="checkbox"/> INERTED <input type="checkbox"/> NOT INERTED		
1. TANK FARMS STORAGE FLAMMABLE LIQUIDS	.50	
2. PROCESS UPSET OR PURGE FAILURE	.30	
3. ALWAYS IN FLAMMABLE RANGE	.80	
D. DUST EXPLOSION (FACTOR .25 to 2.00) (SEE TABLE II)		
E. PRESSURE (SEE FIGURE 2) OPERATING PRESSURE _____ psig RELIEF SETTING _____ psig		
F. LOW TEMPERATURE (FACTOR .20 to .30)		
G. QUANTITY OF FLAMMABLE/UNSTABLE MATERIAL: QUANTITY _____ lbs., H _C = _____ BTU/lb		
1. LIQUIDS, GASES AND REACTIVE MATERIALS IN PROCESS (SEE FIG. 3)		
2. LIQUIDS OR GASES IN STORAGE (SEE FIG. 4)		
3. COMBUSTIBLE SOLIDS IN STORAGE, DUST IN PROCESS (SEE FIG. 5)		
H. CORROSION AND EROSION (FACTOR .10 to .75)		
I. LEAKAGE – JOINTS AND PACKING (FACTOR .10 to 1.50)		
J. USE OF FIRED HEATERS (SEE FIG. 6)		
K. HOT OIL HEAT EXCHANGE SYSTEM (FACTOR .15 to 1.15) (SEE TABLE III)		
L. ROTATING EQUIPMENT	.50	
SPECIAL PROCESS HAZARDS FACTOR (F ₂) _____ →		
UNIT HAZARD FACTOR (F ₁ x F ₂ = F ₃) _____ →		
FIRE AND EXPLOSION INDEX (F ₃ x MF = F & EI) _____ →		

6 Expertmeningen: naast de gebruikelijke 'engineering judgement' zijn er ook formele methoden ontwikkeld om de mening van experts te eliciteren. Door de Technische Universiteit Delft en TNO zijn recent twee direct bruikbare methoden ontwikkeld (Goossens et al 1989). De methode van paarsgewijze vergelijking geeft een kwalitatief beeld van de faalwijze van componenten, de zogenaamde Klassieke Methode vraagt kwantitatieve uitspraken van experts over bijvoorbeeld faalkansen van componenten. Beide methoden zijn uitermate geschikt voor situaties waar geen of te weinig gegevens voor handen zijn en waarvan wordt verwacht dat experts wel inzicht hebben.

Al deze methoden komen al dan niet in beknopte vorm in dit rapport ter sprake. Bij de behandeling wordt dan ook aangegeven wanneer een methode gebruikt kan worden. Een belangrijke tak van deze evaluatie technieken wordt hierna besproken.

3.2.2.DOW Fire and explosion index

De door DOW Chemical Company (1976) opgestelde index, is een schalingsmethode voor het opstellen van de potentiële gevaren in een chemisch proces. In deze index komen alleen de fysische effecten tot uitdrukking. Deze methode is bedoeld om in een vroeg stadium van het ontwerp tot een onderkenning van de gevaren van een systeem te komen.

De procedure

Bij de fire and explosion index wordt er aan een sub-systeem met behulp van de in figuur 3.2 staande tabel een zogenaamde index toegekend. De methode gaat er van uit dat in ieder geval aan bepaalde basis veiligheidsmaatregelen is voldaan. Deze maatregelen worden in hoofdstuk 6 verder toegelicht.

De methode bestaat in grote lijnen uit de volgende drie stappen:

- 1 Voor de index methode moet eerst de materiaal factor opgezocht worden.
- 2 Met inzicht van de ingenieur en kennis van het proces de waarden van de tabel ingevuld worden.
- 3 Door elke kolom op te tellen en zoals in de tabel is aangegeven te vermenigvuldigen is de index te berekenen.

De index wordt verdeeld in de volgende zes gevaren klassen:

- 1 mild
- 2 licht
- 3 gemiddeld
- 4 gemiddeld zwaar
- 5 zwaar
- 6 extreem

Als het proces is geschaald, worden veiligheidsmaatregelen aangereikt die al dan niet geboden zijn (zie hiervoor tabel 3.1). Op de eerste regel staan de gevarenklassen waarin het beschouwde proces kan vallen.

	1	2	3	4	5	6
1.brandbeveiliging	1	2	2	3	4	4
2.water straal						
a.gericht	1	2	3	3	4	4
b.oppervlak	1	2	3	3	4	4
c.gordijn	1	1	2	2	2	4
3.Speciale instrumenten						
a.temperatuur	1	2	3	3	4	4
b.druk	1	2	3	3	3	4
c.controle stroming	1	2	3	4	4	4
4.afval, lekkage controle	1	1	2	3	3	4
5.interne explosie beveiliging	1	2	3	3	4	4
6.gasantbrandingsregistratie	1	1	2	3	3	4
7.afstand bediening	1	1	2	3	3	4
8.bedijking	1	4	4	4	4	4
9.explosie en afschermd bedijking	1	1	2	3	4	4

Tabel 3.1

De getallen in de tabel worden gebruikt om aan te geven in hoeverre een maatregel noodzakelijk wordt geacht:

1 = facultatief; 2 = voorgesteld; 3 = aanbevolen; 4 = vereist. Uitgebreide informatie staat in het boek "Safety in proces plant design" [10].

3.2.2. De boomanalyses

De evaluatiemethoden bestaan uit een grafische representatie van de oorzakelijke samenhang tussen de gebeurtenissen die kunnen leiden tot het optreden van een bepaalde ongewenste gebeurtenis. Er bestaan twee essentieel verschillende groepen van gebeurtenis-georiënteerde evaluatiemethoden.

De eerste is de causale evaluatie (kan ook een bottom-up benadering worden genoemd), dit is een systematische evaluatie van een systeem of sub-systeem die begint met elementaire gebeurtenissen die plaatshebben op het laagst zinvolle systeemniveau. Een voordeel van deze methodiek is dat men gemakkelijk tot een volledige inventarisatie komt waarbij er geen gebeurtenissen over het hoofd worden gezien. Een nadeel van deze methodieken is dat men het betreffende systeem reeds in zijn kleinste detail moet kennen alvorens men causale evaluatie kan starten. Dit betekent dat deze methodieken pas in de ontwerpfase toegepast kunnen worden.

De tweede is de anti-causale evaluatie (kan ook een top-down benadering genoemd worden), deze methodiek begint met het gevolg en speurt de mogelijke oorzaken op. Een nadeel van deze evaluatie methode is dat men gemakkelijk een oorzaak voor het topgebeuren, het gevolg, over het hoofd ziet. Een sterk punt is dat het, van systeemniveau naar componentenniveau, voortschrijdende ontwerp op de voet kan volgen. Hierdoor kan een faalboom langzaam uitgebouwd worden tot een gedetailleerde faalboom die in de ontwerpfase nodig kan zijn.

De gebeurtenissenbomen behoren tot de causale evaluatie technieken. Om de mogelijke gevolgen van een bepaalde gebeurtenis te bestuderen kan men die gevolgen rangschikken in een gebeurtenissenboom. Alle in het kader voor de studie relevante mogelijke gevolgen worden daarbij opgenomen met de kansen op hun optreden, gegeven het optreden van de begingebuurtenis.

Van deze volggebuurtenis wordt vervolgens weer de gevolgen nagegaan en in de boom opgenomen enzovoort.

Een gebeurtenissenboom geeft dus inzicht in mogelijke gevolgen van één begingebuurtenis, terwijl de foutenboomanalyse beoogt om duidelijk te maken op welke wijze en met welke waarschijnlijkheid één bepaalde topgebuurtenis kan ontstaan uit een onbepaald groot aantal basisgebuurtenissen.

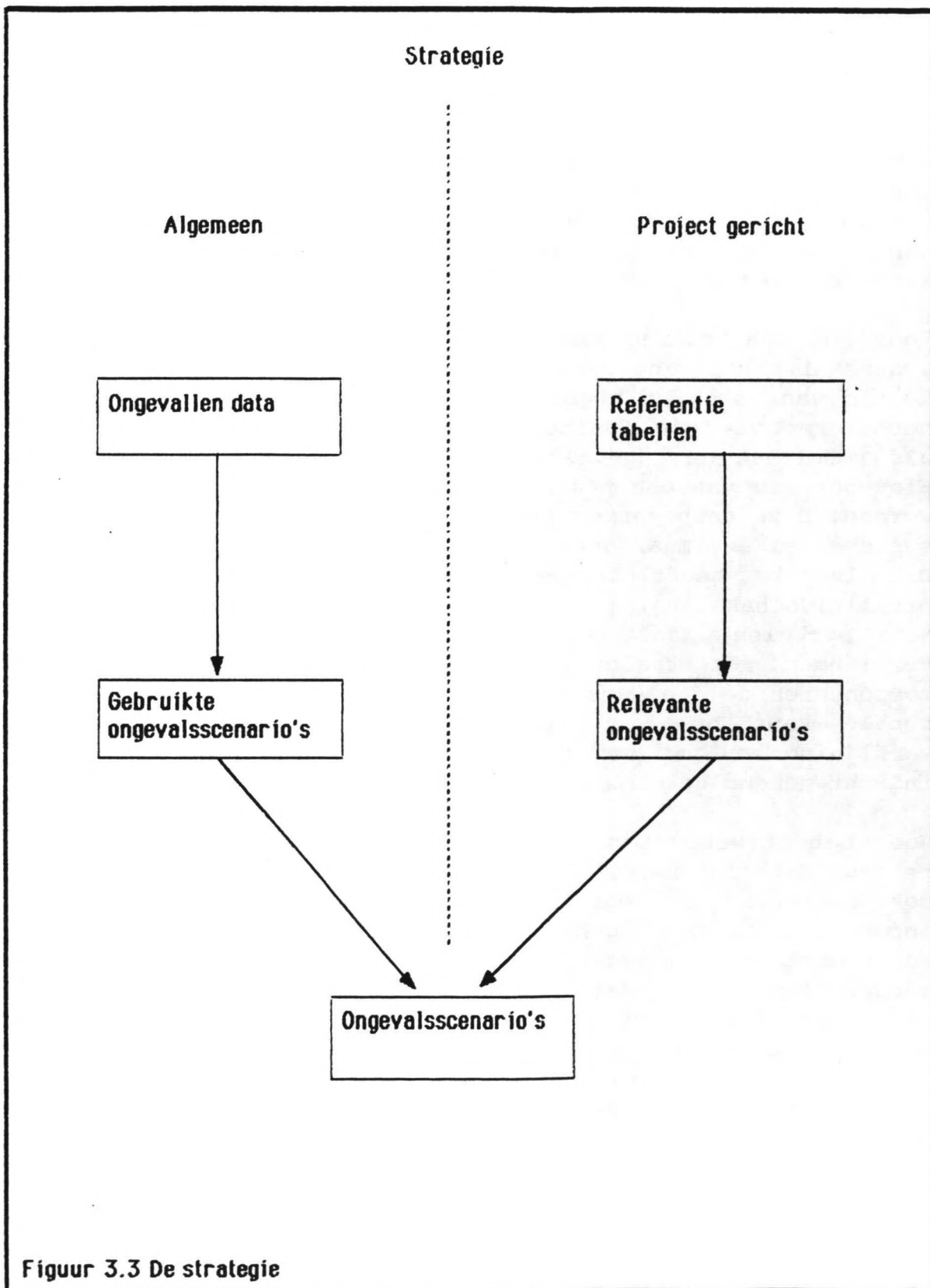
De "Fault Tree Analysis" (FTA, faal-, foutenboomanalyse) is de bekendste anti-causale evaluatietechniek. Er zal hier alleen worden uitgelegd hoe die analyse globaal in zijn werk gaat. Voor een verdere inwijding wordt verwezen naar "het rode boek" [2] en "Probabilistisch ontwerpen" [12].

Een faalboom is een schematische weergave van oorzaken die tot een bepaalde ongewenste gebeurtenis aanleiding kunnen geven. Het doel van de faalboom is de oorzaken die kunnen leiden tot een topgebeurtenis te identificeren. Door de oorzaken te kwantificeren kan men de kans op de topgebeurtenis bepalen.

Voor het construeren van een faalboom moet eerst een gedegen systeem beschrijving aanwezig zijn. Daarna moet met een goede kennis van zaken de mogelijke faalpunten gezocht worden. Door combineren van die faalpunten kunnen de faalmechanismen, die als resultaat de ongevals-scenario's hebben, gevonden worden. Hiervoor zou van een brainstormtechniek gebruik gemaakt kunnen worden. Deze componenten kunnen afzonderlijk tot falen van een systeem leiden, maar ook in combinatie met andere componenten. Dit laatste heeft te maken met respectievelijk serie en parallel schakeling.

Met symbolen kan dan van boven naar beneden, steeds verfijnder, de faalboom worden opgesteld. Door voor alle componenten de faalkans op te zoeken of in te schatten kan de totale kans op een bepaald scenario worden bepaald. De verfijning zou met een trial-error methode kunnen geschieden, in acht nemend het beschouwde systeem.

Voor het ontwerp zijn de zogenaamde minimum sneden van groot belang, dit zijn namelijk de zwakste schakels van het ontwerp. Ook kunnen nu de zogenaamde single-point failures opgezocht worden. Dit zijn gebeurtenissen die in hun eentje de topgebeurtenis kunnen veroorzaken. Wel moet hierbij aangetekend worden dat de kans op zo'n single-point failure een relatief lage kans van voorkomen heeft. Deze fouten moeten zoveel mogelijk vermeden worden. Dit kan door ze gedwongen te combineren met andere gebeurtenissen. Bijvoorbeeld een pomp kan niet aangezet worden als de afsluiter dicht zit.



3.3. Ongevalsscenario's

3.3.1. De strategie

Om tot bepaalde ongevalsscenario's te komen is het gewenst om de volgende strategie te volgen:

- 1 Het opstellen van referentie tabellen van de beschouwde stoffen.
- 2 Het zoeken in de literatuur naar ongeval-data.
- 3 Het zoeken in de literatuur naar gebruikte ongevalsscenario's.
- 4 Het samenstellen van relevante ongevalsscenario's voor het beschouwde probleem.

De volgende redenen zijn te vinden om deze volgorde aan te houden:

ad.1.

- Om inzicht te krijgen welke stoffen maatgevend zijn voor de schade afstanden.
- Om vast te stellen bij welke hoeveelheden vrijgekomen stof er een sub-systeem overschrijdende ongewenste gebeurtenis volgt.

ad.2.

- Om zicht te krijgen welke ongevallen relevant zijn.
- Om eventueel al vast te stellen wat de effecten van bepaalde ongelukken zijn.

ad.3.

- Met eerder gebruikte scenario's kan een soort standaard ontworpen worden waaraan alle veiligheidsstudies zeker moeten voldoen.
- Deze scenario's zijn meestal geselecteerd naar de meest relevante ongevallen.
- Met deze gegevens kan de vorm van de gewenste resultaten uitgezocht worden. Bijvoorbeeld in de vorm van schadecirkels of concentratie contouren.

ad.4.

- Eigen ongevalsscenario's, specifiek gericht op het beschouwde project, zijn nodig omdat elk project weer anders is.
- In de volgende paragraaf zal een voorbeeld gegeven worden om eigen ongevalsscenario's te creëren.

Op de vermelde referentie tabel zal in het volgende hoofdstuk ingegaan worden.

Over dit onderwerp is veel geschreven. De volgende literatuur kan gebruikt worden:

"Learning from accidents" [13].

"Bundesanstalt für materialprüfung" [14].

"Analysis of the LPG incident in San Juan, Mexico city" [15].

"Analysis of the risk inherent in the importation of LPG" [16].

"LPG integraal-Nota" [17].

"Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study [18].

ongevallsscenario's

2. Consequence Analysis

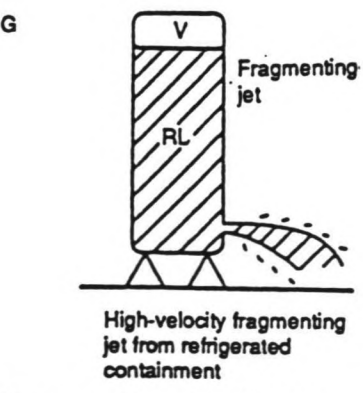
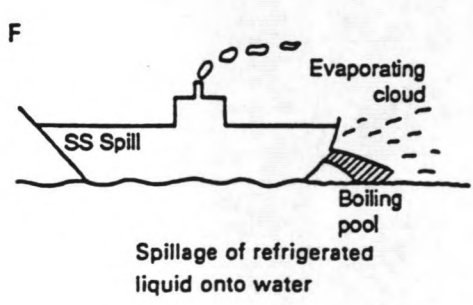
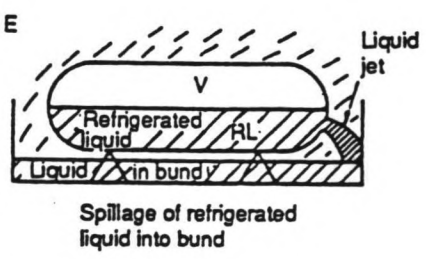
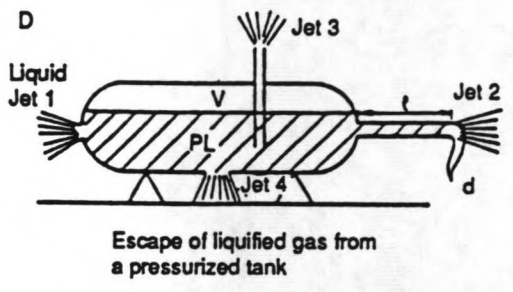
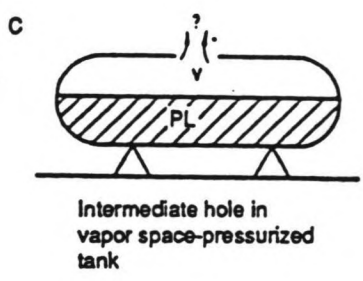
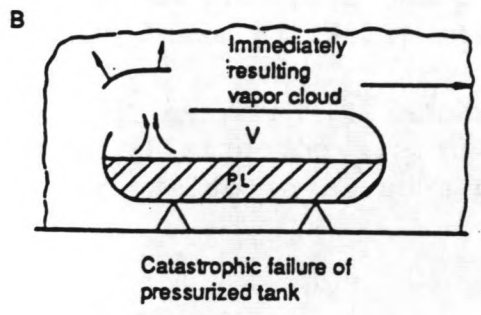
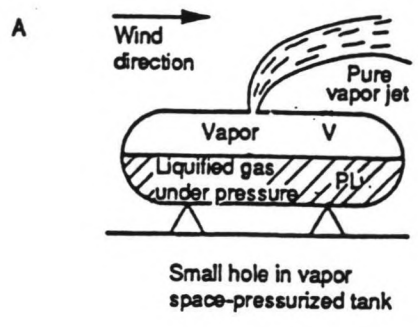
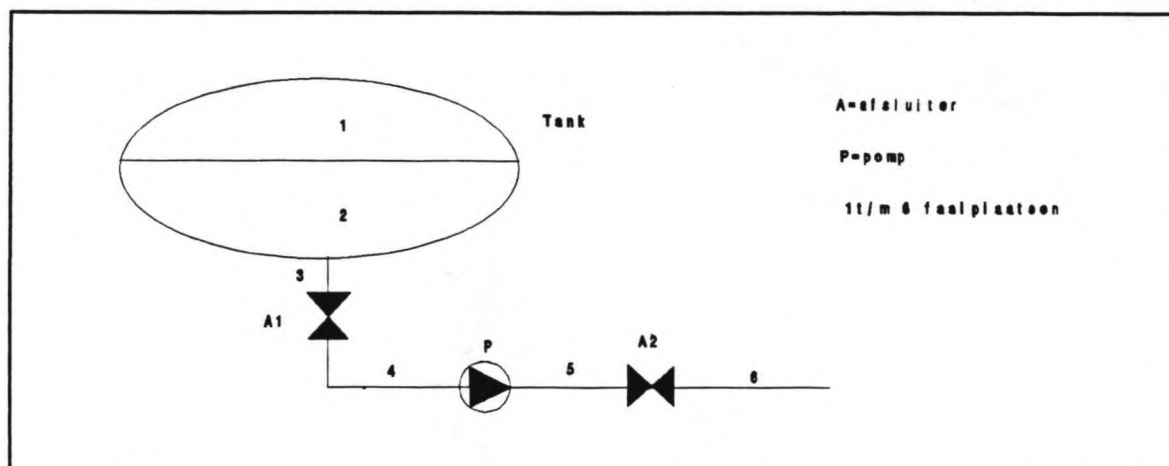


Figure . . . Illustration of some conceivable release mechanisms, from Fryer and Kaiser (1979). In most of these cases, the jet could be two phase (vapor plus entrained liquid aerosol).

3.3.2. Ongevalsscenario's

Na het falen van vaten en/of leidingen, moet berekend worden hoe en met welk debiet een bepaalde stof uitstroomt. Hiervoor wordt onderscheid gemaakt tussen gassen, vloeistoffen en stoffen die onder atmosferische druk bij omgevingstemperatuur gasvormig zijn maar onder druk of temperatuursverlaging tot vloeistof zijn verdicht.

Om globaal aan te geven waar de faalpunten in een systeem kunnen zitten en te bekijken wat de gevolgen zijn van de aard en omvang van een ongewenste gebeurtenis wordt een voorbeeld uitgewerkt. Als voorbeeld is hier een model opgezet van een systeem met een onder druk vloeibaar gemaakte stof (zie figuur 3.3). Dit model zou in de initiatieffase nog gebruikt kunnen worden, maar in de ontwerpfase is dit zeker een te simpel model.



figuur 3.3 model tank

Nadere toelichting van enkele termen:

- Indien zich een gat boven het vloeistof niveau bevindt zal in eerste instantie gas uitstromen, gelijktijdig echter gaat de vloeistof koken. Bij voldoende hoog "opkoken" zal door de damp vloeistof worden meegenomen, het champagne effect.
- Bij adiabatisch koken wordt aan de stof verdampingswarmte onttrokken en bovendien moet kinetische energie worden geleverd door de uitstroming, hierdoor daalt de temperatuur van de stof.

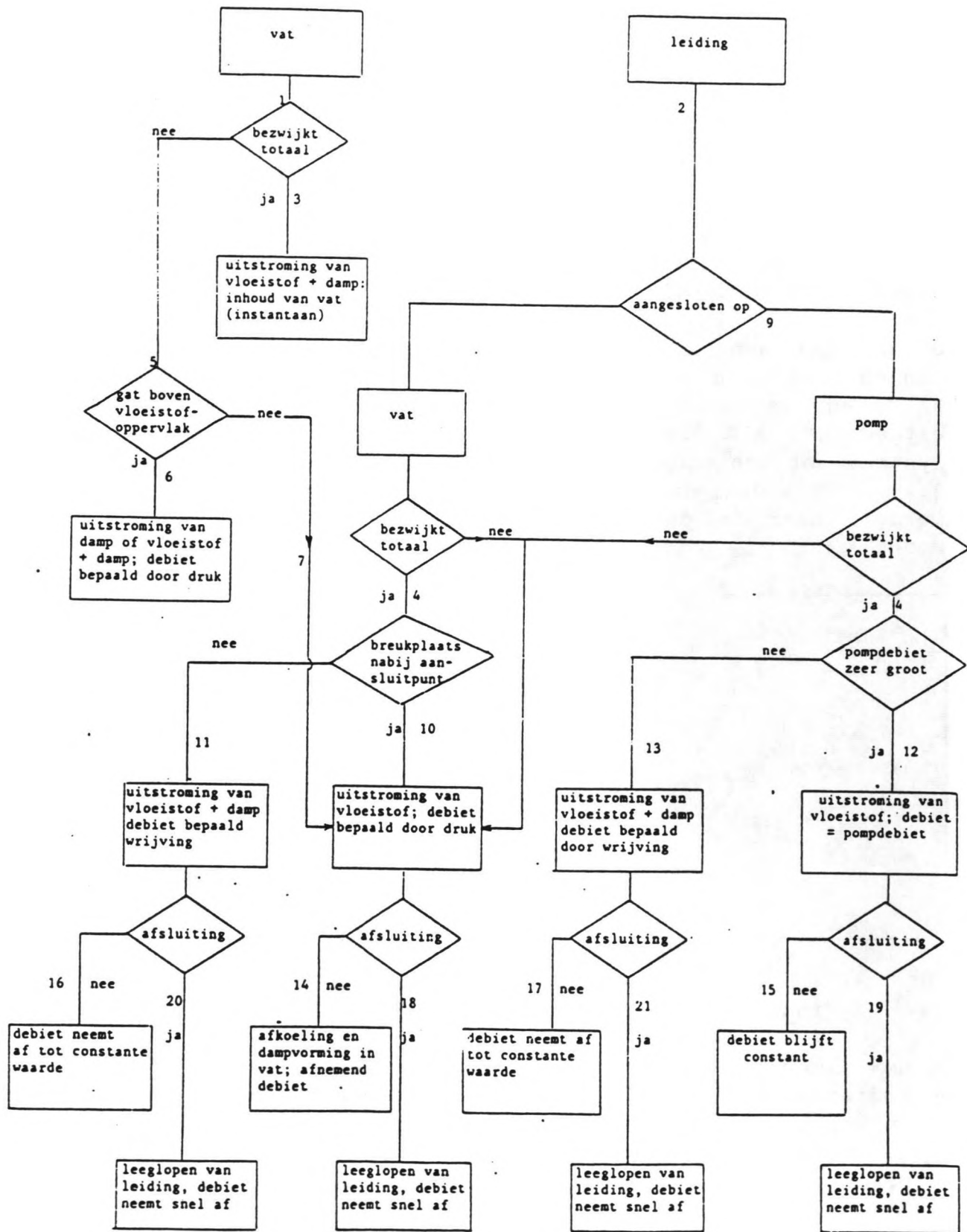


Fig. 3.4 Identificatieschema voor uitstroming van onder druk vloeibaar gemaakt gas

Veiligheidsstudie: onderdeel van de kwaliteitszorg

In eerste instantie moet er een boom, in dit geval een identificatieschema, opgezet worden die het systeem systematisch weergeeft. (zie figuur 3.4)

Het systeem kan nu falen op de plaatsen 1 t/m 6.
De effecten kunnen als volgt (schematisch) worden aangegeven:

- Faalpunt 1: Totale breuk: fysische explosie
gat: champagne-effect of bij-zeer kleine gaten-dampuitstroming
- Faalpunt 2: Totale breuk: fysische explosie
gat: vloeistof uitstroming
- Faalpunt 3: Totale breuk: twee fasen uitstroming (gat >0.75mm)
of vloeistof uitstroming (gat <0.75mm)
gat: vloeistof uitstroming
- Faalpunt 4: Totale breuk: twee fasen uitstroming
afsluiter werkt: leidingstuk stroomt leeg
afsluiter werkt niet: debiet neemt af tot stationair
gat: vloeistof uitstroming
- Faalpunt 5: Totale breuk: twee fasen uitstroming, debiet neemt af tot pompdebiet
pomp stopt: leidingstuk stroomt leeg
gat: vloeistof uitstroming
- Faalpunt 6: Totale breuk: twee fasen uitstroming
afsluiter werkt: leidingstuk stroomt leeg
afsluiter werkt niet: debiet neemt af tot stationair
gat: vloeistof uitstroming

De faalpunten zorgen allemaal voor andere effecten ook de stof die in het vat zit zorgt ervoor dat voor die stof specifieke effecten optreden.

3.3.3. De referentie tabellen.

Deze tabellen moeten een indruk geven van de mogelijke gevolgen van de fysische-effecten van de beschouwde stoffen. De volgende fysische-effecten zullen daarvoor doorgerekend moeten worden:

- De uitstroming,
- De verdamping,
- De dispersie,
- De explosie,
- De warmte uitstraling.

Daarna zal gekeken worden of de fysische-effecten significant veranderen als de volgende grootheden worden gevarieerd:

- De klimaatklasse,
- De temperatuur,
- De bodemruwheid,
- De temperatuur,
- De relatieve vochtigheid.

Deze onderdelen zullen in hoofdstuk 5 uitgebreid aan de orde komen.

De volgende voordelen zijn verbonden aan de berekening en de daarop volgende gevoeligheidsanalyse:

- 1 Niet maatgevende fysische-effecten kunnen geselecteerd worden.
- 2 Niet relevante berekeningen kunnen hierna weg gelaten worden.
- 3 Het inzicht dat is verkregen in de fysische effecten.
- 4 De berekeningen met de verschillende sub-systemen verloopt nu veel vlotter.

Alle conclusies kunnen aan het einde samengevat worden. Met die lijst kunnen dan de daarop volgende berekeningen uitgevoerd worden.

4. Bepaling mogelijke fysische-effecten

4.1. Inleiding

Om de hoeveelheden stof te kunnen bepalen is het nodig om alle sub-systemen zoals opslagtanks, leidingen en tankschepen, zodanig te beschrijven dat daaruit conclusies getrokken kunnen worden. Bijvoorbeeld voor drukopslag is geen oneindig grote tank te maken, daardoor wordt ook de potentiële hoeveelheid ontsnapte stof beperkt. Daarom zullen alle sub-systemen beschreven worden met hun specifieke systeem variabelen.

Als de soort stoffen en de hoeveelheden van deze stoffen bekend zijn, moeten de mogelijke fysische effecten van deze opgeslagen stoffen worden bepaald. Iedere stof heeft zijn eigen karakteristieke eigenschappen zoals dichtheid, kookpunt, verbrandingswarmte, zelfontbrandingstemperatuur en explosie grenzen.

4.2. Specificatie van de sub-systemen

4.2.1. Het tankpark

Voor de opslag van gevaarlijke stoffen zijn veel verschillende soorten opslag mogelijk de drie hoofdvormen zijn de volgende:

- 1 de atmosferische opslag,
- 2 de druk opslag,
- 3 de gekoelde opslag.

Bij elke vorm wordt nu kort besproken welke specifieke kenmerken deze opslagtanks hebben. De volgende literatuur is voor dit onderwerp geraadpleegd:

- Storage tanks for refrigerated liquefied gases with an outer concrete container [19].
- Terminals, Havens F 13 [20].
- Havens; haven en terminal planning [21].

Verder zijn personen gesproken over deze problematiek. Deze zijn achterin dit rapport vermeld.

1. De atmosferische opslag

Hierbij wordt vaak gedacht aan bovengrondse opslagtanks, voor niet gekoelde atmosferische opslag van vloeistoffen. Deze tanks kunnen in drie meest voorkomende hoofdgroepen worden ingedeeld:

- a tanks met een vast dak,
- b tanks met een drijvend dak,
- c tanks met een vast dak en een inwendig drijvend dek.

Bij de keuze van de tank zijn, naast constructieve overwegingen, de volgende aspecten van belang:

- 1 de emissies,
- 2 de veiligheid,
- 3 de gevoeligheid van het produkt voor water.

ad.1.

Bij alle tanks moet speciale zorg besteed worden aan ten eerste de dagelijkse drukverschillen die optreden door temperatuurwisselingen en door luchtdrukwisselingen. En ten tweede de uitwisseling van damp tijdens het vullen en legen van de tank.

Bij tanks met een vast dak en een inwendig drijvend dak, kan boven het dak een inert gas worden toegepast, zodat emissies beperkt blijven.

Nu volgen nog enkele emissie reducties die gerealiseerd worden als een bepaald type tank wordt gebruikt.

	<u>Percentage reductie</u>
- Vast dak met atmosferische ventilatie	-
- Vast dak met druk-vacuümventielen	15
- Drijvend dak met enkelvoudige afdichting	86
- Drijvend dak met dubbele afdichting	98
- Vast dak met inwendige drijvende dek met dubbele afdichting en ventilatie-openingen	95
- Vast dak met dampafvoer naar dampverwerkingsinstallatie	99.9

ad.2

Bij alle tanks gelden specifieke veiligheidsmaatregelen. Speciale aandacht moet besteed worden aan stoffen die giftig danwel explosief zijn. Bij het vullen van de vaten moet overvulling ten allen tijden voorkomen worden.

ad.3

Bij een drijvend dak constructie kan verontreiniging met water optreden. Als een produkt zuiver moet blijven is een vaste dakconstructie vereist. Als het produkt erg gevoelig is voor water of voor zuurstof dan wordt vaak een inert gas boven het produkt in een tank met een vast dak gebracht.

Deze atmosferische tanks zijn tot ongeveer 100.000 m³ te bouwen, onder de 40.000 m³ worden deze tanks als "klein" opgevat.

Voor de diameter hoogte verhouding wordt globaal 3:1 aangehouden.

De tanks staan maximaal in groepen van 6 bij elkaar en zijn omgeven door een zogenaamde bedijking, waarbinnen de hoeveelheid van ongeveer 120% van de inhoud van de grootste tank moet kunnen blijven staan. Bij speciale stoffen moet ook gelet worden op de indringing in de ondergrond. Hiervoor zou de grond afgedicht kunnen worden met asfalt en een installatie om de vloeistof weg te pompen. Onder normale omstandigheden kunnen deze pompen gebruikt worden voor de afvoer van regenwater, dat binnen de bedijking blijft staan.

Voordat de volgende twee opslag manieren worden behandeld, volgen eerst nog twee termen die van belang zijn voor de begripsvorming:

- Kritische temperatuur: boven deze temperatuur kan een gas niet vloeibaar worden gemaakt, hoe hoog de druk ook opgevoerd wordt.
- Kritische druk: de minimum druk die nodig is om een gas bij de kritische temperatuur vloeibaar te maken.

2.De druk opslag

Voor de opslag van tot vloeistof verdichte gassen, die met verhoogde druk worden opgeslagen gelden specifieke bepalingen.

De tanks komen in twee soorten voor:

- a de bolvormige tanks,
- b de cilindervormige tanks.

ad.a

De bolvormige tanks zijn te verkrijgen in maten variërend van ongeveer 500 m³ tot maximaal 10.000 m³. De diameter van de tanks loopt dan van 10 tot 25 meter (met $V = 1/6 * \pi * d^3$).

ad.b

De cilindervormige tanks zijn meestal wat kleiner. Deze tanks worden vaak als procesvaten of dag-opslag tanks betiteld. Deze komen voor in maten die kleiner zijn dan 500 m³. Een voorbeeld is een tank van 270 m³ deze heeft een lengte van 32 meter en een diameter van 3.5 meter.

3. De gekoelde opslag

Hiermee wordt bedoeld de opslag van tot vloeistof gekoelde gassen op een temperatuur die gelijk is aan het kookpunt van die stof. Deze vorm van opslag wordt ook wel cryogeen genoemd.

Dit is een zeer dure manier van opslag. Dit komt ten eerste doordat de fabriek stoffen meestal onder druk aanvoert waardoor een dure omzettingsinstallatie nodig is. Ten tweede doordat er voor de koeling een grotere hoeveelheid energie nodig is.

Doordat de eenheden groter zijn levert dat aan de andere kant een besparing op de bouwkosten en daarbij komt dat deze vorm van opslag veel veiliger is. In de case studie wordt dit aspect nader uitgewerkt.

De opslag in warmere landen is relatief gezien niet zoveel duurder, als naar de verhouding van het temperatuurverschil wordt gekeken (Als de stof op $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ wordt opgeslagen maakt een buiten temperatuur van 20 of 30 $^{\circ}\text{C}$ relatief gezien niet veel uit). De volgende opslag mogelijkheden staan nu tot de beschikking.

- a Onder de grond
- b Tanks met enkele wand
- c Tanks met dubbele wanden

b en c worden meestal omgeven door een betonnen wand.

In de figuur 4.2 hiernaast is een voorbeeld van een tank boven de grond weergegeven. Om deze vorm van opslag nog veiliger te maken staan nog een paar mogelijkheden open:

- De tank kan gedeeltelijk worden ingegraven.
- De tank kan op poten gezet worden zodat de kou afgevoerd kan worden waardoor de bodem niet opvriest en er onder de tank inspectie uitgevoerd kan worden.

Als de stof onder druk wordt geproduceerd en ook als zodanig wordt afgevoerd, is het logisch om de stof als drukopslag op te slaan. Maar als stelregel, in termen van veiligheid, moet gestreefd worden naar opslag met verlaagde temperatuur. Omzetting van die stof van gekoeld naar drukopslag en andersom is geen probleem maar kost wel geld.

Als laatste komt hier ook weer naar voren dat het belangrijk is om zo min mogelijk stof op te slaan c.q. in voorraad te houden.

In Nederland geldt de bepaling, dat bij grootschalige opslag van vloeibaar gemaakte gassen in eenheden groter dan 4.000 m³ in principe gekoelde atmosferische opslag moet worden toegepast, in een opslagsysteem met dubbel containment, met de buitenste wand van beton.

Overwegingen hiervoor zijn:

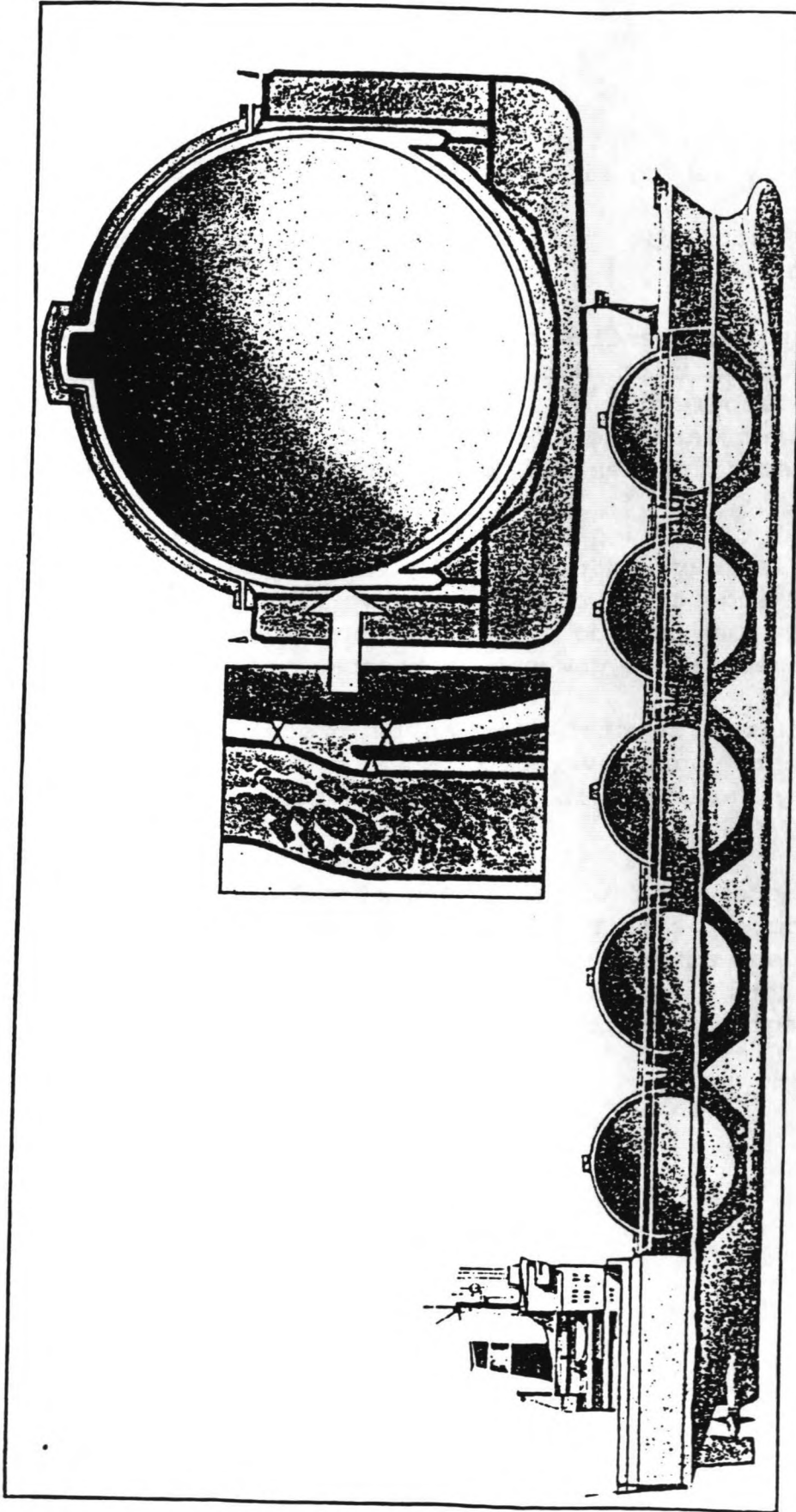
- In de eerste plaats als er vaten groter dan 4.000 m³ worden gebruikt zullen de schade afstanden zo groot worden dat objecten buiten het opslagterrein ook grote schade zullen oplopen. Een bijkomend effect zijn de domino-effecten, zodat bij bezwijken van één tank andere tanks ook kunnen exploderen.
- En als laatste het belangrijkste argument is dat bij drukopslag de stof meteen verdampt, waardoor een gaswolk snel kan ontstaan. Hierbij kunnen ook nog hoge stofconcentraties in de lucht voorkomen. Bij een dubbel containment voor gekoelde opslag zal bij lekkage, door de toepassing van een tweede buitentank en door afkoeling van de betonnen buitenwand, het gas relatief koud blijven waardoor een veel geringer deel onmiddellijk zal verdampen. Het verdampingsproces verloopt nu veel langzamer waardoor de concentratie in de lucht ook lager kan blijven. Eventueel kan het nog gekoelde deel van de stof weggepompt worden. Ook biedt de betonnen buitenwand een goede bescherming tegen inwerking van buitenaf, zoals explosies, projectielen en warmteuitstraling.

4.2.2. De pijpleidingen

Om een globale indruk te krijgen van de pijpleidingen moeten de volgende gegevens bekend zijn:

- De hoeveelheid stof die per uur of per seconde door de leiding stroomt.
- Aanname is: dat stroomsnelheid ongeveer 5 à 6 m/s is, het blijkt dat de stof zich dan nog "normaal" gedraagt. Dit heeft met de turbulentie in de pijpleiding te maken die onder andere weer afhankelijk is van de wrijving in de leiding, de viscositeit en ook de temperatuur van de stof heeft invloed.
- Tweede aanname is: dat bij de overslag van stof naar schepen de pompsnelheid afgestemd wordt op een overslag snelheid van ongeveer 10 uur. Dus als de inhoud van het schip bekend is kan worden bepaald wat de gewenste pompcapaciteit is.
- Ook de snelheid van de stof die van de proces installatie naar het tankpark wordt vervoerd moet nog een redelijke snelheid hebben, de afvoer is in dit geval meestal constant.

Uit een simpele berekening volgt nu een globale diameter van de leiding. De pompcapaciteit is bekend en bij alle begin en eind punten worden afsluiters geplaatst. Later kunnen de aantallen afsluiters nog uitgebreid worden als dit uit veiligheids-overwegingen nodig mocht zijn.



Voorbeeld druktanker met 5 bollen.

4.2.3. De tankschepen

Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen zijn er over het algemeen wat kleinere schepen in de vaart. Ook deze schepen kunnen drie soorten tanks aan boord hebben, die in de vorige paragraaf zijn beschreven. Modernere kleine produkttankers hebben nu de mogelijkheid om de ene keer gekoelde stoffen en de volgende keer onderdruk gebrachte stoffen te vervoeren. Vaak is er in deze schepen een compartimentering aan gebracht, zodat er kleinere afzonderlijke tanks aanwezig zijn.

Om een voorbeeld te geven van welke gegevens nodig zijn om een schip in de veiligheidsstudie op te nemen is hier een maatgevend schip van een bepaalde klasse uitgewerkt. Vrij naar de LPG integraal studie [17].

Beschrijving van een 5000 m³ schip (druk tank).

Dit schip wordt representatief verondersteld voor alle druk tank schepen. Het schip uit deze klasse is geschikt om ammonia, propaan, propeen, butaan, butadien en andere aan deze stoffen gerelateerde ladingen te vervoeren.

Het schip heeft de volgende basisgegevens:

lengte	107.7	m
breedte	15.4	m
diepgang	7.45	m
verplaatsing	6.035	ton
kruissnelheid	16	knopen
motor vermogen	5.400	pk
pompcapaciteit	500	m ³ /u
minimale ladingtemperatuur	-48	°C
maximale overdruk	7.5	Bar

Het schip heeft drie afzonderlijke ladingtanks:

maximale werkdruk	7.5	Bar
minimale werkdruk	0.2	Bar
capaciteit tank 1	1.260	m ³
tank 2	2.100	m ³
<u>tank 3</u>	<u>2.160</u>	<u>m³</u>
totaal	5.520	m ³

4.3. De chemische stoffen

4.3.1. De hoeveelheid chemische stoffen

Voordat de hoeveelheden en soort stoffen die zijn opgeslagen bepaald worden, is het wenselijk om het proces waarmee deze stof geproduceerd wordt, te analyseren. Uit die analyse blijken vaak vaste verhoudingen van geproduceerde stof te ontstaan. En door deze analyse kan bekeken worden welke 'ongewenste' bijprodukten er naast de gewenste produkten nog meer uit het proces voortkomen.

Maatgevend voor de hoeveelheid opgeslagen stof is de onderlinge wisselwerking van de volgende twee aspecten:

- De hoeveelheid geproduceerde stof. Hiervan moet ongeveer 1/12 deel van de jaarproduktie in opslag gehouden worden.
- De grootte van de schepen die gebruikt worden en de frequentie waarmee deze schepen in de haven aankomen. Een bijkomende aspect is de betrouwbaarheid of die schepen ook daadwerkelijk op tijd in de haven aankomen. Dit is afhankelijk van bijvoorbeeld de ouderdom en staat van onderhoud van de schepen, het aantal stakingen per jaar, hoe groot het schip is en of er wel plaats is voor de schepen.
- De eisen van de afnemers, of ze al dan niet vertragingen accepteren.
- De kosten die gepaard gaan met het aanhouden van een bepaalde hoeveelheid voorraad. En de eventuele risico's die geaccepteerd worden met betrekking tot een tekort aan opslag ruimte.

4.3.2. Indeling van beschouwde stoffen

In Nederland wordt voor de indeling van gevaarlijke stoffen het "Handboek Gevaarlijke stoffen" gebruikt. De volgende klassen zijn hierbij van belang:

klasse 2 - gassen

In deze klasse zijn de samengeperste, de vloeibare gemaakte en de onder druk opgeloste gassen opgenomen. Deze klasse bevat zowel inerte, giftige als brandbare gassen.

klasse 3 - brandbare vloeistoffen

In deze klasse zijn de brandbare vloeistoffen ondergebracht. Binnen klasse 3 is een onderverdeling aangebracht gebaseerd op de vlampunten van de vloeistoffen:

- 1 Vlampunt lager dan -18°C .
- 2 Vlampunt tussen -18°C en 23°C .
- 3 Vlampunt tussen 23°C en 61°C .

De vloeistoffen met een vlampunt hoger dan 61°C worden wegens het geringere brandgevaar niet verder meegenomen.

De stoffen in klasse 3 kunnen tevens giftige eigenschappen bezitten.

klasse 6.1 - giftige vloeistoffen

In deze klasse zijn de giftige vloeistoffen opgenomen.

klasse 8 - corrosieve vloeistoffen

Een aantal stoffen behorende tot de klasse 8 is tevens als giftig aan te merken.

Literatuur over gevaarlijke stoffen is te vinden in:

"Problematiek van gevaarlijke stoffen" [23].

"Het Groene boek" [24] staat voor:

"Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen".

4.3.3. Grenswaarden voor gevaarlijke eigenschappen van stoffen

Voor de beoordeling van de gevaaraspecten van de onderzochte stoffen is gekeken naar de giftige eigenschappen en naar effecten van brand en gaswolkexplosies.

Om de gevaaraspecten te beoordelen kan gebruikt gemaakt worden van zogenaamde grenswaarden. Deze grenswaarden zijn een maat voor het mogelijk optreden van gevaar, hinder en schade. Enkele grenswaardeconcentraties voor toxische stoffen zijn:

- MAC-waarde (Maximaal Aanvaardbare Concentratie):
die concentratie in de lucht, waarvan nu wordt aangenomen dat bij herhaalde blootstelling ook gedurende langere tijd, het geheel de gezondheid van mensen niet benadeelt.
- STEL-waarden (Short term Exposure Limit):
Maximum waarde waaraan een persoon kan worden blootgesteld gedurende een periode tot 15 minuten, zonder dat een van de volgende effecten optreedt: hevige irritatie, chronische beschadiging of onherstelbaar letsel, narcose of vermindering van capaciteiten.
- LC-waarden (Lethale concentraties):
LC₁₀ (Lethale Concentration Lowest)- de laagste concentraties van een stof waarvan vermeld is dat deze bij mensen overlijden tot gevolg hadden of waaraan proefdieren zijn overleden.
LC₅₀ - een concentratie van een stof waarbij op basis van dierproeven is berekend dat 50% van alle proefdieren zou overlijden.

Verder kunnen de EPEL-waarden (Eenmalige Populatie Exposure Limit) en de IDHL concentratie (Immediately Dangerous to Life and Health concentration) genoemd worden, maar deze waarden worden in Nederland minder gehanteerd.

De gehanteerde grenswaarden voor warmtestraling bij korte blootstellingsperioden zijn:

optreden van eerste graadsverbrandingen 2.5 kW gedurende 60s.
optreden van 1% slachtoffers 7.5 kW gedurende 60 s.

De gehanteerde grenswaarden voor de overdrukken zijn:

- zware schade aan gebouwen en levensgevaar	0.3 bar
- herstelbare schade aan gebouwen en levensgevaar	0.1 bar
- ruitbreuk met levensgevaarlijke scherfwerking	0.03 bar
- incidentele ruitbreuk	0.01 bar

De bij een explosie optredende overdruk geeft tot op grotere afstand effecten dan de bij een brand optredende brandstraling. Voor de beoordeling van de gevaaraspecten zijn dan ook de gevolgen van een gaswolkexplosie doorslaggevend.

4.3.4. De stoffeigenschappen

Voor de stoffeigenschappen moet bepaalde literatuur geraadpleegd worden. In het "Gele boek" [22] staan veel gassen en vloeistoffen vermeld. Speciaal voor samengedrukte gassen is het "Handbook of compressed gases" [25].

In het volgende rijtje staan de stofgegevens die in eerste instantie gewenst zijn voor het computerprogramma. Van de meest gangbare stoffen zijn deze gegevens in een bestand opgenomen. Het tweede gedeelte de model gegevens zijn belangrijk voor de directe invoer in het programma.

Karakteristieke grootheden	
molgewicht	g/mol
vloeistof dichtheid dichtheid	kg/m ³ bij ... K m ³ /kg
zelfontbrandingstemperatuur	°C
kritische druk kritische temperatuur	MPa bij ... K K
verbrandingswarmte verdampingswarmte soortelijke warmte	MJ/kg kJ/kg bij ... K J/kgK bij ... K
explosiegrenzen LEL UEL	% %
Modelgegevens	
hoeveelheid stof per jaar hoeveelheid in opslag	ton m ³ (1 maand)
maatgevend schip aantal schepen	ton m ³ per week per maand
pomp (overslag) capaciteit	m ³ /s m ³ /u

tabel 4.1 gegevens

5. Berekening van de mogelijke fysische effecten

5.1. Het computerprogramma

Bij het programma is de opbouw van het Gele boek [22] grotendeels aangehouden. Het programma heeft de volgende hoofdonderdelen:

1. De uitstroming:
 - a van vloeistof
 - b tweefasen
 - c van damp
 - d van gas
2. De verdamping:
 - a flash-verdamping
 - b van niet-kokende vloeistof
3. De dispersie:
 - a continu
 - b instantaan
4. De explosie:
 - a deflagratie
 - b detonatie
5. De warmte uitstraling:
 - a de fakkelbrand
 - b de plasbrand
 - c de BLEVE

Het programma is menu gestuurd, dat wil zeggen dat gekozen kan worden uit een van de hoofdonderdelen, waarna in dat onderdeel de verschillende berekeningen kunnen worden toegepast.

Voor elk onderdeel wordt een uitdraai van de uitvoer bekeken op de gevraagde gegevens. De uitdraai is gemaakt voor etheen, de stof gebonden gegevens zijn van te voren ingelezen uit een bestand. Deze gegevens worden hier dan ook niet vermeld.

De resultaten die volgen uit de berekening in een bepaald onderdeel wordt "meegenomen" naar het volgende onderdeel en fungeren daar als invoer gegeven. Daarintegen hoeft men het programma niet elke keer van het begin tot het einde doorlopen, men kan gewoon elk gewenst gegeven veranderen.

GASUITSTROMING

Gatdiameter (in m) : .5
Contr.coefficient : .61
Cp/Cv : 1.18
Temperatuur (in K) : 303
Druk (in Pa) : 1.609E+07
Mol.gewicht (in kg/kmol): 28.1

Kritische uitstroming
Initiele bronsterkte (in kg/sec) = 4146.917

Inhoud vat (in m3) : 100
Uitstroomtijd (in min) : 10

Tijd tot subkr. uitstr. (in min) = .3295536
Op het moment van overgang tot subkritische uitstroming gold :
Bronsterkte op tijd t (in kg/sec) = 12.45157
Uitgestroomd op tijd t (in kg) = 17751.49
Gemidd. bronsterkte (in kg/sec) = 897.7542

DAMPUITSTROMING

Gatdiameter (in m) : .5
Contr.coefficient : .61
Cp/Cv : 1.18
Temperatuur (in K) : 303
Druk (in Pa) : 1.609E+07
Mol.gewicht (in kg/kmol): 28.1

Kritische uitstroming
Initiele bronsterkte (in kg/sec) = 4146.917

Grootte v.h. vat (in m3): 100
Vloeistofinhoud (in m3) : 95
Uitstroomtijd (in min) : 10
Kooktemperatuur (in K) : 170
Krit. temperatuur (in K): 283
Vlstdichth. (in kg/m3) : 570
Bijbeh. temp. (in K) : 171
Soort. warmte (in J/kgK): 2790
Bijbeh. temp. (in K) : 169
Verdamp.warmte (in J/kg): 483000
Bijbeh. temp. (in K) : 169

Tijd tot subkr. uitstr. (in min) = .6237838
Op het moment van overgang tot subkritische uitstroming gold :
Bronsterkte op tijd t (in kg/sec) = 45.34408
Uitgestroomd op tijd t (in kg) = 33993.6
Gemidd. bronsterkte (in kg/sec) = 908.2633

5.2. De uitstroombmogelijkheden

5.2.1. Damp- en gasuitstroming

Damp- en gasuitstroming vindt plaats bij twee soorten vloeistoffen:

- Niet kokende vloeistoffen (benzine) of van gekoelde kokende vloeistoffen.
- Kokende vloeistoffen, die onder eigen dampdruk zijn opgeslagen (LPG).

Afhankelijk van de dichtheid van de stof zelf en de druk in het opslagvat bepaalt of een stof dan wel superkritisch dan wel subkritisch uitstroomt. Deze processen verlopen tussen een adiabatisch en isotherm proces in.

Gegevens die gevraagd worden:

Bij gas- en dampuitstroming worden dezelfde gegevens gevraagd namelijk de volgende:

Voor de bepaling van de uitstroming uit een leiding:

- 1 De gatdiameter van de uitstroom opening in meters.
- 2 De opslagtemperatuur in Kelvin.
- 3 De opslagdruk in Pascal.

Voor de bepaling van de uitstroming uit een vat:

- 1 De inhoud van het vat in kubieke meters.
- 2 De uitstroomtijd in minuten.

VLOEISTOFUITSTROMING

Gatdiameter (in m) : .5
 Gathoogte (in m) : 0
 Vloeist.hoogte (in m) : 5
 Contr.coefficient : .61
 Druk (in Pa) : 1.609E+07
 Temperatuur (in K) : 303
 Vl.st.dichth. (in kg/m³) : 570
 - bij temp. (in K) : 171
 Kritische temp. (in K) : 283

Initiele bronsterkte (in kg/sec) = 16176.91

Vloeistofinhoud (in m³) : 100
 Uitstr.tijd (in minuten): 10

Maximale uitstroomtijd (in min) = 5.875616E-02
 Bronsterkte op tijd t (in kg/sec) = 0
 Uitgestroomd op tijd t (in kg) = 57000
 Gemidd. bronsterkte (in kg/sec) = 16168.52

Laagdikte plas (in mm) : 20

Plasoppervlakte (in m²) = 5000
 Diameter ronde plas (in m) = 79.80869

TWEEFASENUITSTROMING

Gatdiam. (m) : .5
 Gathoogte (m): 0
 Vl.st.hgte (m): 5
 Contr.coeff. : .61
 Temperat. (K): 303
 Druk (Pa) : 1.609E+07
 Molgw.(g/mol): 28.1
 Krit.temp.(K): 283
 PT-curve: P1 : 100000
 (P-Pa) T1 : 170
 (T-K) P2 : 1000000
 T2 : 221
 Vl.dh.(kg/m³): 570
 -bij temp.(K): 171
 Srt.w.(J/kgK): 2790
 -bij temp.(K): 169
 Verd.w.(J/kg): 483000
 -bij temp.(K): 169

Massafractie damp = .1156274
 Dichtheid mengsel (in kg/m³) = 380.3289
 Initiele bronsterkte (in kg/sec) = 8891.919

Vloeistofinhoud (m³) : 100
 Uitstr.tijd (in min.): 10

Maximale uitstroomtijd (in min) = .1068885
 Bronsterkte op tijd t (in kg/sec) = 0
 Uitgestroomd op tijd t (in kg) = 57000
 Gemidd. bronsterkte (in kg/sec) = 8887.768

5.2.2. Vloeistofuitstroming

Bij de vloeistofuitstroming kunnen twee typen onderscheiden worden:

- Niet kokende vloeistoffen en (gekoelde) kokende vloeistoffen, waarbij sprake is van opslag onder atmosferische condities. De hydrostatische druk bepaalt voornamelijk de drijvende kracht voor de uitstroming van de vloeistof.
- Kokende vloeistoffen, die onder eigen dampdruk zijn opgeslagen. Hier bepaalt niet alleen de hydrostatische druk, maar ook het verschil tussen de eigen dampdruk en de atmosferische druk, de drijvende kracht voor de uitstroming.

Bij deze kokende vloeistoffen kunnen beide uitstromingsvormen zich voordoen. Bij 'gewone' vloeistoffen kan alleen de vloeistofuitstromingsberekening uitgevoerd worden.

De gegevens die gevraagd worden:

A Voor het berekenen van de uitstroming uit een leiding:

- 1 De gatdiameter van de leiding in meters.
- 2 Op welke hoogte het gat zich bevindt in meters.
- 3 Op welke hoogte de vloeistof zich bevindt in meters.
- 4 De opslagdruk in Pascal.
- 5 De opslagtemperatuur in Kelvin.

B Voor de berekening van de uitstroming uit een vat:

- 1 De inhoud van het vat in kubieke meters.
- 2 De uitstroomtijd in minuten.

C Voor de vloeistofuitstroming kan de vorming van een plas berekend worden. Daarvoor moet de laagdikte van de plas geschat worden de volgende indeling aangehouden:

- Ruwe grond met kuilen : 25 mm.
- Ruwe grond, bouwland : 20 mm.
- Vrij vlakke grond : 10 mm.
- Vlakke grond, stenen : 5 mm.

PLASVERDAMPING

Lengte of straal plas (m): 100
Breedte plas (m, 0=cirk.): 0
Windsnelheid (m/sec) : 2
Temperatuur (K) : 303
Dampspanning (Pa) : 89000.01
Molecuulgew. (kg/kmol) : 28.1

Verdampingssnelheid (in kg/m².sec) = 5.094992E-03
Verdamping (in kg/sec) = 159.9827

FLASHVERDAMPING

Cont. bron (in kg/sec) : 159.9827
Inst. bron (in kg) : 57000
Temperatuur (in K) : 303
Kooktemperatuur (in K) : 170
Kritische temp. (in K) : 283
Soort. warmte (in J/kgK): 2790
- bij een temp. (in K) : 169
Verdamp.warmte (in J/kg): 483000
- bij een temp. (in K) : 169

Percentage flash (in %) = 82.85633
Flash cont. bron (in kg/sec) = 132.5558
Flash inst. bron (in kg) = 47228.11

Verhouding vol. ingemengde
lucht t.o.v. vol. adiabatische flash (max 66x) : 66
Luchttemperatuur (in K) : 293
Verhouding totaal in gas-
fase t.o.v. adiabatische
flash (max 1.2x) : 1.2
Molecuulgew.(in kg/kmol): 28.1

Hoeveelheid lucht continu ingemengd (in m³/sec) = 7484.957
Totaal continu in gasfase (in kg/sec) = 159.9827
Hoeveelheid lucht instantaan ingemengd (in m³) = 2666804
Totaal instantaan in gasfase (in kg) = 57000

5.2.3. Verdamping

Bij vloeistof uitstroming zal, afhankelijk van het type vloeistof, een plas worden gevormd, waarna verdamping vanuit deze plas plaatsvindt, gevolg door dispersie. Er zijn drie soorten verdamping te onderscheiden:

- 1 Initiële verdamping: optredend bij kokende vloeistoffen, die onder eigen dampdruk zijn opgeslagen. Bij vrijkomen zal de vloeistof zich snel aan zijn omgevingscondities aanpassen door middel van flash-verdamping. Dit houdt in snel verdampen met onttrekking van warmte aan zichzelf zodat het proces eindigt als de vloeistof kookt.
- 2 Hierdoor komen we bij de tweede soort de kokende (gekoelde) vloeistoffen die warmte onttrekken aan de ondergrond. Waardoor de stof verdampt. Dit proces zal steeds langzamer verlopen doordat het temperatuur verschil steeds kleiner wordt.
- 3 Niet kokende vloeistoffen met een ondergrond die een temperatuur heeft die gelijk is aan het kookpunt van de vloeistof, zodat verdamping door dampdiffussie optreedt. Hier speelt de wind een belangrijke rol bij de afvoer van damp, maar ook de vorm van de plas ten opzichte van de wind.

Van al deze gevallen is een grafiek gemaakt om de processen te verduidelijken (zie figuur 5.2).

De gegevens die ingevoerd kunnen worden:

A Bij plasverdamping:

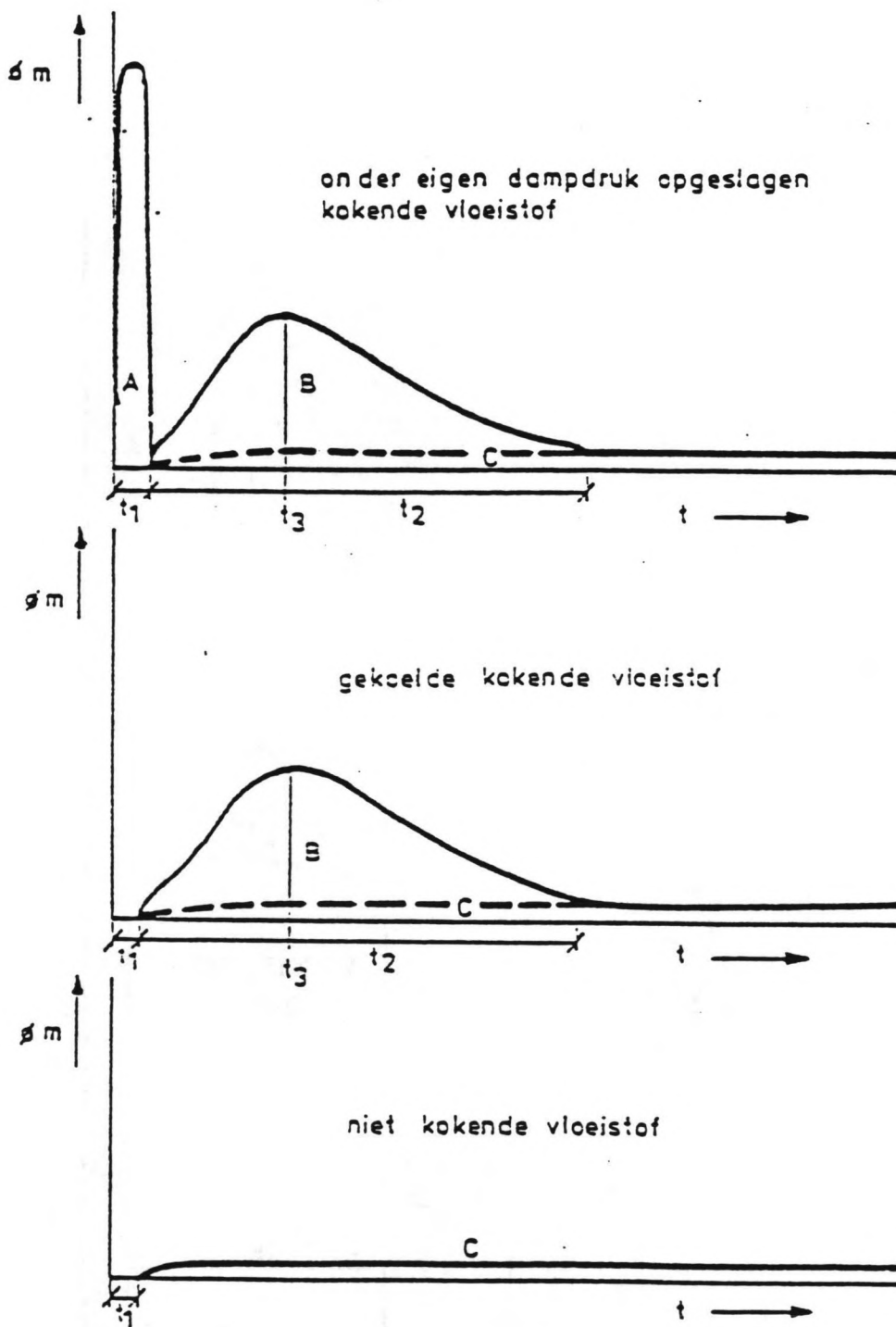
- 1 De lengte of straal van de plas in meters.
- 2 De breedte van de plas in meters of in geval er een cirkelvormige plas wordt aangenomen moet er een 0 worden ingevuld.
- 3 De temperatuur (in Kelvin).
- 4 De dampspanning (in Pascal).

B Bij flashverdamping:

B1 Voor de berekening van het percentage flash:

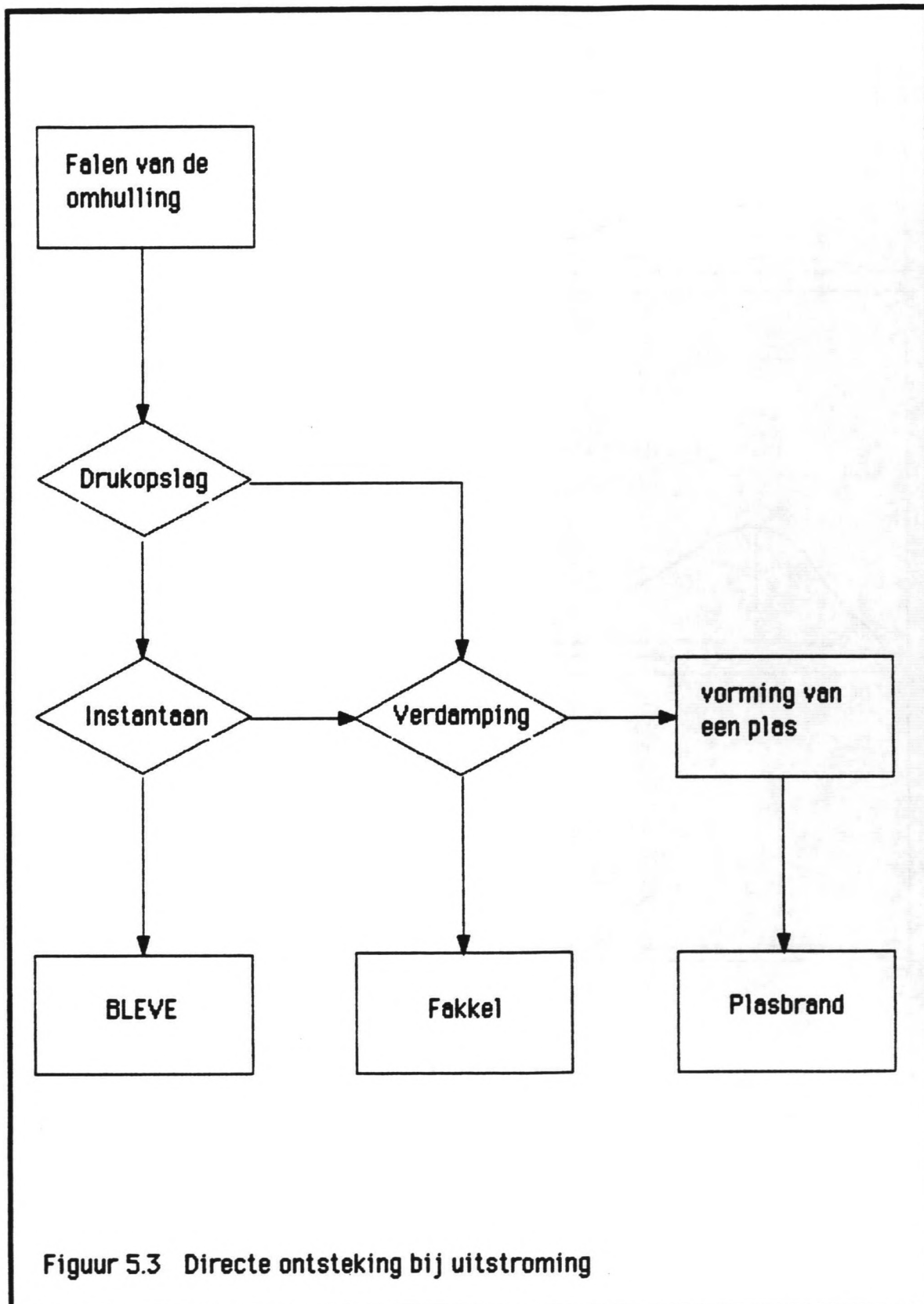
- 1 Een continue bron (in kg/sec).
- 2 En/of een Instantane bron (in kg).
- 3 De opslagtemperatuur (in Kelvin).

B2 De tweede berekening gaat over de inmenging van lucht in de stof. Deze berekening is niet van belang voor de effect-berekening, en wordt verder buiten de beschouwing gelaten.



- t_1 = tijdstip vrijkomen tot tijdstip begin plasvorming
- t_2 = tijdstip begin plasvorming tot tijdstip dat de ondergrond tot vloeistof temperatuur (=kooktemperatuur) is afgekoeld
- t_3 = plasgrootte maximaal
- A = initiële verdamping
- B = verdamping kokende vloeistof op warme ondergrond
- C = verdamping niet kokende vloeistof, of kokende vloeistof op koude ondergrond

Figuur 5.2



Figuur 5.3 Directe ontsteking bij uitstroming

5.3. Warmte-uitstraling

5.3.1. Inleiding

Wanneer er geen ontsteking in de nabijheid van het ontsnappingspunt optreedt, zal de instantaan of continue uitstromende stof (eventueel via plasverdamping) in de atmosfeer worden gedispergeerd en daarbij onder bepaalde voorwaarden een explosieve gaswolk vormen. Wanneer er wel ontsteking optreedt (directe ontsteking) zal, afhankelijk van het type stof en de uitstroming, kunnen ontstaan:

- a een vuurbal (BLEVE: "Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion")
- b een fakkel
- c een plasbrand

De omstandigheden waaronder deze vormen van brand kunnen ontstaan zijn aangegeven in het identificatie schema (figuur 5.3).

B.L.E.V.E.

Hoeveelheid brandbare stof (in 1000 kg) : 1000

Diameter vuurbal (in m) = 577.5303

Brandduur (in sec) = 30.93424

Afstand tot 50% doden (in m) = 630

Afstand tot 1% doden (in m) = 810

Afstand tot 1e graadsbrandwonden (in m) = 1440

5.3.2.De BLEVE

Een BLEVE kan worden behandeld als een vuurbal. De bleve kan alleen optreden bij instantane uitstroming van onder druk vloeibaar gemaakte gassen. Eerst wordt uit de hoeveelheid brandende materie, de straal en de brandtijd berekend. De zichtfactoren zijn afhankelijk van de positie en de oriëntatie van de ontvanger ten opzichte van de straler. Wat de oriëntatie betreft wordt eenvoudigheidshalve verondersteld dat de ontvanger:

- a Vlak is en van verwaarloosbare afmetingen in verhouding tot die van de straler en de afstand tot de straler.
- b Zich op grondniveau bevindt.
- c Ten opzichte van de kortste verbindinglijn tussen straler en ontvanger een specifiek nader vast te stellen oriëntatie heeft.

Bij deze berekening wordt alleen naar de hoeveelheid stof die instantaan ontsnapt (in kg) gevraagd.

FAKKELBRAND

Vrijkomende hoeve. (in kg/s) : 897.7542
Blootstellingstijd (in sec) : 60

Fakkellengte (in m) = 181.5127
Afstand tot 50% doden (in m) = 105
Afstand tot 1% doden (in m) = 138
Afstand tot 1e graadsbrandwonden (in m) = 264

STRALING PLASBRAND

Temp.vlst.(K): 303
Kooktemp. (K): 170
Krit.temp.(K): 283
Omgev.tmp.(K): 293
Rel.vocht.(%): 70
Vrbr.w.(J/kg): 4.771E+07
Verd.w.(J/kg): 483000
-bij temp.(K): 169
Srt.w.(J/kgK): 2790
-bij temp.(K): 169
LofD-plas (m): 79.8087
B-pl.(O=cirk): 0
X-afstand (m): 100
Y-afstand (m): 0

Stralingssterkte op hor. vlak (kW/m²) = 2.421501
Stralingssterkte op ver. vlak (kW/m²) = 6.561311
Maximale stralingssterkte (kW/m²) = 6.993888

Blootst.tijd (in sec) : 60

Afstand tot 50% doden (in m) = 50
Afstand tot 1% doden (in m) = 86
Afstand tot 1e graadsbrandwonden (in m) = 205

5.3.3. De fakkel

Als een gas of een tot vloeistof verdicht gas ontsnapt, ten gevolge van de hoge uitstroom snelheid zal het fenomeen turbulente vrijstraal optreden.

Dit is alleen mogelijk als het gaat om semi-continue uitstroming van onder druk gebrachte stoffen. Wanneer nu een dergelijk mengsel wordt ontstoken, ontstaat een fakkel die begrenst wordt door een vlak waarin de samenstelling van het gas/lucht mengsel ongeveer tot een evenwicht verdeling is gekomen.

De gegevens die ingevoerd kunnen worden:

- 1 De hoeveelheid vrijkomende stof (in kg/s).
- 2 De tijd dat een persoon aan de straling wordt blootgesteld (in seconden).

5.3.4. De plasbrand

De plasbrand kan ook optreden bij gekoelde stoffen, maar daar treedt meteen afkoeling van de omgeving op waardoor een zeer langzame verdamping optreedt.

De gegevens die ingevoerd kunnen worden:

- 1 De temperatuur van de vloeistof (in Kelvin).
- 2 De lengte of de diameter van de plas (in meters).
- 3 De breedte of als de plas cirkelvormig is een 0 invullen.
- 4 De tijd dat een persoon aan de straling wordt blootgesteld (in seconden).

5.3. Dampconcentratie

5.3.1. Inleiding

Onder dispersie van gassen en dampen in de atmosfeer wordt verstaan de verspreiding en verdamping van deze stoffen door de turbulente luchtstroming.

Er zijn twee berekeningen te maken namelijk met een semi-continue bron of met een instantane bron.

Uit de formule is op te maken dat een bron als instantaan kan worden beschouwd indien:

$$X > 18 * U_w * t_{bron}$$

en als continu indien:

$$X < 1.8 * U_w * t_{bron}$$

Op het tussenliggende gebied wordt aanbevolen om te interpoleren.

U_w = De windsnelheid op 10 meter hoogte (m/s).

t_{bron} = De tijdsduur van de bron (sec.).

X = De afstand waarop de effecten nog optreden.

5.3.2. Semi-continue dispersie

De eerste uitleg van een berekening wordt uitgevoerd met een veronderstelde continue bron. De volgende uitgangspunten en beperkingen gelden bij deze berekening:

- a Het gas dat in de wolk aanwezig is, gaat niet verloren.
- b De verspreiding van het gas geschiedt zowel in horizontale als in verticale richting.
- c Er wordt uitgegaan van een Gaussische-verdeling voor de concentratie verdeling van de verspreide stof.
- d Niet toepasbaar bij windstille condities.
- e Beperkte nauwkeurigheid.

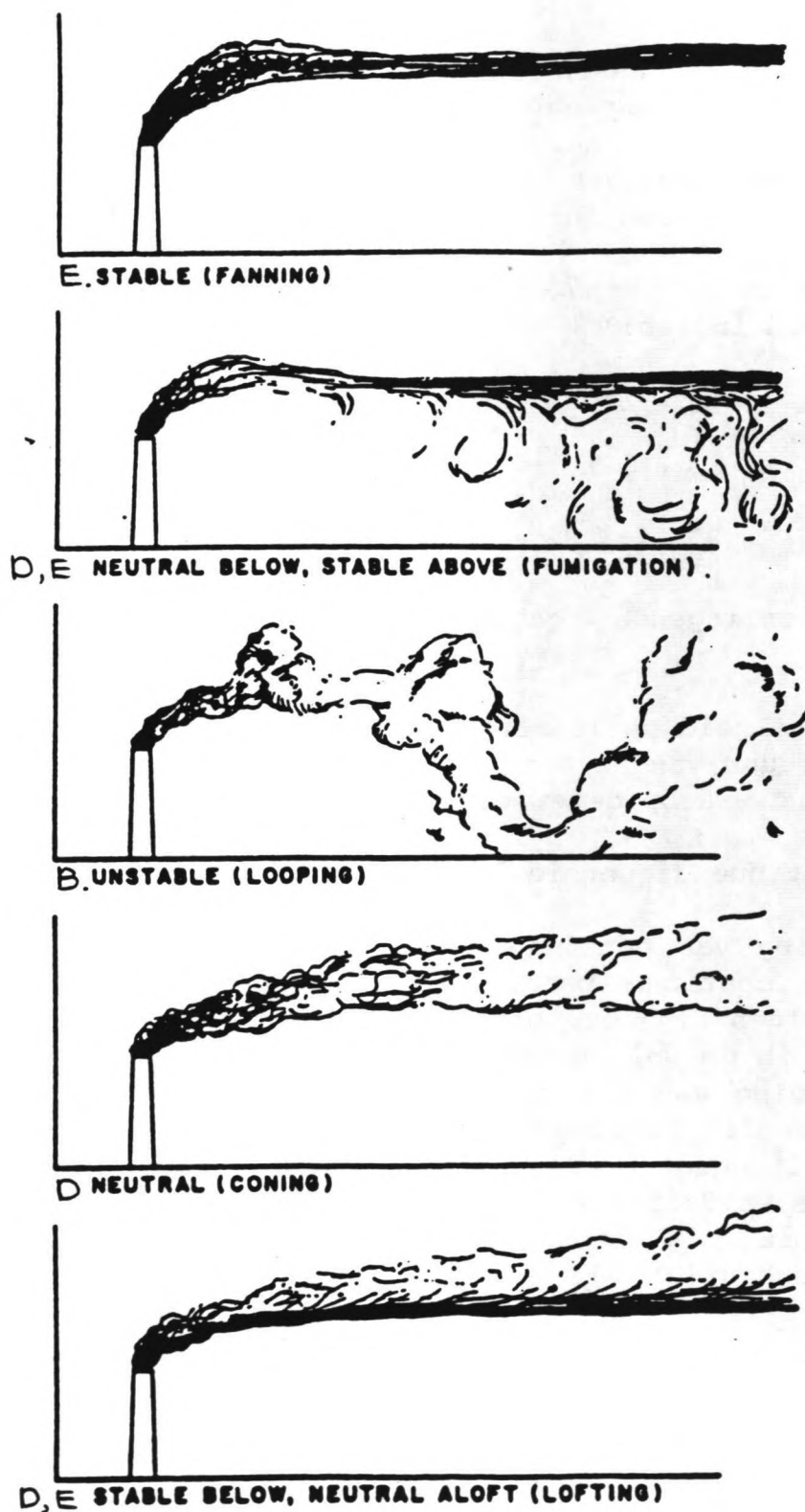


Figure Effect of atmospheric stability on plume dispersion. From Slade (1968).

Om de meteorologische condities in rekening te brengen, zijn er verschillende stabiliteitsklassen opgesteld. Deze zijn afhankelijk van de bewolgingsgraad, de windsnelheid, het seizoen en of het dag of nacht is. Hier volgen de volgende klassen uit:

- A = zeer onstabiel
- B = onstabiel
- C = licht onstabiel
- D = neutraal
- E = stabiel
- F = zeer stabiel

De verspreiding van de stof wordt door een sigma (σ) uitgedrukt de index bepaald de richting waarvoor de verdeling geldt. In dit model worden twee richtingen verondersteld namelijk:

- σ_y = de concentratie verdeling in y-richting
- σ_z = de concentratie verdeling in z-richting

Verder wordt ook de "ruwheid" van het omliggende terrein in rekening gebracht. Onder de ruwheid van een terrein wordt verstaan de aard van het oppervlak waarover de wolk zich verplaatst. Hier worden de volgende ruwheden onderscheiden:

- Vlak land $Z = 0.03$ meter.
- Bouwland $Z = 0.10$
- Cultuurland $Z = 0.30$
- Woongebieden $Z = 1.00$
- Stedelijkgebied $Z = 3.00$

Dit alles leidt tot de volgende formule:

$$C(x, y, z) = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot U_w \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp^{-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}} \cdot \left[\exp^{-\frac{(x-h)^2}{2 \cdot \sigma_x^2}} + \exp^{-\frac{(x+h)^2}{2 \cdot \sigma_x^2}} \right]$$

En de laatste term wordt met behulp van spiegelbronnen de verliezen van het gas aan het aardoppervlak weer gecorrigeerd.

- C = concentratie als functie van x, y, z. [kg/m³]
- M = bronsterkte [kg/s]
- U_w = windsnelheid op 10 meter hoogte [m/s]
- h = bronhoogte [m]

CONTINUE DISPERSIE

Bronsterkte (in kg/sec) : 100
Windsnelheid (in m/sec) : 5
Hoogte bron (in m) : 0
Breedte wolk (in m) : 0
Hoogte wolk (in m) : 0
Stabiliteitsklasse (A-F) : D
Ruwheidslengte (in m) : 1
Afstand x-richting (in m): 100
Afstand y-richting (in m): 0
Afstand z-richting (in m): 0

Concentratie (in mg/m3) = 77320.28

CONTINUE DISPERSIE

Bronsterkte (in kg/sec) : 100
Windsnelheid (in m/sec) : 5
Hoogte bron (in m) : 0
Breedte wolk (in m) : 0
Hoogte wolk (in m) : 0
Stabiliteitsklasse (A-F) : D
Ruwheidslengte (in m) : 1
Onderexplosiegrens (in %): 2.7
Bovenexplosiegrens (in %): 34
Mol.gewicht (in kg/kmol) : 28.1

Afstand tot bovenste expl.grens (in m) = 55.49841
Afstand tot onderste expl.grens (in m) = 268.71
Hoeveelheid binnen expl.grenzen (in kg) = 2627.919

Deze formule is afgeleid van de Gauss-verdeling, ook wel normale verdeling genoemd, en wordt beschreven door de volgende formule:

$$F(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * \exp^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}}$$

De factor $1/\sigma\sqrt{2\pi}$ is een normeringsfactor, die het oppervlak onder de curve gelijk maakt aan 1.

5.3.3. Instantane dispersie

Voor de instantane bron worden de berekeningen op dezelfde wijze opgezet als voor een continue bron, dat wil zeggen door aan te nemen dat de wolk zowel in de x-, als de y-, als de z-richting gaussisch verdeeld is. Ook gelden voor een instantane bron dezelfde beperkingen voor het Gaussisch model als voor een continue bron.

De formule krijgt nu de volgende vorm:

$$C(x, y, z, t) = \frac{M}{(2*\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} * \exp^{-\frac{(x-u_w t)^2}{2\sigma_x^2}} * \exp^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} * [\exp^{-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}} + \exp^{-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}}]$$

De formule heeft bij de instantane bron een term voor de verplaatsing van de wolk in de tijd erbij, de rest van de formule komt overeen met de continue bron.

De gegevens die gevraagd kunnen worden:

Bij zowel een continue bron als een instantane bron zijn de gevraagde gegevens hetzelfde namelijk:

- 1 De bronsterkte (in kg of kg/s).
- 2 De hoogte waarop de bron zich bevindt (in m).
- 3 De windsnelheid (in m/s).
- 4 De stabiliteitsklasse (A t/m F).
- 5 De ruwheidslengte van de omgeving (in m).
- 6 De afstand waarop de concentratie berekend moet worden (in x, y en z richting t.o.v. de bron).

DEFLAGRATIE (TNO-model)

Hoev. in expl. gebied (kg) : 83.34746
Verbrandingswarmte (J/kg) : 4.771E+07
Vlamsnelheid(40,80,160m/s): 160
Driftafstand (m) : 10

Afstand tot 0,01 bar (in m) = 511.8057; incl. drift = 521.8057
Afstand tot 0,03 bar (in m) = 170.6019; incl. drift = 180.6019
Afstand tot 0,1 bar (in m) = 51.18057; incl. drift = 61.18057
Afstand tot 0,3 bar (in m) = 17.06019; incl. drift = 27.06019

DETONATIE

Hoev. in expl. gebied (kg) : 83.34746
Verbrandingswarmte (J/kg) : 4.771E+07
Driftafstand (m) : 10

Afstand tot 0,01 bar (in m) = 780; incl. drift = 521.8057
Afstand tot 0,03 bar (in m) = 280; incl. drift = 180.6019
Afstand tot 0,1 bar (in m) = 110; incl. drift = 61.18057
Afstand tot 0,3 bar (in m) = 50; incl. drift = 27.06019

DEF LAGRATIE (Correlatiemodel)

Hoev. in expl. gebied (kg) : 83.34746
Verbrandingswarmte (J/kg) : 4.771E+07
Driftafstand (m) : 10

Afstand tot 0,01 bar (in m) = 293.9501; incl. drift = 303.9501
Afstand tot 0,03 bar (in m) = 110.2313; incl. drift = 120.2313
Afstand tot 0,1 bar (in m) = 44.09252; incl. drift = 54.09252
Afstand tot 0,3 bar (in m) = 22.04626; incl. drift = 32.04626

5.4. De gaswolkexplosie

5.4.1. Inleiding

Na het uitstromen van een brandbaar gas of damp vindt een menging plaats van deze stof met de lucht. Deze zogenaamde gaswolken kunnen explosieve eigenschappen hebben als de concentratie brandbare stof in de wolk genoeg zuurstof aan kan zuigen en dat de grens van het brandbare gedeelte van de stof nog niet is bereikt. Deze twee grenzen worden de Lower Explosion Limit (LEL) en de Upper Explosion Limit (UEL) genoemd. Deze grenzen zijn afhankelijk van de beschouwde stof.

Als er zich gedurende korte tijd een geringe hoeveelheid energie aanwezig is (bijv een sigaret) zal een zichzelf onderhoudende reactie ontstaan. De vlam die te beschouwen is als een permeabele zuiger, zal in het nog niet gereageerde brandbare mengsel compressie golven opwekken. Deze golven planten zich voort met de geluidsnelheid als de vlamsnelheid hoog genoeg is zullen de opeenvolgende compressie golven elkaar inhalen en er ontstaat een schokgolf. Deze vorm van schokgolf wordt een deflagratie genoemd.

Een tweede mechanisme berust op een temperatuur verhoging door een schokgolf in plaats van door warmte overdracht, zoals in het geval van deflagratie. Indien het gas bij de verhoogde temperatuur achter het schokgolffront voldoende snel tot reactie komt, zal de vrijgekomen verbrandingsenergie de schokgolf ondersteunen en in stand houden. Als aan de rand van de gaswolk geen energie meer wordt toegevoegd zal de schokgolf in sterkte afnemen. Deze vorm wordt detonatie genoemd.

De gegevens die gevraagd kunnen worden:

Deze gegevens komen uit resultaten van de dispersie berekening en zullen niet ingevuld moeten worden.

Kanttekening bij deze berekeningen is dat het detonatie model niet geschikt is voor de stoffen die hier behandeld worden. Dit komt omdat in de buiten lucht er bijna geen drukopbouw kan plaatsvinden, waardoor alleen deflagratie kan optreden. In een gesloten gebouw kan detonatie optreden, omdat daar de drukgolven niet weg kunnen.

6. Risico

6.1. Risico

Als in het rapport het woord risico valt, wordt hiermee bedoeld: de kans op een gebeurtenis met ongewenste gevolgen, en de omvang van de ongewenste gevolgen.

De mate van risico die een individu accepteert, hangt onder meer af van zijn leeftijd en zijn persoonlijke instelling, doch ook de volgende factoren spelen een rol:

- De mate, waarin het risico vrijwillig wordt geaccepteerd.
- De herkenbaarheid van het risico.
- Het persoonlijk voordeel, verbonden aan het trotseren van het risico.
- De maatschappelijke mogelijkheden om het risico te beperken.
- De historische achtergrond van het risico (herhalingstijd).

Voor vrijwillig ondernomen activiteiten lijkt het individu gemiddeld genomen een kans op overlijden te accepteren die ongeveer gelijk is aan de kans op sterfte door ziekte. Van onvrijwillige activiteiten wordt echter een grotere veiligheid verwacht. Hier is de kans op overlijden van 10^{-4} per persoon per jaar de bovengrens.

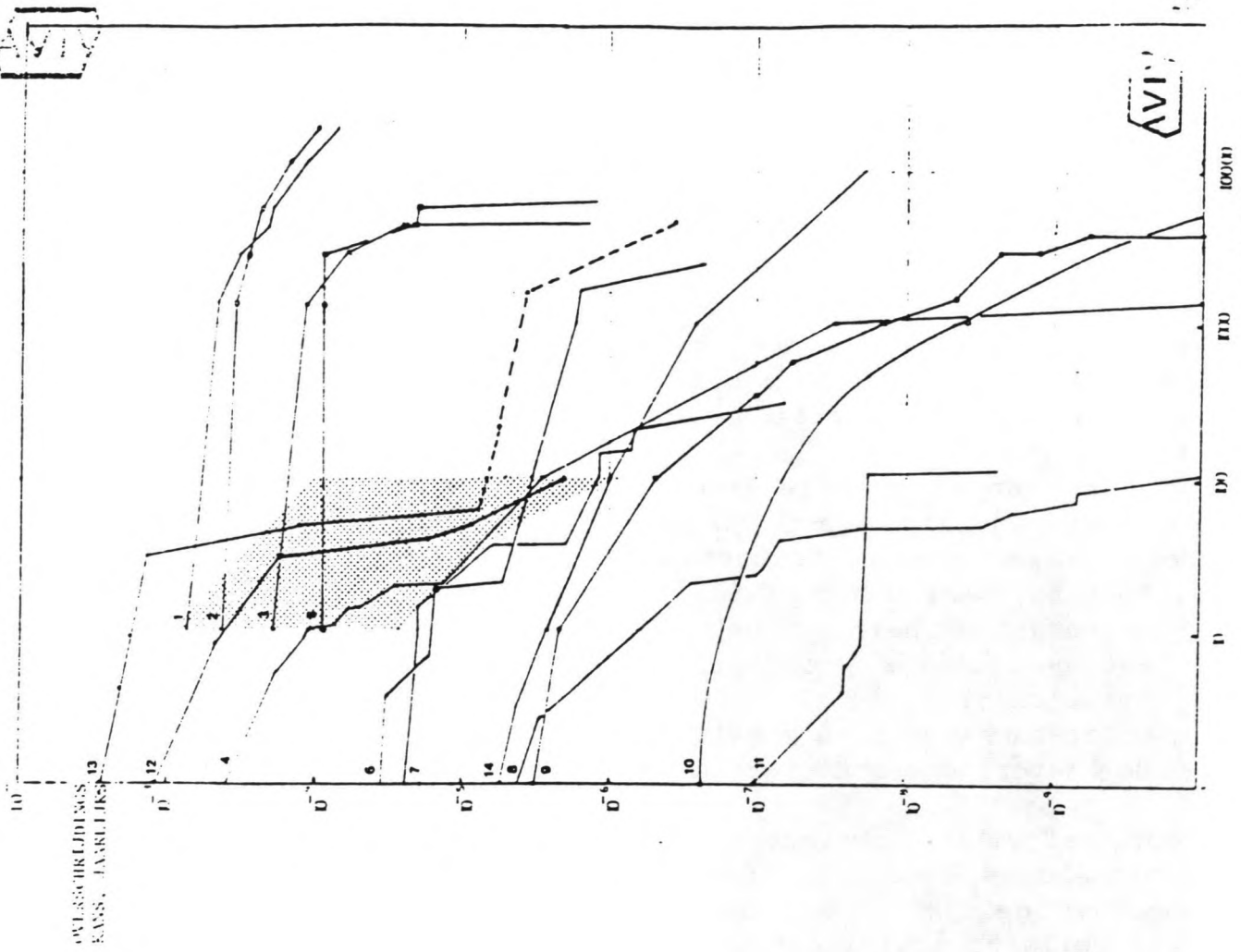
Deze absolute normen zijn afhankelijk van het beschouwde systeem of de situatie waarin men zich bevindt, en onafhankelijk van de wijze waarop de norm bereikt kan worden. Een voorbeeld hiervan is de MAC-waarden die door technische, economische en politieke argumenten worden vastgesteld.

Wanneer er sprake is van meerdere slachtoffers bij een specifieke ongewenste gebeurtenis, is er sprake van een groepsrisico. De norm voor het groepsrisico van industriële activiteiten zijn in het Besluit Risico's Zware Ongevallen vastgesteld. Bij deze normstelling heeft de overheid zich in zekere mate laten leiden door de methode van de revealed preferences (zie volgende paragraaf). Voor het acceptabel groepsrisico wordt een frequentie van 10^{-7} per jaar bij 10 doden, even zwaar gewogen als een frequentie van 10^{-9} per jaar bij 100 doden.

Figuur 1. Verschillende cumulatieve frequentiecurven uit risicostudies:

1. Canvey: alle NH₃-aktiviteiten, inclusief ammoniumnitraat opslag; aanvoer, overslag, vervoer per treinv wagon.
2. Canvey: alle HF-aktiviteiten, procesinstallaties en opslag bij drie raffinerijen in hoeveelheden van 20, 30 en 150 ton.
3. Canvey: LPG-opslag in 14 tanks, zowel drukopslag als gekoelde opslag in tankgroottes van 400 en 10.000 ton.
4. COVO: 100 ton drukopslagtank chloor AKZO.
5. Canvey: ammoniumnitraatopslag in twee tanks van 3100 en 6200 ton.
6. TNO: LPG-aanvoer en overslag met 125000 m³ tanker, 10 x jaarlijks, Scheide.
7. TNO: LPG-aanvoer en overslag met 75.000 m³ tanker, 10 x jaarlijks, Amsterdam.
8. COVO: drukslag propeen, 600 ton tank Oxirane.
9. COVO: NH₄ - drukopslag, 1000 m³ UKF.
10. DRK: 1000 MWe, drukwaterreactor type Nihilis B (gemiddelde van 19 standplaatsen).
(alleen acute slachtoffers).
11. TNO: LPG-aanvoer en overslag: 125.000 m³ tanker, 5 x jaarlijks, Rijmond.
12. TNO: goederencentrum nabij rangeertrein kijkhoek (+ 600.000 goederenwagons per jaar).
13. TNO: aanvoer, overslag en opslag IMC, 125.000 m³ schepen 80 x jaarlijks, Maasvlakte.
14. Maxin: 1000 MWe, drukwaterreactor, Burssele, (alleen acute slachtoffers).

Op basis van de casuïstiek van zware ongevallen met aandames uit konklusie 10 geschat gebied voor ongevallen met stationaire installaties.



Literatuur over dit zeer uitgebreide onderwerp is te vinden in:

Management cursus van veiligheidskunde [bijlage I]. Hierin staan meerdere uitgebreide literatuurlijsten over dit onderwerp.

"Probabilistisch ontwerpen" [12].

"Acceptable risk" [26].

"System reliability and risk analysis" [27].

2.Revealed preferences

Deze methode gaat uit van het risico-niveau dat in het verleden getolereerd is door de maatschappij. Dit komt neer op de individuele- en groepsrisico's die hiervoor zijn besproken.

Kritiek op deze methode is dat het verschil tussen prijs en waarde, tussen mortaliteit en utiliteit, en de mogelijkheden voor de verschillende individuen (rijk en arm) komen onvoldoende naar voren.

3.Expressed preferences

De methode maakt niet, zoals de hiervoor beschreven methoden, indirect gebruik van maatschappelijke waarden, maar direct, door de mening van mensen zelf te vragen. Met behulp van psychometrische analyses worden factoren geschaald die een relatie met risico-acceptatie hebben.

Onvrijwillige risico's met vergelijkbare jaarlijkse frequenties van optreden kunnen toch anders beoordeeld worden omdat het ene risico meer catastrofaal van aard is dan het andere risico. Voorstanders van de methode van expressed preferences vonden dan ook dat de maatschappij niet in staat is gebleken risico's adequaat te kunnen beheersen. Dit in tegen stelling tot de revealed preferences. Kennelijk tolereert de maatschappij ook enkele vrijwillige risico's met een hoog risico en een laag profijt, zoals roken, motorfietsen en alcoholische dranken. Waar wel overeenstemming met de methode van de expressed preferences in werd gevonden, was dat grotere risico's getolereerd mogen worden als er een groter profijt tegenover staat, en dat er een verschil in normen moet zijn voor vrijwillige en onvrijwillige risico's.

Nadeel van deze methode is:

- Het is moeilijk om een goede doorsnijding van de bevolking te krijgen en dat mensen niet voldoende in staat zijn de vragen adequaat te interpreteren.

6.2. Risico evaluatie methoden

Om te kunnen beoordelen of een systeem een aanvaardbaar risico-niveau heeft, zijn er meerdere risico-evaluatie methoden ontwikkeld. Deze methoden toetsen de risico's aan de hiervoor beschreven normen. Er worden hier drie methoden toegelicht die geschikt zijn voor het optimalisatie-proces van het risico-niveau:

- 1 risk-cost-benefit-analysis
- 2 expressed preferences
- 3 revealed preferences

1. Risk-cost-benefit-analysis

Risk-cost-benefit-analysis is een methode waarmee kosten voor een risico-reductie gewogen worden tegen de baten die het oplevert. Deze methode werkt volgens het principe voor de keuze van de optimale scheepsgrootte. Het (maatschappelijk) acceptabele risico-niveau ligt op het punt waar de kosten van de risicoreductie en de maatschappelijke kosten minimaal is (afgeleide gelijk aan nul). Voor deze economische benadering moeten ponderabele en imponderabele gevolgen in een monetaire eenheid uitgedrukt worden.

Deze methode kan absoluut en relatief gebruikt worden. Indien het absoluut gebruikt wordt, betekent het dat de bovengrens van wat nog een aanvaardbaar risico is, ligt bij het risico met de minimale kosten. Dit punt hoeft overigens in het geheel niet overeen te komen met wat in de praktijk als aanvaardbaar geacht wordt. In meer relatieve zin wordt deze methode gebruikt om verschillende alternatieven onderling te vergelijken.

Nadelen van deze methode zijn:

- a. De kosten en baten zijn moeilijk toe te schrijven aan bepaalde bevolkingsgroepen of individuen.
- b. Om alles in een monetaire eenheid uit te drukken moeten ook imponderabele effecten in geld worden omgezet. Dit geeft met name problemen bij het vaststellen wat de kosten zijn voor een mensenleven zijn, of voor invaliditeit.

Voordelen van deze methode zijn evenwel:

- a Het leereffect dat er van uit gaat.
- b Het structureert de besluitvorming.
- c Het is controleerbaar voor derden.

Elke risico-analyse techniek heeft een eigen toepassingsgebied. Hieronder wordt kort weergegeven wanneer een bepaalde techniek kan worden toegepast.

1 expressed preferences:

Als de gevolgen die een stof kan veroorzaken nog niet goed bekend zijn (bv. doordat het om een nieuwe stof gaat), zal deze methode gebruikt kunnen worden. Vraagstukken met betrekking tot kernenergie kunnen met deze stof geschaald worden.

2 revealed preferences:

Effecten van stoffen waar veel ongevallen data van aanwezig zijn, kan de mate van acceptatie gevonden worden. Deze methode wordt toegepast door de beleidmakers om een bepaalde stof in een gevarenklasse in te delen. In de loop van de tijd kan de stof in een andere klasse terecht komen doordat over het proces andere denkbeelden zijn gevormd (ba door de medische wereld).

3 risk-costs-benefit-analysis:

Deze methode kan gebruikt worden om te bekijken hoeveel het kost om het rest-risico (boven een bepaalde norm), weg te werken. Een belangrijk instrument om een keuze te maken tussen bepaalde alternatieve ontwerpen te maken.

6.1.2.Kansbegrip in de risico-analyse

Eerst een definitie: kans is de relatieve frequentie van optreden, nadat een oneindig aantal identieke experimenten is uitgevoerd.

Voor een risico-analyse gaat dit kansbegrip niet in deze vorm op. Het frequentistisch kansbegrip en de hierop gebaseerde traditionele statistiek wordt nu toegepast bij het kwantificeren van risico's.

Op de volgende punten wijkt de definitie af van zijn normale vorm:

- Om statistiek te kunnen bedrijven is het noodzakelijk dat er een bepaalde hoeveelheid data beschikbaar is, welke representatief dient te zijn voor het "experiment" waarin men geïnteresseerd is. Ongevalsscenario's zijn zo infrequent, dat aan deze voorwaarde nagenoeg nooit wordt voldaan.
- Er is vaak informatie aanwezig die betrekking heeft op de ongevalsscenario's, maar deze informatie kan niet expliciet in de statistische gegevens verwerkt worden.
- Omdat onderzoek op dit gebied vaak zeer specifiek is, zal het moeilijk zijn om hierover objectieve uitspraken te doen. Ook als er wel genoeg (verouderde) data aanwezig. Dan komt er meestal ervaring op dat gebied kijken en die is altijd subjectief.

Bij een risico analyse wordt dan ook vaak gebruik gemaakt van subjectieve kans. Dit is de mate van geloof, of mate van vertrouwen dat een bepaald individu stelt in het optreden van een gebeurtenis en dat gebaseerd is op de relatieve frequentie waarmee data is opgetreden, maar ook gebaseerd op kwantitatieve en kwalitatieve informatie.

Bij de resultaten van deze risico analyse moeten dan ook de volgende onzekerheden in acht worden genomen:

- In hoeverre zijn alle relevante basis verschijnselen geïdentificeerd en op een adequate wijze in het model verwerkt.
- En zijn de invoer gegevens wel objectief gekozen.

Door nu zoveel mogelijk verschillende aspecten van de risico analyse te laten variëren zal toch een redelijk beeld gegenereerd worden van wat de "kans" is dat bepaalde ongewenste gebeurtenissen optreden. Hiervoor is het noodzakelijk om zoveel mogelijk gegevens te genereren en daarvoor is het nodig om een computer model te gebruiken.

6.3. Risico beheersing

De beperking van kans op en de effecten van bepaalde calamiteiten kunnen procedureel of technisch van aard zijn. Als voorbeeld de risico beheersing voor de scheepvaart in Nederland behandeld:

Als belangrijke effectbeperkende maatregel is te noemen, dat men de toegelaten tankgrootte in de schepen zou kunnen beperken. Een beperking van de vaarsnelheid beperkt zowel de kans als het effect van een aanvaring.

Voor de scheepvaart zou dat tot de volgende procedurele maatregelen kunnen leiden:

- Een toelatingsbeleid voor schepen
 - binnenkomst uitsluitend op een bepaalde periode van het etmaal
 - binnenkomst uitsluitend bij goed zicht
 - binnenkomst gebonden aan maximale windkracht en bepaalde zeegangscondities.
 - binnenkomst uitsluitend toegestaan als het betrokken schip in perfecte conditie verkeert.
- Actieve begeleiding van de schepen
 - routecontrole via walradar
 - beloodsing dwingend voor te schrijven vanaf een bepaald punt, afhankelijk van de scheepsgrootte.
 - routebeschrijving (verkeersscheiding)
 - escortering door patrouillevaartuig vanaf een nader te bepalen punt.
 - oploop verbod voor de overige binnenlopende schepen en verbod om te worden opgelopen.
 - ruime sleepboothulp vroegtijdig aanwezig.
- Bijzondere maatregelen
 - instelling verplicht ankergebied voor wachtende tankschepen.
 - speciale training voor loodsen en gezagvoerders
 - speciale seinvoering
 - uitwerking draaiboek voor behandeling tankschepen en een incidenten draaiboek.

Veiligheidsstudie: onderdeel van de kwaliteitszorg

Voor elk sub-systeem zal een lijst van maatregelen opgesteld kunnen worden. Voor het tankpark wordt verwezen naar de DOW fire and explosion index. Bij deze index wordt namelijk een heel scala van aanbevelingen gedaan m.b.t. veiligheidsmaatregelen.

6.4. Conclusies en aanbevelingen

Deze algemene veiligheidsstudie zorgt voor een extra ontwerp criterium met betrekking tot de volgende keuzebeslissingen:

- de vestigingsbeslissing
- de vergunningverlening
- het verlagen van het risiconiveau door het ontwerp aan te passen.

Het computerprogramma "FYSEFF" geeft snel inzicht in de mogelijke fysische-effecten. Door de menu gestuurde opzet van het programma zijn snel veel resultaten te genereren.

Het is aan te bevelen om de veiligheidsstudie parallel met het ontwerp van de haven te laten lopen. De gegevens die nodig zijn komen overeen met de gegevens die nodig zijn voor het ontwerp van een haven. Bijvoorbeeld wind- en klimaatgegevens, een scheepvaartstudie en de gegevens over de indeling van de haventerreinen en de omliggende gebieden.

Literatuurlijst

- [1] Bedrijfszekerheid theorie en techniek
K.B.Klaassen, J.C.L. van Peppen, A. Bossche.
DUM 1988

- [2] Project organisatie
H.J. Wagenmaker e.a.
Mei 1985 code:bb 23

- [3] De efficiency en effectiviteit van risicostudies.
AVIV (Enschede)
1983

- [4] Checklist procesinstallaties
Aandachtspunten voor een veilig ontwerp
1986 code:V-11

- [5] Havens, haven- en terminal-planning (deel 1 en 2)
Stichting postdoctoraal onderwijs in de civiele techniek
Delft, 1980

- [6] Atmospheric deffusion
Pasquill F. en Smidt F.B.
Chichester 1983

- [8] Inventarisatie en evaluatie risicodragende activiteiten in
Gelderland.
AVIV: Provincie Gelderland
Augustus 1989

- [9] Management curses Veiligheidskunde
L.H.J. Goossens
1990

- [10] Safty in process plant design
G.L. Wells
Eerste druk 1980

- [11] Het Rode boek
Methoden voor het bepalen en verwerken van kansen.
Eerste druk 1985 code:CPR-12

- [12] Probabilistisch ontwerpen
A. Vrouwenvelder
1987

- [13] Learning from accidents
T. Kletz.
Ltd. 1988
- [14] Bundesanstalt für materialprüfung
Über das verhalten von tankcontainer für unter druck
verflüssigte gase bei fallbeanspruchungen.
December 1984
- [15] Analysis of the LPG incident in San Juan, Mexico city
TNO
November 1984
- [16] Analysis of the risk inherent in the importation of LPG in
bulk at four sites in the Netherlands.
The ministry of health and environmental protection
October 1980
- [17] LPG integraal NOTA
Opgesteld door de ambtelijke coördinatiecommissie
Provincie zuid-holland
Feb. 1983
- [18] Risk analysis
of six potentially hazardous industrial objects in the
Rijnmond area, a pilot study.
A report of the rijmond public authority
Eerste druk 1982
- [19] Storage tanks for refrigerated liquefied gases with an
outer concrete container
Committee for cryogenic storage in concrete tanks.
june 1985
- [20] Terminals, Havens F 13
H. Velsink en R. Groenenveld e.a.
- [21] Havens; haven en terminal planning
Stichting postdoctoraal onderwijs in C.T.
Delft 1980 deel I+II
- [22] Het Gele boek
Methoden voor het berekenen va de fysische effecten.
Directoraat-Generaal van de arbeid
Herdruk 1989 code:CPR-14



WINGROEP
VERBODEN TOEGANG
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

- [23] Problematiek van gevaarlijke stoffen
Stichting post academiale Vorming Gezondheidstechniek
Delft, 1981
- [24] Het Groene boek
Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en
goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.
Eerste druk 1990 code:CPR-16
- [25] Handbook of compressed gases
Compressed gas association
New York, 1980
- [26] Acceptable risk
Cambridge university press
1983
- [27] System reliability and risk analysis
E.G. Frankel
1984

De volgende personen wil ik bedanken voor hun bijdrage aan deze studie:

- Technische Universiteit Delft
 - Prof.ir. H.Velsink
 - Dr.ir. L.H.J. Goossens
 - Ir. R. Groenveld
 - Prof. Stelling
 - Ir. W. Meermans
 - Dr.ir. C. Korving

- Dienst Centraal Beheer Rijnmond; Schiedam
 - Dhr. Roodbol
 - Dhr. J. Beerthuis

- Rotterdams havenbedrijf
 - Dhr. P.C. van der Kluit

- T.N.O. Afdeling Industriële Veiligheid; Apeldoorn
 - Dhr. Pietersen
 - Mw. Blom

- Fokker afdeling bedrijfszekerheid; Schiphol
 - Dhr. Benes

- Sociale zaken afdeling arbeidsinspectie; Den haag
 - Dhr. Postuma
 - Dhr. Desbouprie
 - Dhr. Markus

- Veiligheidsinstituut; Amsterdam

Bijlage II

Beknopte handleiding van het computerprogramma:

Voor het opstarten van het programma moet de "f.bat" file aangeroepen worden.

Door "enter" in te toetsen wordt het onderdeel opgeroepen waarop de cursor zich bevindt. De eerste handeling is altijd het invoeren van de gewenste stof er is een uitgebreid data bestand aanwezig met de meest 'gangbare' gevaarlijke stoffen.

Zoals in het rapport is vermeldt kan het programma van het moment van uitstroming via de verdamping tot het gewenste fysische-effect komen. Hiervoor moet wel gelet worden op het feit dat bepaalde effecten niet bij alle stoffen kunnen optreden. Voor de mogelijke fysische-effecten wordt verwezen naar het hoofdrapport.

De gegevens worden naar elk volgende onderdeel overgebracht. Er bestaat de mogelijkheid om elk onderdeel apart te beschouwen. Als op de explosie berekening een gevoeligheidsanalyse moet worden toegepast kunnen de hoeveelheden en omgevingscondities veranderd worden. De stofgegevens blijven uiteraard hetzelfde.

Voor de toepassingsmogelijkheden van het computerprogramma wordt verwezen naar de case-studie. In hoofdstuk 4 wordt met behulp van de referentie tabellen de meeste berekeningen een keer uitgevoerd.

Voor meer informatie kunt u contact op nemen met R.G.de Roos telefoon 015-145532.

De schrijver van het programma is de heer Roodbol telefoon 010-4273273.

Dit programma mag voor onderwijsdoeleinden gebruikt worden.

Er is een nieuw programma in voorbereiding waar gebruikt wordt gemaakt van het nieuwe gele boek.

Het programma is in gebruik bij de Dienst Centraal Beheer Rijnmond in Rotterdam.

2 Veiligheidsstudies: Risico-Analyse, Technieken en Risicobeheersing

Dr.ir. L.H.J. Goossens
Safety Science Group
TU Delft

2.1 WAT IS RISICO?

risico?

Een gangbare interpretatie van het begrip risico is: Risico = Kans X Effect. Deze keuze is evenwel vrij willekeurig. In tabel 2.1 worden een aantal definities genoemd die zoal in omloop zijn (Vlek, 1987). Zie ook de definitie van Risk in Appendix 5.2, paragraaf 1.3.4 van Week A.

Tabel 2.1: mogelijke definities van risico (naar Vlek, 1987)

-
1. Kans op een ongeval (of verlies).
 2. Omvang van een mogelijk of denkbaar ongeval/verlies.
 3. Produkt van kans op, en omvang van mogelijk ongeval/verlies ("verwacht verlies").
 4. Variantie van kansverdeling over positieve en negatieve beslissingsconsequenties.
 5. Grafiek van kansen op, en mogelijke grootten van verschillende ongevallen/verliezen.
 6. Mate waarin mogelijk verlies zwaarder/lichter wordt gewogen dan vergelijkbare winst.
-

facts vs values

Risico-analyses worden bijna altijd uitgevoerd in het kader van het nemen van beslissingen. Voorbeelden van beslissingen zijn principbeslissingen, vestigingsbeslissingen, vergunningsbeslissingen, saneringsbeslissingen, routeringsbeslissingen. Voor een nadere uitwerking van deze beslissingen voor wat betreft de risico-analyse wordt verwezen naar AVIV (1983). In dat verband is het zinvol onderscheid te maken tussen de analyse van de 'feiten' en de analyse van de 'waarden' die daaraan toegekend worden. In de Angelsaksische literatuur wordt wel gesproken van 'judgement of facts' en 'judgement of values'. Voor achtergrondmateriaal wordt verwezen naar Vlek (1987), Moskowitz and Bunn (1987), Hyman and Stiftel (1988), Otway and Thomas (1982) en Fiorino (1989).

Fundamenteel is het begrip risico gekoppeld aan een drietal vragen:

1. Wat kan er gebeuren?
2. Wat is de kans op optreden van die gebeurtenissen?
3. Wat zijn de gevolgen als die gebeurtenissen optreden?

definitie van risico

Kaplan and Garrick (1981) hebben deze drie vragen weergegeven in de vorm van een triplet voor de beschrijving van een risico:

$$R = \langle s,p,x \rangle \quad (2.1)$$

- R is het risico
- s geeft een scenario weer
- p is de kans op optreden van dat scenario
- x zijn de gevolgen wanneer dat scenario optreedt.

Op basis van formule (1) kan het risico van een activiteit nader uitgewerkt worden.

2.2 RISICO-ANALYSE: STRUKTUUR EN ONZEKERHEDEN

Een risico-analyse van een activiteit vindt plaats in een vijftal stadia:

1. beschrijving van het systeem, waarbinnen de activiteit plaatsvindt
2. identificatie van de ongewenste gebeurtenissen (= de scenario's s)
3. schatting van de kansen p op de scenario's
4. berekening van de gevolgen x van ieder van de scenario's
5. interpretatie van het risico R.

analyse structuur

Een risico-analyse wordt uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in het risico van een systeem, i.c. het verminderen van de onzekerheden omtrent de inschatting van dat risico. Aangezien we spreken over het risico van de totale activiteit, inclusief alle risicobeperkende maatregelen, wordt dit risico ook wel aangeduid als restrisico. Enerzijds hebben de gangbare technieken voor risico-analyses beperkingen (onvolledige modellering en gegevens), waardoor per definitie onzekerheden blijven bestaan. Anderzijds gaat het bij besluitvormingsprocessen (waar de risico-analyse expliciet voor bedoeld is) met name om beslissingen met betrekking tot die onzekerheden. De diepgang met betrekking tot inschatting van de onzekerheden wordt overigens bepaald door het besluitvormingsproces zelf. Dit kan variëren van globaal inzicht tot diepgaande analyses van de respons van alle componenten op het (dis)-functioneren van een systeem.

In een risico-analyse zijn een drietal *typen onzekerheden* te onderscheiden (Vesely and Rasmuson, 1984):

onzekerheden

- onzekerheden in de volledigheid van (de beschrijving van) het systeem
- onzekerheden in de modellering (van het systeem)
- onzekerheden in de parameters en de data (over het systeem).

Onzekerheden in de volledigheid hebben betrekking op lacunes in de significante verschijnselen en verbanden. Er zijn twee soorten te onderscheiden:

1. lacunes die slaan op de entiteiten in een systeem, zoals volledigheid van initiërende gebeurtenissen, of volledigheid van de faalwijzen van het systeem of een component; en

volledigheid

2. lacunes die slaan op de relaties in een systeem, zoals de juistheid van interacties tussen initiërende gebeurtenissen en systeemfalen.

modellering

Onzekerheden in de modellering hebben betrekking op de toepasbaarheid en de nauwkeurigheid van de gebruikte modellen, zoals frekwentiemodellen (bijv. ongevalsmodellen, modellen van systeemfalen), systeem-gevolg modellen (bijv. modellen van exotherme reacties, containment response modellen) en gevolgenmodellen voor buiten het systeem (bijv. atmosferische verspreidingsmodellen, gezondheidseffekt modellen).

gegevens

Onzekerheden in de parameters en de data hebben te maken met de precisie en onnauwkeurigheid van de gebruikte inputgegevens. Dat kunnen frekwentie parameters zijn (bijv. ongevalsfrekquenties, faalfrekquenties, menselijk falen frekwenties, gegevens over afhankelijk falen), systeem parameters (bijv. temperaturen, drukken, chemische eigenschappen, debieten) en gevolg parameters van buiten het systeem (bijv. meteorologische gegevens, bevolkingsdichtheden, frekwenties van optreden van aardbevingen, gegevens over sabotage).

De vijf stadia van een risico-analyse en de drie typen onzekerheden zijn in de vorm van een matrix weer te geven (figuur 2.1). Als alle hokjes (verantwoord) ingevuld zijn, heeft de beslisser een maximale input voor het nemen van een beslissing.

2.3 RISICO-ANALYSE: PROCEDURE

Het risico verbonden aan een bepaalde activiteit kan met behulp van formule (1) weergegeven worden als verzameling triplets

$$R = \{ \langle s_i, p_i, x_i \rangle \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

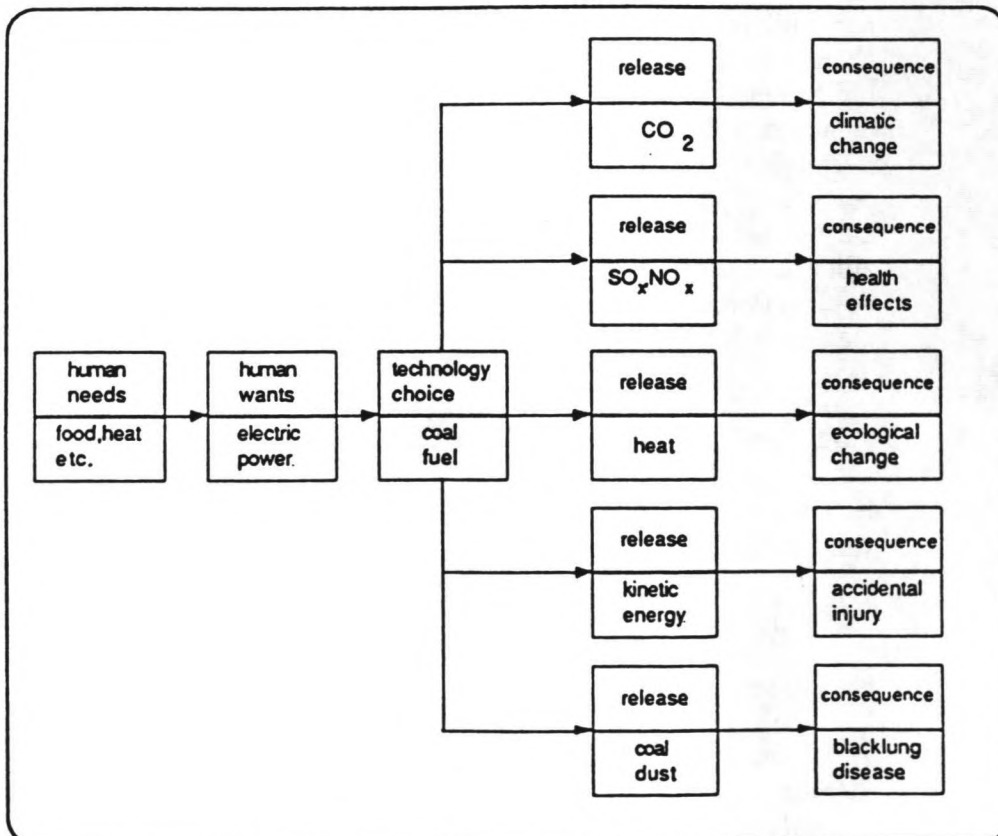
verklaring risico

Nadere verklaring van s, p, x:

1. Alvorens tot omschrijving van scenario's over te kunnen gaan moet vastgesteld worden voor welke gevaarsaspecten de analyse uitgevoerd gaat worden, binnen de context van de betreffende activiteit. In figuur 2.2 is weergegeven hoe met behulp van een hooivork de verschillende gevaren van een activiteit in kaart gebracht kunnen worden (Hohenemser et al, 1986). Per gevaarsaspect worden de scenario's vastgesteld en in eerste aanleg separaat behandeld.
2. De kans is dimensieloos en conditioneel voor de gekozen scenario's. Vaak wordt met een frekwentie (aantal gebeurtenissen per tijdseenheid) gewerkt.

	beschrijving systeem	scenario s	kans P	gevolgen x	risico R
onzekerheid in volledigheid					
onzekerheid in modellering					
onzekerheid in parameters en data					

Figuur 2.1: risico-analyse matrix



Figuur 2.2: de "pitchfork" topologie van technologische gevaren, geïllustreerd aan de hand van kolengestookte energie-opwekking. Aan deze eenvoudige technologie zijn verschillende te onderscheiden gevarenpatronen te zien, met ieder een eigen manier van vrijkomen van energie of materiaal, en met eigen gevolgen. Overgenomen van Hohemser et al (1986)

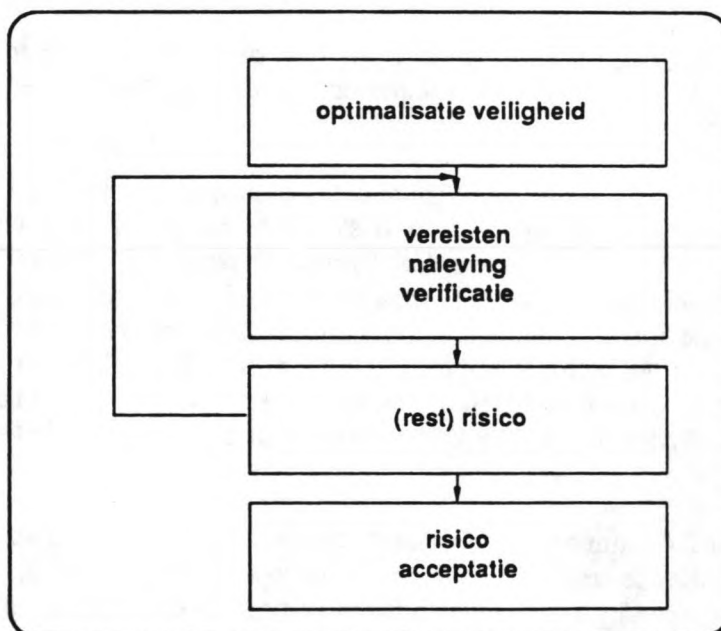
- De gevolgen moeten vooraf gespecificeerd worden. Betreft het alleen dodelijke slachtoffers, of ook gewonden, of ook materiële schade, of ecologische schade (weer nader specificeren in species).

In Appendix 2.1 wordt nader op het risico ingegaan, met name voor installaties die onder het Besluit Risico's Zware Ongevallen vallen.

2.4 RISICO-ANALYSE: OPTIMALISEREN VAN VEILIGHEID

vereisten

Het doel van een risico-analyse is gericht op het grondig kunnen nemen van beslissingen over de optimalisatie van de veiligheid. Dit vereist een beheersfilosofie teneinde te kunnen voldoen aan de *vereisten m.b.t. veiligheid* binnen de kontekst van een gevaarlijke activiteit. Onder *vereisten m.b.t. veiligheid* verstaan we al die voorwaarden die de levenscyclus van het betreffende technologische systeem omvatten vanuit het oogpunt van veiligheid. Vandaar dat specificatie van de vereisten tevens inhoudt specificatie van de middelen tot naleving ervan en specificatie van de middelen ter verificatie van deze naleving. (zie figuur 2.3)



Figuur 2.3: veiligheidsoptimalisatie en risicobeheersing

doelen

Veiligheidsdoelen ('safety targets') kunnen beschouwd worden als vereisten met betrekking tot veiligheid in een verder weg liggende fase van de levenscyclus van het systeem. Veiligheid reflecteert een nadruk op menselijke, organisatorische en omgevingsaspecten naast de technologische aspecten.

risicobeheersing

De vereisten m.b.t. veiligheid houden uiteraard verband met het risicomangement (risicobeheersing). Er is evenwel een verschil in uitwerking voor wat betreft de verificatie en naleving van de vereisten enerzijds en beheersing van het restrisico anderzijds. Vereisten hebben tot doel risico's te elimineren of te reduceren. Er

blijft echter altijd nog een restrisico over. Het aanvaarden van dat restrisico en het onder controle houden van dat restrisico is een permanente taak voor het risicomangement.

Het tot stand brengen van de vereisten, inclusief de beoordeling en de evaluatie ervan is steeds een momentopname van het systeem. Het doorsluizen ervan naar het relevante niveau van uitvoering en de wijze waarop de momentopname in de vereisten - naleving - verificatie loop (vnn-kringloop) ingebracht wordt, is een vorm van kwaliteitsbeheer, met als oogmerk dus optimalisatie van de veiligheid. Dit proces is in figuur 2.3 geschetst.

vnn-kringloop

Strikt genomen is er geen verschil tussen veiligheidseisen enerzijds en gezondheidseisen en milieueisen anderzijds. Principieel geldt dat al deze eisen veiligheidkundig bezien vanuit het betreffende systeem beoordeeld moeten worden, en niet zozeer vanuit de schadekant.

Sleutelbegrippen zijn *modellering en data*. Bovengenoemde optimalisatie beweegt zich in het continuum van 'kwalitatief' tot 'kwantitatief'.

Kwalitatieve optimalisatie houdt categorische en functionele ontwerp/gedrags-vereisten van een systeem in, en naleving vindt plaats op basis van een oordeel over de situatie. Bijv. het veiligheidsbeleid op topniveau is vaak kwalitatief. Kwantitatieve optimalisatie houdt in het formuleren van vereisten voor fysische/chemische/biologische grootheden. Naleving wordt bereikt door een of andere vorm van meten. De verantwoordelijkheid voor de naleving ligt meestal een paar niveaus lager in de hiërarchie van het systeem.

optimalisatie matrix

Figuur 2.4 toont het bovenstaande concept in twee dimensies. De verschillende methodologieën staan op de verticale as, het kwalitatieve/kwantitatieve continuum staat op de horizontale as: lopend van 'geen model, geen data' in de linker boven hoek tot 'ongevalssequentie modellering, incident data' in de rechter beneden hoek.

Beide assen moeten als continuum opgevat worden. Bijv. tussen 'geen model' en 'foutenboom model' zijn verschillende fasen van analyse mogelijk: 'hazard and operability analysis', 'failure mode and effect analysis', 'common cause/common mode analysis'. Op het kwalitatief/kwantitatief continuum heb je bijv. op de lijn 'no model, no data': 'checklists' (kwalitatieve optimalisatie) en 'rapid ranking methoden' als de MOND-Index en DOW Fire & Explosion Index (kwantitatieve optimalisatie). Foutenbomen kunnen kwalitatief zijn, in de vorm van 'logic trees' of 'MORT-bomen' (MORT = Management Oversight and Risk Trees), of kwantitatief (betrouwbaarheidsberekeningen).

	kwantitatieve optimalisatie veiligheid	kwantitatieve optimalisatie veiligheid
geen model geen gegevens	software	
foutenboommodel subjectieve gegevens	menselijk falen hardware - mechanische componenten	
foutenboommodel subjective & objectieve gegevens	 hardware - elektrische componenten	
ongevalssequentie model incident/ongevalsgegevens	 complete operationele systemen	

Figuur 2.4: optimalisatie matrix van veiligheidsstudies

Voor ongevallen met een relatief hoge frequentie van optreden geldt dat er in principe ongevalsgegevens ter beschikking staan. De beschikbare kennis zal inzicht moeten kunnen verschaffen voor wat betreft de kwalitatieve optimalisatie van de veiligheid (linker beneden hoek van figuur 2.4). Of er voldoende inzicht is om een kwantitatieve optimalisatie te realiseren, zeker met betrekking tot nog te nemen maatregelen, is op voorhand niet te beantwoorden. Optimalisatie van het vervoer van gevaarlijke stoffen en het beoordelen van gezondheidsschade en milieuschade hebben zelfs in het algemeen meer beperkingen wat betreft beschikbare kennis.

levenscyclus

De structuur van figuur 2.4 laat tevens de mogelijkheid open de levenscyclus van het betreffende systeem te modelleren. Daarbij worden vier specifieke fasen in de levenscyclus onderscheiden, die ruwweg corresponderen met de vier blokken op de verticale as van figuur 2.4:

- specificatie van het systeem
- ontwerpfase
- ontwikkelingsfase/installatiefase
- operationele fase.

Uiteraard kunnen de fasen van wijzigingen in het systeem en afbraak van het systeem eraan toegevoegd worden. In de figuur is ook aangegeven hoe het met de kennis over de verschillende onderdelen van een systeem staat.

2.5 RISICO-ANALYSE TECHNIEKEN

Overzicht van gangbare technieken:

1. *Rapid ranking methoden*: met deze (kwantitatieve) schalingsmethoden kan snel beoordeeld worden hoe een concrete installatie qua risico in te schatten is. Voorbeelden uit de procesindustrie zijn de DOW Fire & Explosion Index (DOW, 1987), de DOW Toxicity Index (de Graaf, 1989) en de MOND Index (ICI, 1985). De beoordelingscriteria op grond waarvan stationaire installaties onder de verplichting van de Arbeidsomstandighedenwet (Arbeidsveiligheidsrapport) of onder de verplichting van het Besluit Risico's Zware Ongevallen (Externe Veiligheidsrapportage) vallen, zijn eveneens voorbeelden van rapid ranking technieken. De RASH-methode (Rapid Screening of Hazard-methode) is een voorbeeld van zo'n techniek voor het beoordelen van gevaarlijke stoffen, zowel ten bate van arbeidsveiligheid als ten bate van drinkwaterkwaliteitsbeheersing (Jones et al, 1988).
2. *Checklists*: met deze (kwalitatieve) methoden kan redelijk snel een beeld worden gevormd aan welke aspecten aandacht is besteed. Voor de procesindustrie zijn een aantal checklists geproduceerd door de overheid (Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid): voor technische aspecten (AI, 1986) en voor procedurele aspecten (AI, 1989). Dit zijn passieve checklists. Bij actieve checklists roept de ene vraag als het ware de andere op. Er is dan sprake van een interactieve opzet. Het door de vakgroep Veiligheidskunde ontwikkelde ongevalsregistratiesysteem IDA (Hale et al, 1989) is een voorbeeld van zo'n actieve checklist. Ook voor de beoordeling van produkten (hazard patterns) en taakuitoefening wordt gebruik gemaakt van actieve checklists (Drury and Brill, 1983). De European Standard On Safety of Machinery (CEN/TC 114) heeft ook de eigenschappen van een actieve checklist.
3. *Storingsanalyses*: de kwalitatieve varianten van deze methoden tonen aan hoe afwijkingen van de ingestelde condities in de procesinstallatie aanleiding kunnen geven tot ongewenste gebeurtenissen. De meest bekende methode is de Hazard and Operability Study (HAZOP, ontwikkeld door ICI), waarbij in team-verband een procesontwerp aan de hand van gidswoorden volledig doorgelopen wordt. Ook hiervoor heeft het Directoraat-Generaal van de Arbeid een brochure uitgebracht (AI, 1981). Ook voor het menselijk handelen zijn methoden ontwikkeld (door Rasmussen en Reason, zie onder meer hun bijdragen in Apostolakis et al, 1988), vergelijkbaar met storingsanalyses, gecentreerd rond de menselijke gegevensverwerking en stereotiepe gedragingen. Een meer kwantitatieve variant is de Failure Mode and Effect Analysis. Daarbij wordt een inschatting gemaakt van de faalwijzen en de kansverdeling over deze faalwijzen in

rapid ranking

checklists

storingsanalyses

FMEA

procenten. De kritische faalwijzen worden vaak in de orde van 5 tot 10 procent geschat.

boomanalyses

4. *Boomanalyses*: deze methoden vergen in het algemeen veel meer tijd dan de voorgaande methoden. Foutenboomanalyses worden gebruikt om de kans van een vooraf gedefiniëerde topgebeurtenis kwantitatief te bepalen (Vesely et al, 1981; Hauptmanns, 1988). Logic trees zijn een kwalitatieve variant daarop. Daarbij wordt de kans niet in een getal uitgedrukt, maar in de vorm van beter of slechter dan een referentie-situatie. Gebeurtenissenboom-analyses geven eveneens een kwantitatief beeld van een vooraf geselecteerde reeks van op elkaar volgende gebeurtenissen. Beide methoden worden bij uitstek gebruikt voor kwantitatieve risico-analyses.

audits

5. *Doorlichting of audits*: deze methoden (onder andere Technica, 1988; Chemical Industries Association, 1977; HASTAM, 1987; Bird and Finday, 1984; Top, 1989) hebben tot doel een bestaande situatie grondig door te lichten op veiligheid. Inspecties zijn varianten daarop. Deze komen in hoofdstuk 9 aan de orde

ongevalsanalyses

6. *Ongevalsanalyses*: deze methoden hebben tot doel ongevallen te analyseren (zie hoofdstuk 5 van week A en Hale and Glendon, 1987). Als er voldoende ongevallen voor handen zijn, is het mogelijk kwantitatieve uitspraken te doen. Zij dienen vaak als basis voor het definiëren van de ongevalsscenario's. Voor de analyse van complexe ongevallen is de MORT-techniek (Management Oversight and Risk Tree) een geschikt instrument (Johnson, 1980). In de transportsector is reeds geruime tijd ervaring opgedaan met diepte-analyses van (relatief grote) ongevallen, uitgevoerd voor daartoe specifiek ingestelde raden (bijv. de Raad voor de Scheepvaart en Luchtvaart).

Incidentanalyses

7. *Incidentanalyses*: deze methoden hebben tot doel incidenten te analyseren teneinde voorspellingen te kunnen doen over potentiële (ernstige) ongevallen. Voor de nucleaire sector en de procesindustrie staat de (nog niet volledig uitgekristalliseerde) Accident Sequence Precursor Methodologie ter beschikking (voor een overzicht van de toepassingen van deze ASP-methode wordt verwezen naar Apostolakis et al, 1990). Voordeel van deze methode is dat zij uitgaat van operationele gegevens uit de praktijk van het bewuste systeem en in staat is verholde afhankelijkheden in het systeem op te sporen. Ook observatie-technieken en conflict-analyses voor relatief frekwent voorkomende ongevallen (met name voor verkeersongevallen) vallen hieronder. Ook voor het kwantificeren van menselijk falen zijn een aantal methoden in gebruik (Humphreys, 1988). De betrouwbaarheid van deze methoden laat evenwel nogal te wensen over. Door Tarrants is de 'Critical Incident Techniques' ontwikkeld (zie ondermeer Grimaldi and Simonds, 1989). De techniek is gericht op het identificeren van onveilige handelingen en condities in het operationele systeem.

8. *Expertmeningen*: naast de gebruikelijke 'engineering judgement' zijn er ook formele methoden ontwikkeld om de mening van experts te eliciteren. Door de Technische Universiteit Delft en TNO zijn recent twee direkt bruikbare methoden ontwikkeld (Goossens et al, 1989). De methode van paarsgewijze vergelijkingen geeft een kwalitatief beeld van de faalwijzen van componenten, de zogenaamde Klassieke Methode vraagt kwantitatieve uitspraken van experts over bijv. faalkansen van componenten. Beide methoden zijn uitermate geschikt voor situaties waar geen of te weinig gegevens voor handen zijn en waarvan wordt verwacht dat experts wel inzicht hebben.

expertmeningen

De keuze welke risico-analyse-techniek te gebruiken wordt bepaald door het gewenste resultaat en de beschikbare middelen (geld, tijd, expertise). Gaat het om classificeren van een activiteit dan zijn rapid ranking methoden erg geschikt. Gaat het om de beoordeling van een konkrete situatie dan kunnen checklists een uitkomst bieden. Gaat het om het ontwerp van een installatie dan kunnen storingsanalyses voldoende zijn. Voor een meer complete benadering van alle facetten met betrekking tot veiligheidsstudies wordt in eerste aanleg verwezen naar een brochure van het Directoraat-Generaal van de Arbeid (AI, 1984) en het boek van Lees (1980). Visies op het gebruik van diverse methoden en toepassingen zijn verwoord door diverse instanties (CONCAWE, 1982; CONCAWE, 1988; CEFIC, 1986; ISGRA, 1985).

procedure

Kwantitatieve risico-analyses zijn doorgaans probabilistisch, dat wil zeggen er wordt gerekend met kansen en onzekerheden. Een onderdeel ervan vormen betrouwbaarheidsberekeningen (Henley and Kumamoto, 1981) hangt de procedure af van de gewenste resultaten. De meeste risico-analyses leveren een default-waarde voor een stationaire installatie, waarbij de nauwkeurigheid rond de 10 of 15 procent wordt geschat. De procedures en computerprogramma's voor dergelijke bewerkingen zijn ruimschoots voorhanden (hoofdstuk 6). Voor het uitvoeren van grondige probabilistische risico-analyses zijn in principe wel computerprogramma's en een 'PRA procedures guide' beschikbaar (uit de nucleaire sector, zie USNRC, 1983). In de chemische industrie worden soortgelijke PRA's uitgevoerd. In de civiele techniek worden probabilistische technieken steeds meer toegepast, met name om veiligheidscriteria meer toegesneden op de praktijk te kunnen definiëren, en het verband tussen maatschappelijk aanvaardbaar risico en kosten te expliciteren (Vrouwenvelder en Vrijling, 1987). Een veel en minder tijdrovende uitvoeringsvorm is een combinatie van een deterministische en een probabilistische analyse. De deterministische analyse dekt de alom geaccepteerde maatregelen af voor wat betreft het risico, het probabilistische analyse-deel behandelt slechts die kwesties waarover 'onenigheid' bestaat met betrekking tot de gewenstheid.

kwantitatieve risico-analyse

Voor de uitvoering van analyses zijn gegevens uit de praktijk (bijv. faalgegevens van componenten) gewenst. Bayesiaanse technieken

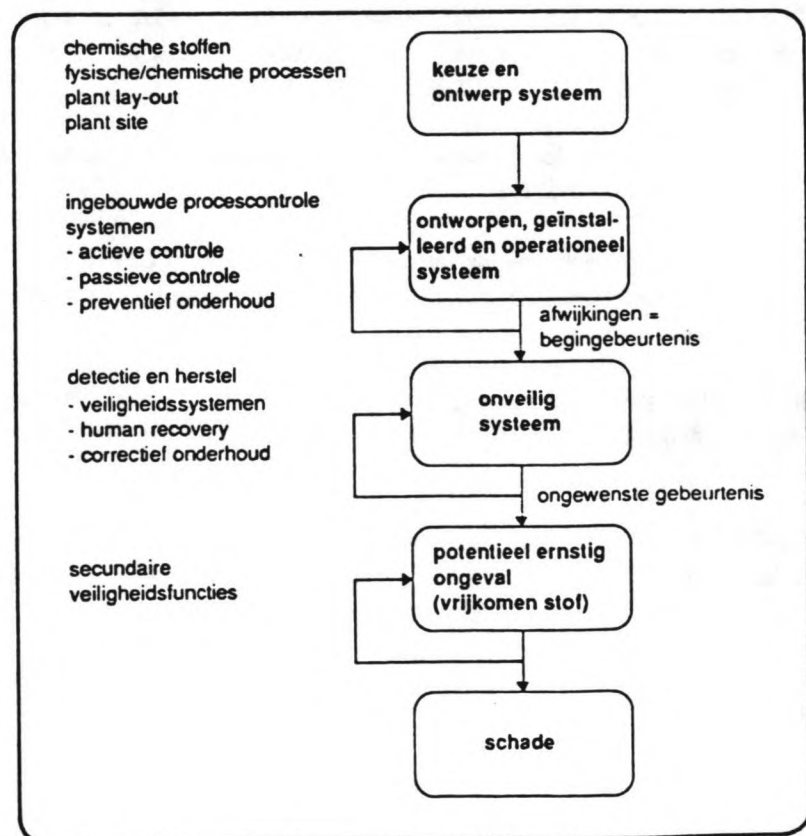
worden alom in probabilistische benaderingen toegepast, maar worden met name aangewend wanneer de hoeveelheid gegevens mager is. De eerder genoemde technieken om expertmeningen te eliciteren of brain storm sessies kunnen daar eveneens aan bijdragen.

2.6 RISICOMODEL

risicomodel

De fundamenteen achter het ontstaan en gebeuren van ongevallen zijn in Hoofdstuk 5, paragraaf 5.5 van Week A behandeld. Het daarin behandelde ongevalsmodel is voor risico-analytische doeleinden omgezet in een risicomodel. Figuur 2.5 is een voorbeeld van een risicomodel voor een stationaire installatie in de chemische procesindustrie.

Schade vindt in dit model plaats als de verticale pijlen actief worden. Dit gebeurt doordat er zodanige *afwijkingen* in het systeem plaatsvinden, dat het operationele systeem op dat punt niet meer beheerst wordt. Onderbreking van één van de pijlen maakt de escalatie tot schade ongedaan. Men dient zich te realiseren dat afwijkingen niet op zichzelf staande verschijnselen zijn. Ze zijn steeds opgeroepen door een of meer achterliggende factoren, *ongevalsdeterminanten* of *risicofactoren* (bijv. als gevolg van de bedrijfscultuur of het onderhoudsschema).



Figuur 2.5: risicomodel

REFERENTIES

AI, Arbeidsinspectie, *Storingsanalyse: Waarom? Wanneer? Hoe?*, DGA/Min.SoZaWe, Voorlichtingsblad V2, 1981

S

AI, Arbeidsinspectie, *Procesveiligheidsanalyse: Aanzet tot het opsporen van inherente procesgevaren*, DGA/Min.SoZaWe, V7, 1984

S

AI, Arbeidsinspectie, *Checklist procesinstallaties: Aandachtspunten voor een veilig ontwerp*, DGA/Min.SoZaWe, V11, 1986

S

AI, Arbeidsinspectie, *Procedures in de procesindustrie: Voorbeelden en voorstellen met betrekking tot het ontwikkelen, invoeren en beheren van procedures in de procesindustrie*, DGA/Min.SoZaWe, V18, 1989

Apostolakis GE, P Kafka and G Mancini (eds.), *Accident sequence modeling: Human actions, system response, intelligent decision support*, Elsevier Applied Science, London/New York, 1988

Apostolakis GE and RW van Otterloo (eds.), *Special issue on Accident Sequence Precursor Methodology*, Reliability Engineering & System Safety, 1990, Vol.27, No.1, p. 1-130

AVIV, Onderzoeks- en Adviesgroep van Ingenieurs, *De efficiency en effectiviteit van risicostudies: De afstemming van informatie uit risicostudies op de behoeften van de betrokkenen in besluitvormingsprocessen rond externe veiligheid*, Rapport AVIV i.o.v DCMR, Enschedé, 1983

S

Bird FE and JV Finday (eds), *International Safety Rating*, The Institute Press, ILCI Loganville, Georgia, 1984

CEFIC (Internationale vereniging van chemische industrieën), *CEFIC views on the quantitative assessment of risks from installations in the chemical industry*, CEFIC, Brussels, 1986

Chemical Industries Association, *Safety audits: A guide for the chemical industry*, Chemical Industry Safety and Health Council of the CIA, London, 1977

CONCAWE (Internationale vereniging van olie industrieën en raffinaderijen) *Methodologies for hazard analysis and risk assessment in the petroleum refining and storage industry*, CONCAWE, Den Haag, Report No. 10/82, 1982

CONCAWE, *Quantified risk assessment*, CONCAWE, Den Haag, Report No. 88/56, 1988

De Graaf EL, *Chemical Exposure Index*, Proceedings of the 6th International Symposium "Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries", Oslo, June 19-22 1989, Volume II, Lecture 43

Appendix 2.1

VOORBEELD VAN UITWERKING VAN HET RISICO CONFORM FORMULE (2.2) VOOR STATIONAIRE INSTALLATIES

L.H.J. Goossens

Het risico is in formule (2.2) gedefinieerd als

$$R = \{ \langle s_i, p_i, x_i \rangle \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (a.1)$$

Hierin is

- s_i een reeks van i scenario's
- p_i de kans op het i -de scenario, en
- x_i de mogelijke gevolgen van het i -de scenario.

De bekende scenario's worden in een tabel gezet volgens het triplet idee (tabel a.1). Vervolgens worden ze geordend volgens in toenemende mate van ernst

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_N$$

Deze ordening geeft henummering en levert tabel a.2, waarin tevens de cumulatieve waarschijnlijkheid P_i wordt berekend. Het resultaat is dan een risico-kromme, die alle informatie bevat (fig. a.1). Deze kromme bevat veel meer informatie dan de 'ouderwetse' definitie van risico is kans *maal* gevolg. Volgens Kaplan en Garrick is het risico kans *en* gevolg.

Tabel a.1: lijst met scenario's (overgenomen van Kaplan en Garrick, 1981)

scenario	likelijkheid	consequence
S_1	P_1	x_1
S_2	P_2	x_2
.	.	.
.	.	.
S_N	P_N	x_N

Tabel a.2: lijst met scenario's geordend naar ernst van gevolgen (overgenomen van Kaplan en Garrick, 1981)

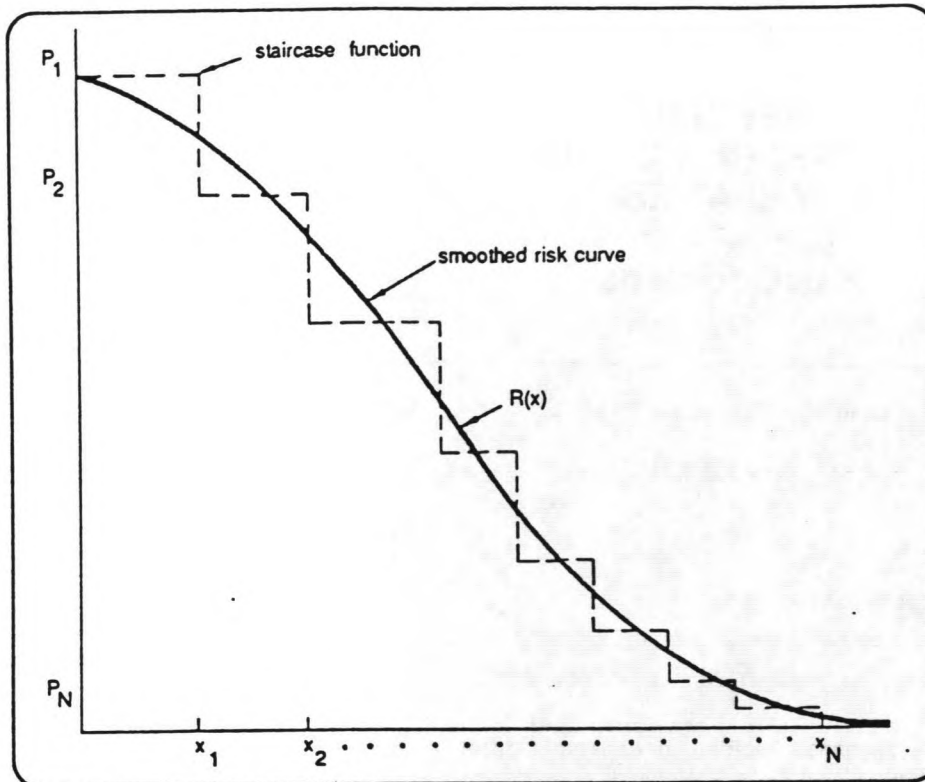
scenario	likelihood	consequence	cumulative probability
S_1	P_1	x_1	$P_1 = P_2 + P_1$
S_2	P_2	x_2	$P_2 = P_3 + P_2$
.	.	.	
.	.	.	
S_i	P_i	x_i	$P_i = P_{i+1} + P_i$
.	.	.	
.	.	.	
S_{N-1}	P_{N-1}	x_{N-1}	$P_{N-1} = P_N + P_{N-1}$
S_N	P_N	x_N	$P_N = P_N$

Het probleem is nu dat de scenario's s_1, \dots, s_N impliceren dat alle scenario's (en dus ook alle ongewenste gebeurtenissen) *bekend* zijn. Aangezien dat in de praktijk niet het geval zal zijn, wordt er een scenario van de "overige" categorie toegevoegd: s_{N+1} . Het risico is nu "volledig" gedefinieerd door

$$R = \{ \langle s_i, p_i, x_i \rangle \quad i = 1, 2, \dots, N, N+1 \quad (a.2)$$

In dit voorbeeld zijn de scenario's bedoeld als mogelijke zware ongevallen. Derhalve is hier sprake van scenario's in termen van ongewenste gebeurtenissen waaraan gevolgen kleven die de externe veiligheid betreffen. In het algemeen zullen de scenario's 'in engere zin' omschreven worden als leidingbreuk, tankbreuk, runaway reactie leidend tot tankbreuk, defect koelsysteem leidend tot tankbreuk en dergelijke.

In systeemtermen bevat een scenario evenwel meer mogelijkheden. Zo kan een scenario ook beschreven worden als leidingbreuk in relatie tot onderhoudsprocedures, personeelsbeleid, veiligheidsbeleid van het management, voorraadbeheer. Een dergelijke procedure



Figuur a.1: risico-kromme (overgenomen van Kaplan en Garrick, 1981)

voor scenario beschrijving is vooral relevant wanneer het de beoordeling van verschillende bedrijven c.q. installaties betreft. Bij de beoordeling binnen één bedrijf is aan te nemen dat een aantal van dergelijke factoren voor het gehele bedrijf gelden en derhalve meer een rol spelen bij het interpreteren van het totale risico R , dan per scenario s_i .

Een scenario-omschrijving 'in engere zin' bestaat uit een definitie van

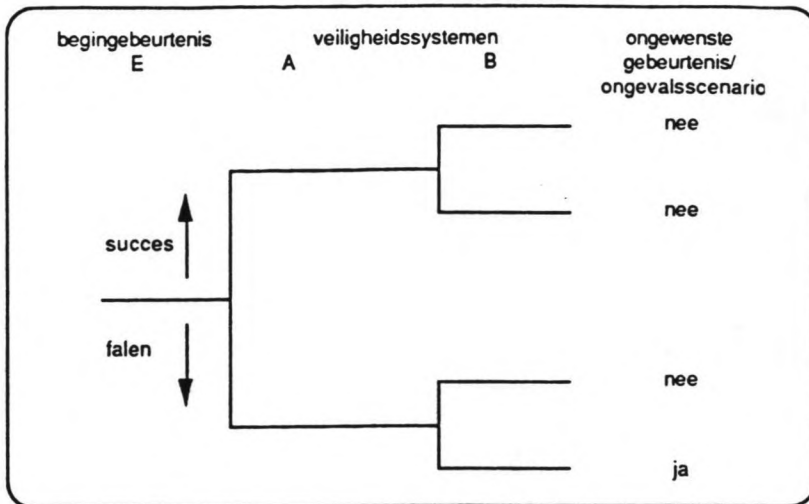
- een begingebuurtenis
- een of meerdere detectie- en herstelfuncties
- een ongewenste gebeurtenis. (Zie figuur 2.5 van de hoofdstekst).

Een aldus verkregen scenario kan in de vorm van een gebeurtenissenboom afgebeeld worden (figuur a.2). E representeert de begingebuurtenis, terwijl A en B de veiligheidssystemen beschrijven. Onder een veiligheidssysteem wordt een compleet zelfstandig systeem beschouwd: temperatuur alarm systeem, noodkoelsysteem, maar ook noodprocedures om snel vaten te legen e.d. De kans op falen van dergelijke systemen worden soms weer met foutenboomanalyses bepaald. Het resultaat van deze gebeurtenissenbomen als detectie en herstel mislukken is steeds een ontsnapping van een gevaarlijke stof, per bedrijfssituatie omschreven met incidentele ontsnapping van zoveel kg in zoveel tijd of continue ontsnapping van zoveel kg per tijdseenheid: de ongewenste gebeurtenis.

Het $(N+1)$ -de scenario is per definitie niet vast te stellen, omdat er geen gegevens over zijn. Denkbare vormen zijn het betrekken van domino-effecten (ook een tweede opslagtank explodeert mee) of een tanker/tankwagen explodeert, waardoor tevens een opslagtank mee-explodeert. Aldus gedefinieerd vallen ze weer binnen de N bekende scenario's. N is dan toegenomen.

Als eenmaal de scenario's (in termen van ongewenste gebeurtenissen) gedefinieerd zijn, kan voor ieder scenario de kans op de begingebuurtenissen bepaald worden.

Het kwantificeren van begingebuurtenissen is nodig om het falen van de (technische en menselijke) delen van de actieve procescontrole systemen te dekken. Een kwantitatieve analyse levert de kans op het optreden van een bepaalde begingebuurtenis voor scenario s_i . De faalgegevens voor de basisgeburtenissen (de beschouwde elektrische, elektronische en mechanische componenten en het vereist menselijk handelen in het systeem en soms het optreden van externe factoren zoals uitvallen van het elektriciteitsnet) moeten dan ter beschikking staan. De daaruit berekende kans wordt als frekwentie f_i opgevat en levert een bijdrage aan de kans op scenario s_i in de vorm van $p_i(f_i)$. Dit representeert de kansdichtheidsfunctie voor dit scenario voor wat betreft het falen van de actieve procescontrole functies in dit scenario.



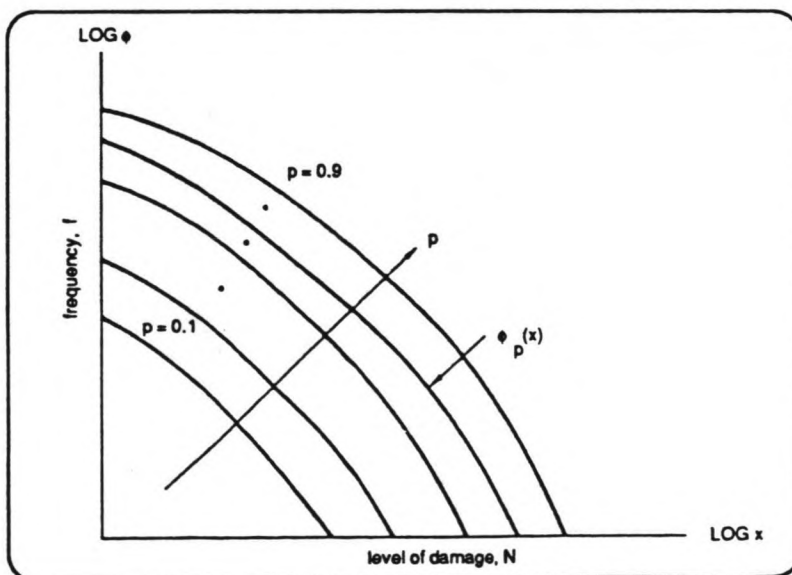
Figuur a.2: eenvoudige gebeurtenissenboom

In deze kwantitatieve analyses wordt tevens de kans bepaald op het falen van passieve controle als begingbeurtenis. Hierbij zijn juist het optreden van externe factoren zoals neerstorten van een vliegtuig, aardbevingen e.d. van belang. In het algemeen representeert een bepaald scenario s_i beide controle functies (passief en actief) tegelijkertijd. De kans op zo'n scenario $p_i(f_i)$ omvat dan beide. Omdat hier sprake is van een kansdichtheidsfunctie zijn de *betrouwbaarheidsintervallen* van de faalgegevens belangrijk.

Het falen in preventief onderhoud, alsmede het falen als gevolg van ontwerpfouten en mismanagement zijn veel lastiger in de kansberekening mee te nemen. In de eerste plaats al vanwege de gevoeligheden die zulks

oproepen. In de praktijk zal over dergelijke faalgegevens slechts een uitspraak kunnen worden gedaan als uit operationele ervaring daartoe signalen worden aangereikt. Het meenemen van dergelijk falen heeft zowel invloed op de berekende frekwentie f_i (kan een tot enkele ordes groter worden) als op de kansverdelingsfunctie $p_i(f_i)$ (de bovengrens zal in het algemeen hoger worden). In de kansberekeningen van risico-analyses vinden we ze in het algemeen niet zo maar terug.

Als eenmaal vastgesteld is wat de kans op optreden van een bepaalde ongewenste gebeurtenis is, moet vastgesteld worden welke ontwikkelingen erop kunnen volgen (plasbrand, vertraagde explosie, BLEVE). In feite wordt daar de aard van de schade mede door



Figuur a.3: risico-kromme in kansverdelingsperspectief (overgenomen van Kaplan en Garrick, 1981)

gekaracteriseerd. De schade zelf is de term x_i in formule (a.2). In wezen is x_i onzeker en wordt gerepresenteerd door een verdelingsfunctie $q_i(x_i)$, zodat formule (a.2) wordt

$$R = \{ \langle s_i, p_i(f_i), q_i(x_i) \rangle \mid i = 1, 2, \dots, N, N+1 \} \quad (a.3)$$

Formule (a.3) kan in zijn algemeenheid ook geschreven worden als

$$R = \{ \langle s_i, p_i(f_i, x_i) \rangle \mid i = 1, 2, \dots, N, N+1 \} \quad (a.4)$$

Formule (a.4) representeert in feite de (f, N) -curven voor alle scenario's. Zie figuur a.3.

3 Veiligheidsstudies: Risico-Evaluatie

Dr.ir. L.H.J. Goossens
Safety Science Group
TU Delft

3.1 RISICO-EVALUATIE METHODEN

Een risico-analyse heeft als oogmerk veiligheid te optimaliseren. Dit optimalisatie-proces behoeft een 'standaard' waaraan getoetst kan worden. Zo'n standaard moet aangeven waar de grenzen voor aanvaardbaar en onaanvaardbaar risico liggen. Er zijn een viertal methoden ontwikkeld waarmee risico's geëvalueerd kunnen worden:

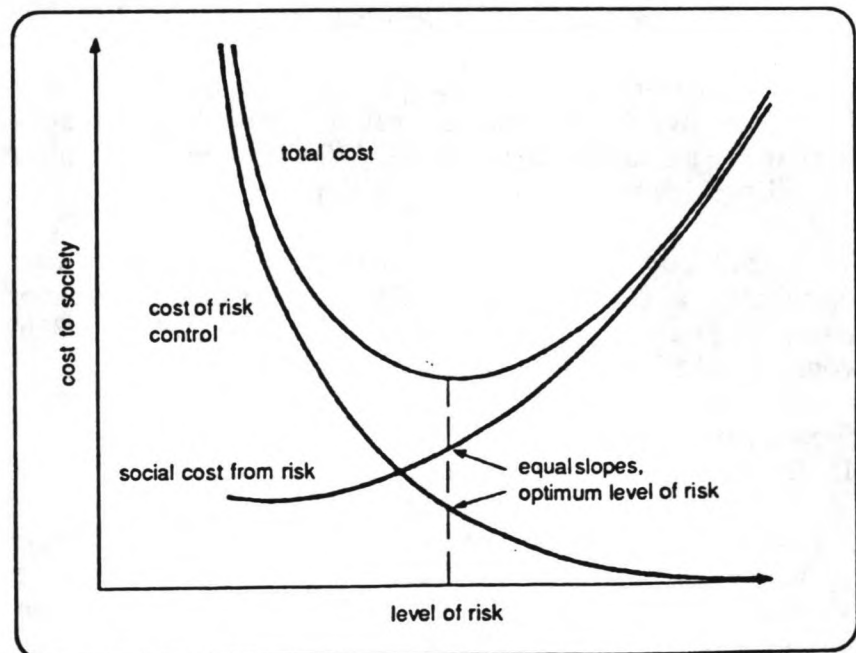
1. - risk-cost-benefit-analysis (RCBA)
2. - revealed preferences
- expressed preferences
3. - natural standards.

A. Risk-cost-benefit-analysis (RCBA)

Risk-cost-benefit-analysis is een methode waarmee kosten voor risico-reductie gewogen worden tegen de baten die het oplevert. Figuur 3.1 geeft een beeld van het optimalisatie-proces, in dit geval voor de maatschappij als geheel. Voor een bedrijf kunnen de lijnen in de figuur anders liggen, omdat niet alle kosten en baten ten laste of ten goede komen van het bedrijf zelf. Het optimale risico wordt vastgelegd op de plaats waar de som van de kosten van risicoreductie en maatschappelijke kosten minimaal is (afgeleide gelijk nul).

RCBA

zie biz p-2



Figuur 3.1: afweging van sociale kosten en kosten voor veiligheidsmaatregelen versus het risico-niveau (overgenomen uit McCormick, 1981)

RCBA kan absoluut en relatief gebruikt worden. Indien het absoluut gebruikt wordt, betekent het dat de bovengrens van wat nog een aanvaardbaar risico is, ligt bij het risico met de minimale kosten. Dit punt hoeft overigens in het geheel niet overeen te komen met wat in de praktijk als aanvaardbaar geacht wordt. In meer relatieve zin wordt RCBA gebruikt om verschillende alternatieve oplossingen onderling te vergelijken. In deze vorm is RCBA het best uitgewerkt voor omgaan met straling. De cost-benefit-ratio (CBR) is dan

relatief gebruik

$$CBR = \frac{C}{\sum_{i=1}^n f_i x_i - \sum_{i=1}^{\infty} f'_i x'_i} \quad (a.1)$$

- waarin
- C = kosten van veiligheidsmaatregelen (omgerekend in kosten per jaar),
 - f_i = de frekwentie (in aantal gebeurtenissen per jaar) dat het i-de scenario optreedt zonder die veiligheidsmaatregelen,
 - x_i = de gevolgen van radiologisch werk in man-rem van het i-de scenario zonder veiligheidsmaatregelen,
 - f'_i = de frekwentie (in aantal gebeurtenissen per jaar) dat het i-de scenario optreedt met die veiligheidsmaatregelen geïnstalleerd,
 - x'_i = de gevolgen van radiologisch werk in man-rem van het i-de scenario met veiligheidsmaatregelen geïnstalleerd,
 - n = het aantal scenario's waarop die veiligheidsmaatregelen enig effect hebben.

De cost-benefit-ratio wordt dan uitgedrukt in kosten per man-rem. De Nuclear Regulatory Commission in de Verenigde Staten hantieren dan een aanvaardbare waarde van \$1000/man-rem, waaronder de veiligheidsmaatregelen geïnstalleerd moeten worden.

Voor een verder begrip van deze methode wordt verwezen naar Fischhoff et al (1981), Rowe (1977) en McCormick (1981) voor uitwerking en voorbeelden, en Shrader-Frechette (1985a, 1985b) voor kritische kanttekeningen.

achtergrond materiaal

Enkele kanttekeningen:

kritiek

1. Eerder is al aangegeven dat de methode niet in rekening brengt voor wie de kosten en baten zijn.
2. RCBA is gebaseerd op kosten en derhalve moet alles uitgedrukt worden in een monetaire eenheid (gulden). Dit geeft met name problemen bij het vaststellen wat de kosten voor een mensenleven zijn, of voor verwondingen. Deze laatste zijn voor een deel nog vast te stellen uit de gemaakt kosten voor medische behandeling en revalidatie, maar het menselijk leed (smartegeld) is al

monetaire eenheid

kosten mensenleven

moeilijker te preciseren. benaderingen om de waarde van een menselijk leven vast te stellen zijn:

- a. op basis van premies van levensverzekeringen
- b. op basis van uitspraken van rechtbanken met betrekking tot compensaties (smartegelden)
- c. op basis van menselijk kapitaal: genomen wordt dan het verlies aan verdiensten door de persoon in kwestie, dan komt men op 500.000 tot een miljoen gulden per mensenleven uit; de waarde van 600.000 gulden wordt ook wel genomen als een mensenleven equivalent wordt verondersteld met 6000 dagen invaliditeit met een ratio van 100 gulden per dag
- d. op basis van persoonlijk risico: deze wordt bepaald door de premie voor gevarengeld (te betalen aan werknemers) bij een verhoogd risico; impliciet wordt aangenomen dat de risico-niveaus van gevaarlijk werk en alternatief, minder gevaarlijk werk bekend zijn en dat de werknemers kunnen kiezen uit beide typen werk; op basis hiervan is men op zo'n 400.000 gulden per mensenleven gekomen
- e. op basis van impliciete maatschappelijke risico-compensatie: hierbij gaat het om maatschappelijke investeringen om een mensenleven te sparen; bij voorbeeld de prijs van een schietstoel in een vliegtuig om piloten te redden, of de kosten die de overheid zich getroost om een reductie in verkeersslachtoffers te bereiken.

utiliteit

3. In plaats van kosten wordt in de beslissingstheorie utiliteit gebruikt. Deze dimensieloze grootte is evenwel een subjectieve inschatting van de beslisser en hoeft niet gebaseerd te zijn op marktprijzen.
4. Deze methoden zijn niet in staat om nuances van risico evaluaties voldoende adequaat mee te nemen. Er zijn geen goed gedefinieerde criteria voor aanvaardbaar risico, en een degelijke berekening van kansen en gevolgen wordt nogal eens vervangen door intuïtieve uitspraken en referentie aan 'know-how'.

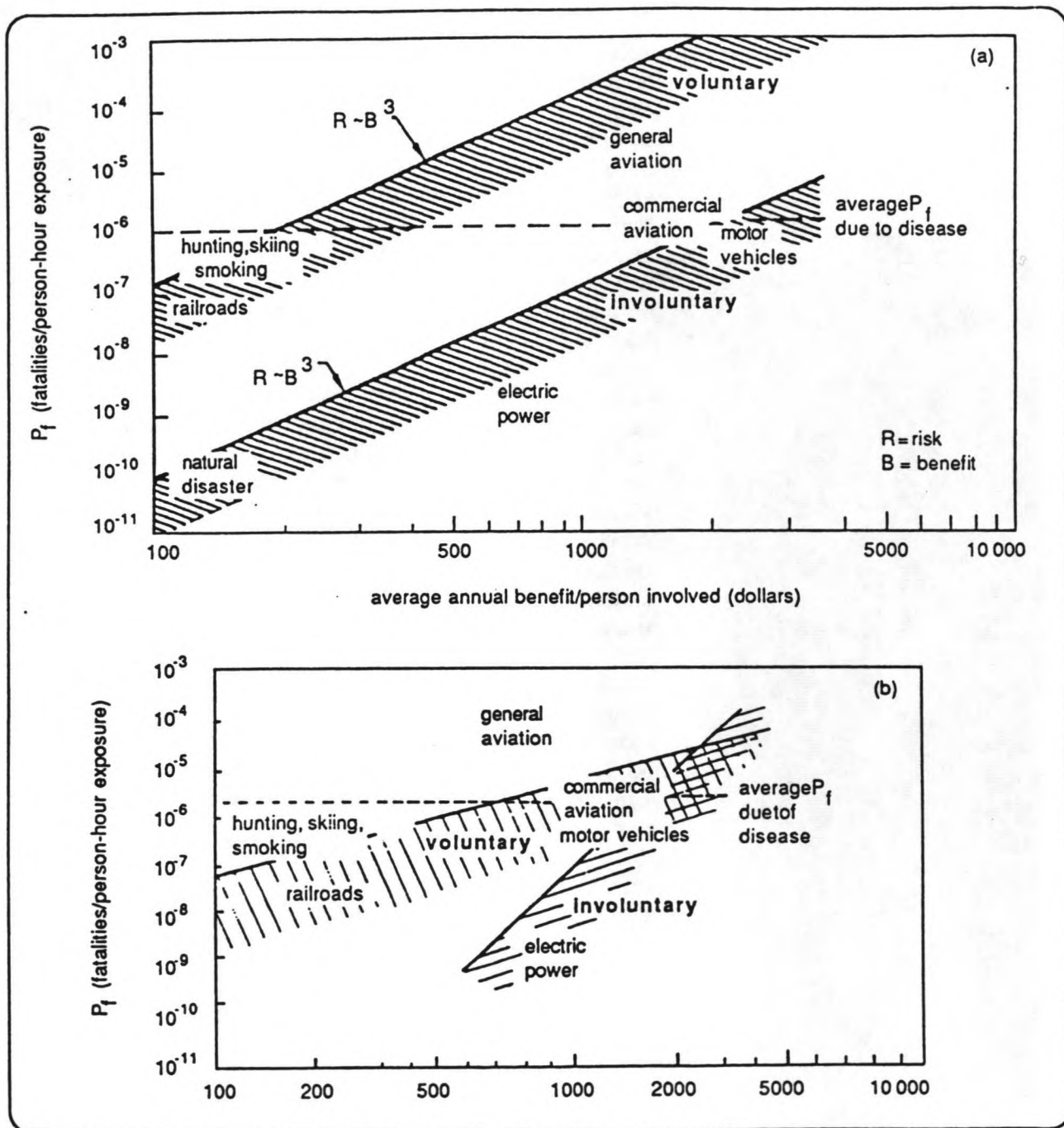
Voordelen van RCBA en utiliteitstheorieën zijn evenwel:

1. Het leereffect dat ervan uitgaat.
2. Het structureert de besluitvorming (rationeel proces).
3. Het is controleerbaar door derden.

B. Methode van revealed preferences

revealed preferences

De methode van revealed preferences is gebaseerd op het risiconiveau dat in het verleden getolereerd is door de maatschappij. De methode leunt sterk op het vertrouwen in de adaptieve processen van de maatschappij. De acceptatie van vrijwillige risico's is gebleken 1000 maal groter te zijn dan van onvrijwillige risico's. Het risico bleek evenredig te zijn met met de baten tot de derde macht (zie figuur 3.2). Deze exponenten staan evenwel ook nogal ter discussie.



Figuur 3.2: verband tussen statistisch bepaald risico op dood en economisch profijt. De bovenste figuur is van Starr (1972), de onderste van Otway and Cohen (1975). Overgenomen uit Fischhoff et al (1981)

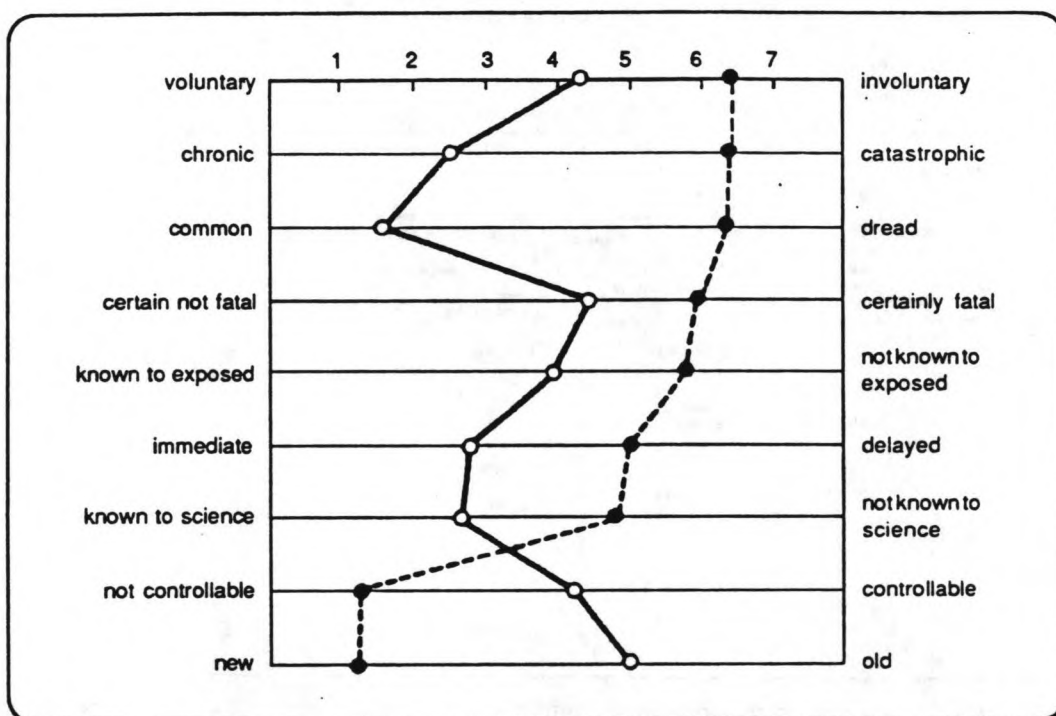
De methode is niet geheel zonder kritiek. Het verschil tussen prijs en waarde, tussen moraliteit en utiliteit, en de mogelijkheden voor de verschillende individuen (rijk en arm) komen, volgens critici, onvoldoende uit de verf. Voor verdere verdieping in de methode en de kritiek erop wordt verwezen naar Starr (1972), Rowe (1977), Fischhoff et al (1981), Shrader-Frechette (1985a) en Otway and Cohen (1975).

kritiek

C. Methode van expressed preferences

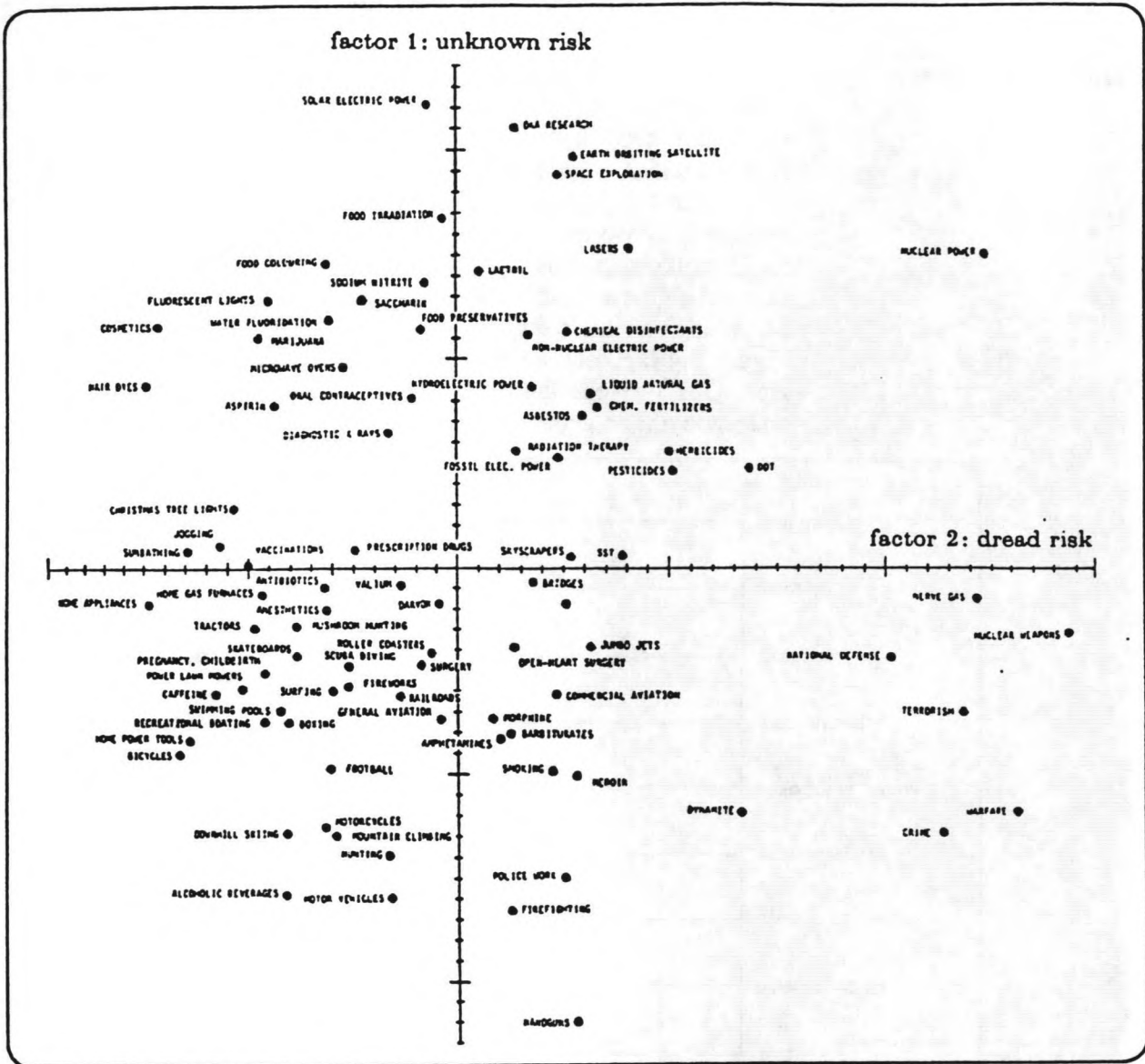
expressed preferences

De methode (zie Slovic et al, 1981; Shrader-Frechette, 1985a) maakt niet, zoals RCBA en revealed preferences, indirect gebruik van maatschappelijke waarden, maar direct, door de mening van mensen zelf te vragen. Met behulp van psychometrische analyses worden factoren geschaald die een relatie met risico-acceptatie hebben. Een voorbeeld is weergegeven in figuur 3.3. De schaal van 1 tot 7 is volkomen willekeurig. Met name de verschillen in 'common - dread' en 'new - old' bleken een belangrijke rol te spelen in de acceptatie van nucleaire versus niet-nucleaire energie-opwekking. Figuur 3.4 laat zien de resultaten voor verschillende activiteiten zien. Ook in Nederland zijn door Vlek en Stallen vergelijkbaar onderzoeken gedaan.



Figuur 3.3: psychometrische analyse van factoren die de risico-acceptatie door mensen beïnvloeden. De lijn met (a) geeft het beeld voor niet-nucleaire energie-opwekking, stippellijn (b) voor nucleaire energie-opwekking

Onvrijwillige risico's met vergelijkbare jaarlijkse frequenties van optreden kunnen toch anders beoordeeld worden omdat het ene risico meer catastrofaal van aard is dan het andere risico. Voorstanders van de methode van expressed preferences vonden dan ook dat de maatschappij niet in staat is gebleken risico's adequaat te kunnen beheersen. Dit in tegenstelling tot het uitgangspunt van de methode van revealed preferences. Kennelijk tolereert de maatschappij ook enkele vrijwillige risico's met een hoog risico en een laag profijt, zoals roken, motorfietsen en alcoholische dranken. Waar wel overeenstemming met de methode



Figuur 3.4: localisering van gevaarsbronnen voor twee factoren: 'unknown - known' en 'common - dread'. Overgenomen uit Slovic et al (1981)

van revealed preferences in werd gevonden, was dat grotere risico's getolereerd mogen worden als er een groter profijt tegenover staat, en dat er verschil in normen moet zijn voor vrijwillige en onvrijwillige risico's.

Critici van de methode stellen dat het moeilijk is een goede doorsnijing van de bevolking te krijgen en dat mensen niet voldoende in staat zijn de vragen adequaat te interpreteren. Wat in ieder geval van belang is voor beslissers bij het interpreteren van resultaten verkregen met de methode van expressed preferences is, dat

kritiek

- a. het waarde-oordeel van mensen kan veranderen zonder dat ze dat zelf in de gaten hebben,

- b. mensen geen richtlijnen hebben van welke criteria ze moeten gebruiken bij het uitspreken van een oordeel, noch welk normatief perspectief gewenst is, en
- c. mensen inconsistent blijven bij het beoordelen van risico's.

Voor verdere verdieping en kritieken wordt verwezen naar Slovic et al (1981) en Shrader-Frechette (1985a).

D. Methode van natural standards

natural standards

Deze methode maakt gebruik van geologische en biologische criteria. Deze criteria specificeren het risico-niveau ten tijde van de evolutie van het betreffende species. Impliciet houdt dit in dat het optimale niveau van blootstelling aan verschillende risico's de natuurlijke achtergrond is.

Het *voordeel* van de methode is:

- a. geen conversie naar een monetaire eenheid is nodig;
- b. het is consistent voor gevaren in verschillende situaties;
- c. er is geen achtergrond modellering nodig;
- d. er zijn geen baten in het geding.

kritiek

Nadelen van de methoden zijn:

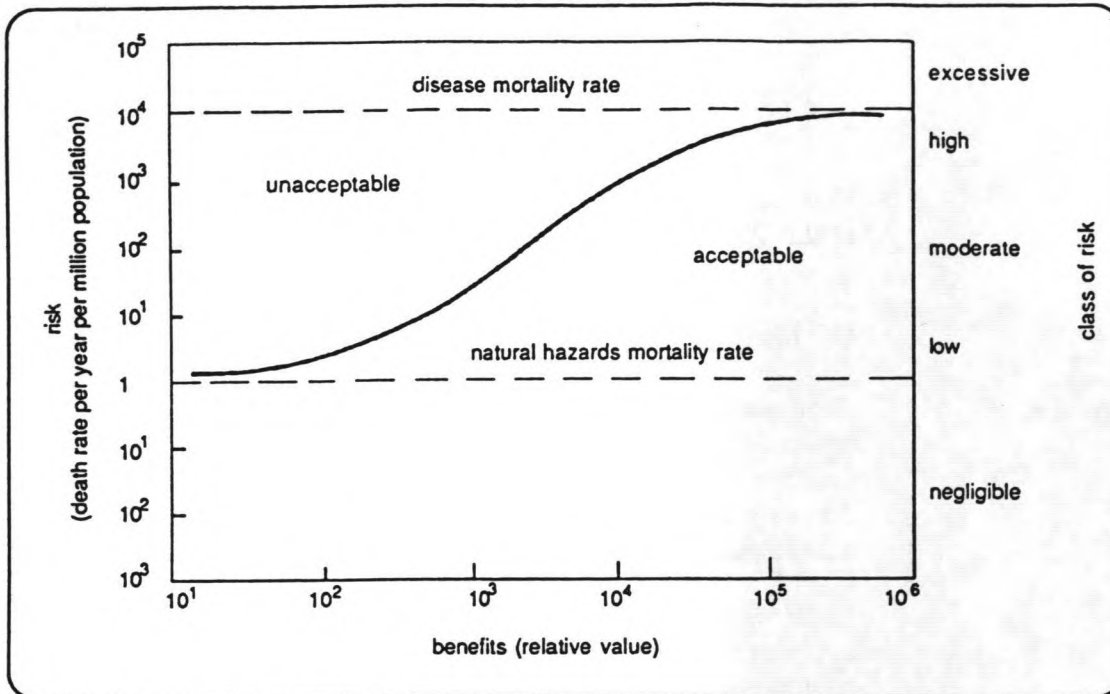
- a. er is geen verschil in beoordeling van risico's met meer of minder profijt (zie vorige punt d);
- b. er kan alleen extra kunstmatige blootstelling toegevoegd worden, als de natuurlijke afneemt;
- c. synergetische effecten worden niet meegenomen;
- d. het is erg moeilijk met de methode vergelijkingen van alternatieve mogelijkheden te maken (bijv. schonere technologieën);
- e. voor niet-natuurlijke stoffen (synthetische stoffen) is geen natuurlijke grenswaarde, dus in principe zou de blootstelling nul moeten zijn;
- f. natuurlijke risico-niveaus worden acceptabel genoemd, ook al kan er technologisch verbetering optreden.

3.2 NORMEN VOOR INDIVIDUELE RISICO'S

Onderscheid kan worden gemaakt tussen (min of meer) absolute en relatieve normen.

absolute normen

Absolute normen zijn onafhankelijk van het systeem of de situatie, en onafhankelijk van de wijze waarop de norm bereikt kan worden. Twee 'natuurlijke' normen zijn in het verleden gehanteerd, te weten de kans op dood als gevolg van natuurverschijnselen (10^{-6} per persoon per jaar) en de kans op dood als gevolg van ziekte/ouderdom (10^{-2} per persoon per jaar). In figuur 3.5 is aangegeven hoe zich dat dan zou verhouden voor onvrijwillige risico's.



Figuur 3.5: risico-profitpatroon voor onvrijwillige blootstelling (overgenomen uit McCormick, 1981).

Recentelijk is een minimaal aanvaardbaar niveau in discussie gebracht, gebaseerd op een *de minimis* strategie (Mumpower, 1986), dat op 10^{-6} tot 10^{-5} per persoon per jaar zou mogen liggen. De kreet *de minimis* komt uit de rechtswetenschappen, namelijk de doctrine *de minimis non curat lex*. Een voorbeeld van zo'n *de minimis* strategie is de norm voor het individueel risico in het Besluit Risico's Zware Ongevallen. Uitgangspunt is dat de overlijdenskans van 12- tot 16-jarigen niet meer dan 1 procent mag stijgen door een industriële activiteit. Deze kans is 10^{-4} per persoon per jaar, en derhalve is het acceptabel risico-niveau gelegd op 10^{-6} per persoon per jaar.

de minimis

Andere voorbeelden van absolute normen zijn die welke gebaseerd zijn op no-effect-niveaus, zoals voor geluid, trillingen en chemische stoffen. Sommige van deze normen zijn evenwel relatief, met name die stoelen op een 'redelijkerwijs' redenering. Technische, economische en politieke argumenten overheersen dan de normvaststelling. Dit is met veel normen voor chemische stoffen het geval, bijvoorbeeld de MAC-waarden (MAC = Maximaal Aanvaarde Concentratie). Soms daalt deze waarde heel drastisch, wanneer medische argumenten weer sterker blijken te zijn dan de andere argumenten (bij voorbeeld voor benzeen, asbest, of vinylchloride heeft dat plaats gevonden).

no-effect-niveaus

relatieve normen

Price (1985) bespreekt de acceptabele risico-niveaus van chemische stoffen. Hij laat zien dat normen voor werkomstandigheden hoger zijn dan voor waterverontreiniging. Bovendien laat hij zien

dat beide normeringen een andere achtergrond redeneringen en invulling van de veiligheidsfactor hebben (Appendix 3.1).

3.3 BETROUWBAARHEID NORMEN

toxicologische normen

De normen voor chemische stoffen zijn veelal gebaseerd op toxicologische gegevens. Het merendeel van deze gegevens komen uit tests: bio-massa-proeven of dierproeven. Acute toxiciteit wordt bepaald met een LD₅₀-test (de dosis waarbij 50 procent van de dierpopulatie sterft ten gevolge van huidcontact met de stof) of met een LC₅₀-test (de concentratie waarbij 50 procent van de dierpopulatie sterft als gevolg van inhalatie). Meestal zijn dit ratten. Proeven voor huid- en oog-irritaties worden vaak weer met konijnen en guinese biggetjes gedaan, die hebben een gevoelige huid. Een kritische beschouwing over het vaststellen van bijvoorbeeld TD₅₀-waarden (TD = tumoregenic dose rate) wordt gegeven door Portier and Hoel (1987).

lange termijneffecten

Lange termijn effecten van chemische stoffen worden weer bepaald door (niet-fatale) beschadigingen bij verschillende concentraties vast te stellen over een periode van verschillende maanden (post-mortem onderzoek bij ratten en dergelijke). Hiermee kunnen weer geen carcinogene, mutagene en teratogene effecten mee vastgesteld worden.

Een ander probleem is de extrapolatie van bio-massa- en dierproeven naar de mens. Hier kleven in het algemeen nogal wat problemen bij de interpretatie aan. Hertz-Picciotti et al (1988) laten zien hoe voorspellingen uit bio-massa-proeven weer wel redelijk overeenkomen met epidemiologisch onderzoek onder werknemers die blootgesteld waren aan ethylbromide.

analogieën

Als er geen gegevens van stoffen voorhanden zijn of moeilijk te krijgen, kunnen analogieën getrokken worden met stoffen waar wel gegevens van zijn. Appendix 3.2 geeft een lezenswaardig artikel over vergelijking van risico's (Wilson and Crouch, 1988).

3.4 NORMEN VOOR GROEPSRISICO'S

In het voorgaande is steeds het risico voor een individu in beschouwing genomen. Sommige activiteiten kunnen evenwel meerdere personen tegelijk treffen.

groepsrisico

Wanneer er sprake is van meerdere slachtoffers bij een specifieke ongewenste gebeurtenis, is er sprake van een groepsrisico. De normen voor het groepsrisico van industriële activiteiten zijn in het Besluit Risico's Zware Ongevallen vastgelegd. Bij deze normstelling heeft de overheid zich in zekere mate laten leiden door de me-

thode van expressed preferences. Voor het acceptabel groepsrisico wordt een frekwentie van 10^{-7} per jaar bij 10 doden even zwaar gewogen als een frekwentie van 10^{-9} per jaar bij 100 doden.

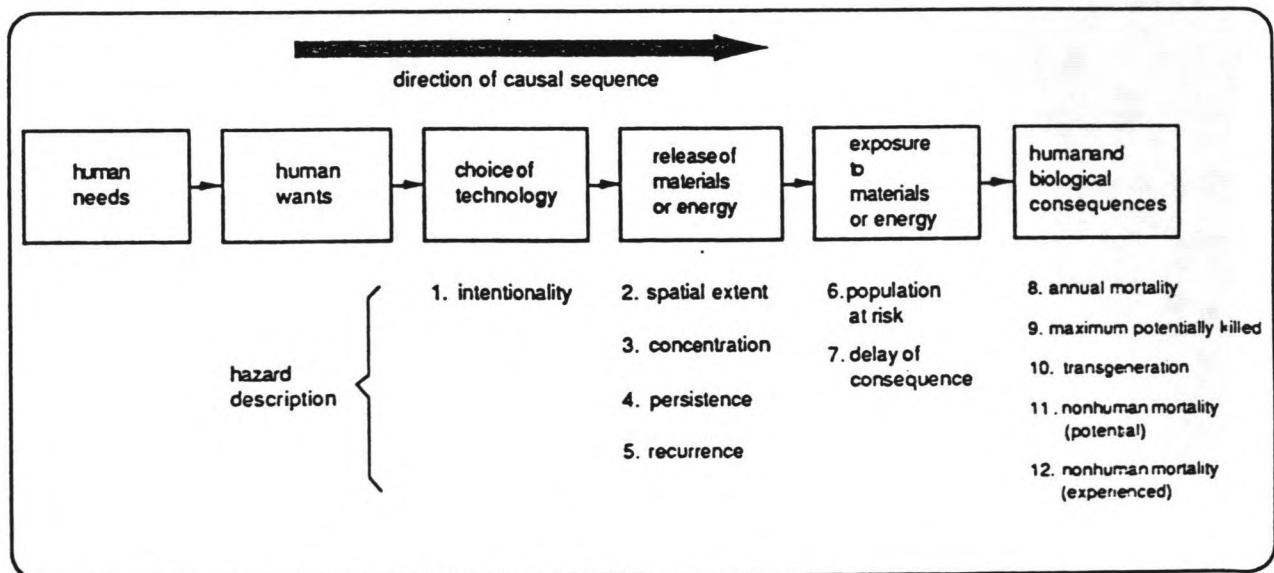
Een dergelijk omgaan met risico-normen kan ook aan de orde zijn wanneer het aantal blootgestelde personen toeneemt. In principe geldt voor blootstelling van werknemers aan een toxische stof de MAC-waarde. Het kan evenwel bij de normstelling in een bedrijf uitmaken of in een betreffende ruimte een of enkele personen werken of een groot aantal (bijv. 100). Dit geldt ook voor de blootstellingsduur.

3.5 KARAKTERISERING VAN RISICO'S

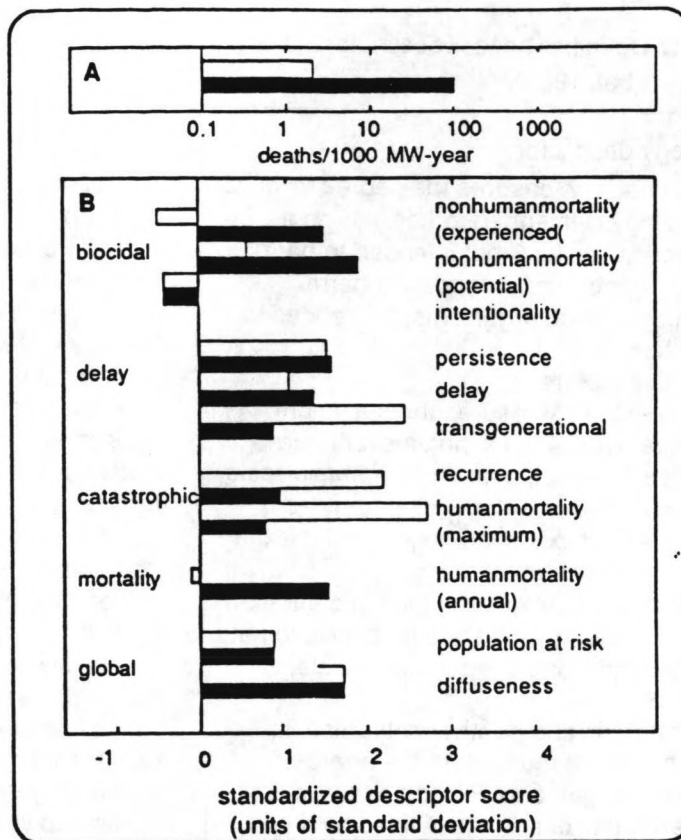
Bij het interpreteren van een risico kunnen verschillende factoren een rol spelen. Hohenemser et al (1986) hebben de "pitchfork" (zie figuur 2.2 in hoofdstuk 2, week B), voorzien van 12 hazards descriptors (figuur 3.6). Tabel 3.1 geeft de omschrijvingen ervan. Tabel 3.2 geeft de resultaten voor 93 typen kunstmatige gevaren, terwijl tabel 3 de resultaten voor natuurlijke gevaren toont.

hazard descriptors,

In figuur 3.7 worden op basis van deze hazard descriptors de risico's rond kerncentrales en kolen gestookte centrales vergeleken.



Figuur 3.6: causale structuur van technologische gevaren (overgenomen uit Hohenemser et al, 1986)



Figuur 3.7: vergelijking van nucleaire (witte balken) en kolen gestookte (zwarte balken) energie-opwekking. De analyse van Inhaber is in blok A weergegeven. De analyse met de 12 hazard descriptors is in blok B weergegeven. Overgenomen uit Hohenemser et al (1986)

Tabel 3.1: Definities hazard descriptors (overgenomen uit Hohenemser et al, 1986).

Technology descriptor	Exposure descriptors
<p>1. Intentionality. Measures the degree to which technology is intended to harm using a categorical scale: 3-not intended to harm living organisms; 6-intended to harm nonhuman living organisms; 9-intended to harm humans.</p>	<p>6. Population at risk. Measures the number of people in the U.S. potentially exposed to the hazard, using a logarithmic scale $1 < s < 9$, where $s = \log_{10} P$ rounded to the nearest integer, and P is the population.</p>
<p>Release descriptors</p> <p>2. Spatial extent. Measures the maximum distance over which a single event has significant impact, using a logarithmic scale, $1 < s < 9$, where $s = \log_{10} d + 1$ rounded to the nearest positive integer, and d is the distance in meters</p>	<p>7. Delay. Measures the delay time between exposure to the hazard release and the occurrence of consequences, using the logarithmic scale defined for persistence.</p>
<p>3. Concentration. Measures the concentration of released energy or materials relative to natural background using a logarithmic scale, $1 < s < 8$.</p> <p>For materials and nonthermal radiation $s = \log_{10} R + 2$ rounded to the nearest positive integer, and R is the average concentration of release divided by the background concentration.</p> <p>For mechanical energy, $s = \log_2 a + 0.68$ rounded to the nearest positive integer, and a is the acceleration to which individuals are exposed measured in units of the acceleration of gravity.</p> <p>For thermal energy, $s = \log_2 f + 0.68$ rounded to the nearest positive integer, and f is the thermal flux expressed in units of the solar flux.</p>	<p>Consequence descriptors</p> <p>8. Human mortality (annual). Measures average annual deaths in the U.S. due to the hazard in question, using the logarithmic scale defined for population at risk.</p>
<p>4. Persistence. Measures the time over which a release remains a significant threat to humans using a logarithmic scale, $1 < s < 9$, where $s = \log_{10} t + 1$ rounded to the nearest positive integer, and t is the time measured in minutes.</p>	<p>9. Human mortality (maximum). Measures the maximum credible number of deaths in a single event, using the logarithmic scale defined for population at risk.</p>
<p>5. Recurrence. Measures the mean time interval between releases above a minimum significant level, using a logarithmic scale identical to that used for persistence.</p>	<p>10. Transgenerational. Measures the number of future generations which are at risk for the hazard in question, using a categorical scale: 3-hazard affects the exposed generation only; 6 -hazard affects children of the exposed generation, no others; 9 -hazard affects more than one future generation.</p> <p>11 Nonhuman mortality (potential). Measures the maximum potential nonhuman mortality, using a categorical scale: 3 -no potential nonhuman mortality; 6 -significant potential nonhuman mortality; 9 -potential species extinction.</p>
	<p>12. Nonhuman mortality (experienced). Measures nonhuman mortality that has actually been experienced on a categorical scale: 3 -no experienced nonhuman mortality; 6-significant experienced nonhuman mortality; 9 -experienced species extinction.</p>

Appendix 3.1

OCCUPATIONAL AND WATER SAFETY FACTORS

P.S. Price

pp. 62-65 from: "Acceptable Levels of Risk in Setting Chemical Standards". In: Risk Analysis in the Private Sector, Eds. C. Whipple and V.T. Covello, Plenum Press, New York, 1985

Safety factors used in setting occupational and drinking water standards differ according to their range and selection. Occupational standards use safety factors ranging from less than one to 10; water standards from 10 to 10,000. The higher level of acceptable risk in the occupational standards allows for a lower range of safety factors.

The criteria for selecting safety factors for a specific chemical for water standards reflect the standard's goal of zero risk and are based upon the certainty of the toxicological evidence (Table VI). Where the data is sufficient to accurately predict the threshold dose level a small safety factor is used. Where the data is less certain, larger safety factors are used. Because no effect is tolerated, the size of the safety factor is independent of the severity of the effect.

In contrast to safety factors used in water standards, occupational safety factors are selected on the basis of the severity of the effect (Table VI). Because occupational standards do not seek a zero risk there is a much lower emphasis on the sufficiency of the data. Thresholds are therefore established on the basis of either animal or human studies and subchronic studies may be used.

The Effect of Safety Factor Criteria on Dose Ratios

These differences in criteria appear to be the reason for the wide range in dose ratios. As illustrated in the two hypothetical cases given in Table VII, the ratio of the doses permitted for the same chemical under the two types of standards may range from less than one to greater than 1,000 as the result of the different criteria. Further support for the role of the criteria is shown in the variation of dose ratio by class of chemicals. The halogenated aliphatics lowest observed effects are behavioral or central nervous system depression effects. They are reversible and non life-threatening. Therefore, they have small occupational safety factors. However, because these effects are established in short-term studies they have large water safety factors. The dose ratios of halogenated compounds would be expected to be large. Pesticides' toxic effects are generally more

severe than the halogenated aliphatics and the occupational safety factors should be larger. Because pesticides generally have thorough toxicological testing, water standards use smaller safety factors. The dose ratios for pesticides would be expected to be small. Unfortunately, rigorous analysis of chemical standards is hampered by the fact that many standards do not clearly identify the threshold and safety factors on which they are based.

REFERENCES

1. National Research Council, *Drinking Water and Health* Volume 1, (National Academy Press, Washington, DC, 1977).
7. J.A. Zapp, *An acceptable level of exposure*, American Industrial Hygiene Association Journal 38, 425 (1977).
8. H.E. Stokinger, *Concepts of thresholds in standards setting*, Archives of Environmental Health, 25, 153 (1972).
9. M.L. Dourson and J.F. Stara, *Regulatory history and experimental support of uncertainty (safety) factors*, Regulatory Toxicology and Pharmacology, in press.

Table VI.: Selection of Safety Factors

<i>Basis</i>	<i>Size</i>
<i>Water</i>	
Chemical's threshold is established in long-term human studies	10 ⁽¹⁾
Chemical's threshold is established in lifetime animal studies	100 ⁽¹⁾
Chemical's threshold is established in sub-chronic animal studies	1,000 ⁽¹⁾
Chemical's threshold is not clearly established in animal study	1,000-10,000 ⁽⁹⁾
<i>occupational</i>	
Chemical's effects are non-life-threatening, reversible, or self-limiting	1 ^(7,8)
Chemical's effects are life-threatening, irreversible, little or no warning	10 ^(7,8)

Table VII: Effect of Safety Factor Criteria on Chemical Standards

	<i>Safety Factors</i>		<i>Ratio</i>
	<i>Water</i>	<i>Occupational</i>	
<i>Case 1: Chemical has</i>	1,000	1	1000
- Non-life-threatening effects			
- Reversible effect			
- Threshold established in short-term animal studies			
<i>Case 2: Chemical has</i>	10	10	1
- Life-threatening effects			
- Threshold established in long-term human studies			

Appendix 3.2

RISK ASSESSMENT AND COMPARISONS: AN INTRODUCTION

R. Wilson and E.A.C. Crouch

In: Hazard Prevention, Vol. No. 24, No. 2, March/April 1988

Risk assessment is presented as a way of examining risks so that they may be better avoided, reduced, or otherwise managed. Risk implies uncertainty, so that risk assessment is largely concerned with uncertainty and hence with a concept of probability that is hard to grasp. The results of even the simplest risk assessments need to be compared with similar assessments of commonplace situations to give them some meaning. We compare and contrast some risk estimates to display their similarities and differences.

Every day we take risks and avoid others. It starts as soon as we wake up. One of us lives in an old house that had old wiring. Each time he turned on the light, there was a small risk of electrocution. Every year about 200 people are electrocuted in the United States in accidents involving home wiring or appliances, representing a risk of death of about 10^{-6} per year, or 7×10^{-5} per lifetime. To reduce this risk, he got the wiring replaced. When we walk downstairs, we recall that 7000 people die each year in falls in U.S. homes. But most are over 65, so we pay little attention to this risk since both of us are younger than that.

How should we go to work? Walking is probably safer than using abicycle, but would take five times as long and provide less healthful exercise. A car or, better, public transport would be both safer and faster. Expediency wins out, and the car comes out of the garage. Fortunately, the choice nowadays is not between horse or canoe - both of which are much more dangerous. The day has just begun, and already we are aware of several risks, and have made decisions about them.

Most of us act semi-automatically to minimize our risks. We also expect society to minimize the risks suffered by its members, subject to overriding moral, economic, or other constraints. In some cases these constraints will dominate, in others there will be trade-offs between the values assigned to risks and the constraints. Risk assessments, except in the simplest of circumstances, are not designed for making judgements, but to illuminate them (1). To effectively illuminate, and then to minimize, risks requires knowing what they are and how big they are. This knowledge usually is gained through experience, and the essence of risk assessment is the

application of this knowledge of past mistakes (and deliberate actions) in an attempt to prevent new mistakes in new situations.

The results of risk assessments will necessarily be in the form of an estimate of probabilities for various events, usually injurious. The goal in performing a risk assessment is to obtain such estimates, although we consider the major value in performing a risk assessment is the exercise itself, in which (ideally) all aspects of some action are explored. The results, goals, and values of performing the risk assessment must be sharply contrasted with the cultural values assigned to the results. Such cultural values will presumably be factors influencing societal decisions and many differ even for risk estimates that are identical in probability.

RISK AND UNCERTAINTY

The concept of risk and the notion of uncertainty are closely related. We may say that the lifetime risk of cancer is 25% of all people develop cancer in their lifetimes. Once an individual develops cancer, we can no longer talk about the risk of cancer, for it is a certainty. Similarly if a man lies dying after a car accident, the risk of his dying of cancer drops to near zero. Thus estimates of risks, insofar as they are expressions of uncertainty, will change as knowledge improves.

Different uncertainties appear in risk estimation in different ways(2). There is clearly a risk that an individual will be killed by a car if that person walks blindfolded across a crowded street. One part of this risk is stochastic; it depends on whether the individual steps off the curb at the precise moment that a car arrives. Another part of the risk might be systematic; it will depend on the nature of the fenders and other features of the car. Similarly, if two people are both heavy cigarette smokers, one may die of cancer and the other not; we cannot tell in advance. However there is a systematic difference in this respect between being, for instance, a heavy smoker and a gluttonous eater of peanut butter, which contains aflatoxin. Although aflatoxin is known to cause cancer (quite likely even in humans), the risk of cancer from eating peanut butter is much lower than that from

smoking cigarettes. Exactly how much lower is uncertain, but it is possible to make estimates of how much lower and also to make estimates of how uncertain we are about the difference.

Some estimates of uncertainties are subjective, with differences of opinion arising because there is a disagreement among those assessing the risks. Suppose one wishes to assess the risk (to humans) of some new chemical being introduced into the environment, or of a new technology. Without any further information, all we can say about any measure of the risk is that it lies between zero and unity. Extreme opinions might be voiced; one person might say that we should initially assume a risk of unity, because we do not know that the chemical or technology is safe; another might take the opposite extreme, and argue that we should initially assume that there is zero risk, because nothing has been proven dangerous. Here and elsewhere, we argue that it is the task of the risk assessor to use whatever information is available to obtain a number between zero and one for a risk estimate, with as much precision as possible, together with an estimate of the imprecision. In this context, the statement "I do not know" can be viewed only as procrastination and not responsive to the request for a risk estimate (although this should not be read as condemning procrastination in all circumstances).

The second extreme mentioned, the assumption of zero risk, can arise because people and government agencies have a propensity to ignore anything that is not a proven hazard. We argue that this attitude is inconsistent if the objective is to improve the public health, may also lead to economic inefficiencies, and often leads to unnecessary contention between experts who disagree strongly. Fortunately, if risk assessors have been diligent in searching out hazards to assess, few hazards posing large risks will be missed in this way, so that there may be minor direct danger to human health from a continuation of the attitude.

RISK ESTIMATION BASED ON HISTORICAL DATA

The way in which risks are perceived is strongly correlated with the way in which they are calculated. Risks based on historical data are particularly easy to understand and are often perceived reliably. It is therefore easy to illustrate a risk calculated from historical data to understand more characteristics of risk estimation. There are plenty of data on automobile accidents (although never enough to make risk assessors happy). One thing that these data can tell us is the frequency of such accidents in the past and their trend through time. To make predictions, however, we must use a model. The simplest model is that there will be as many accidents next year as last, to within a statistical error of the square root of the number. A slightly more

complicated, but perhaps more accurate, model might be to fit a mathematical function to numbers from previous years and to argue that next year's accidents will follow the trend given by this function. A possibly better and possibly more accurate model still might use all available information that might influence accident trends. For example, an oil embargo with a concomitant rise in oil price and reduction in automobile travel would be likely to reduce the risk of accident. In any event, it becomes clear that it is impossible to calculate any risk without a model of some sort, even the simple one that tomorrow will be like today.

RISKS OF NEW TECHNOLOGIES

We can only use the historical approach to estimating risks when the hazard (for example, technology, chemical, or simply some action) has been present for some time and the risk is large enough to be directly measured (although when it is not large enough to be measured, an upper limit may be calculated, if one assumes some sort of model). If there is no historical database for the hazard (a new powerplant or industrial facility, for instance), one approach is to consider it in separate parts, calculating the risks from each part and adding them together to estimate a risk for the whole. For example, all possible chains of events from an initiator to a final accident are followed in an "event tree," with the probabilities of each event in the tree being estimated from historical data in different situations.

A particularly well-known example is the calculation of the probability of a severe accident at a nuclear power plant(3). That this procedure has at least a partial validity is due to the fact that the design of nuclear power plants proceeded in approximately this factorable way; attempts were made to imagine all major accident possibilities, "maximum credible accidents" or "design basis accidents," and then to add an independent device to prevent this accident from having severe consequences. To the extent that the added safety device is independent, the failure probability is independent, and the small overall accident probability is the product of individual failure probabilities which are larger.

RISKS BY ANALOGY: CARCINOGENIC RISKS

Some carcinogenic risks may be estimated from historical data. But this is complicated by the time delay between the insult and the final cancer, one reason why causality is hard to prove if the risk is small. This is the difficult field of epidemiology.

Although some of the largest cancer risks have been identified through the use of epidemiology(4), preventive public health suggests that we endeavor to estimate risks even where no historical data exist and the risk is small.

This is often done by analogy with the cancer risks to animals, usually rodents, which are deliberately exposed to large enough quantities of pollutant so that an effect is observed. To use these data to estimate the risk at low doses in people involves (to oversimplify matters) two difficult steps: the comparison of carcinogenic potency in animal and man (5-7) and the extrapolation from a high dose to a low dose. Because both steps require a certain amount of theory, they are controversial. Indeed, there are those who regard the uncertainty as so great that they prefer not to provide numerical estimates of risk (8,9), although they may order materials in carcinogenic potency. The difference between this and providing a numerical estimate is important, but is one of presentation rather than substance.

Table 1: comparison of several common radiation risks

Action	Dose (mrem/year)	Cancers if all U.S. population exposed (assuming linearity)
Medical x-rays	40	11 00
Radon gas (1 .5 pC/liter, equivalent, dose)*	500	13,500
Potassium in own body	30	1000
Cosmic radiation at sea level	40	1100
Cosmic radiation at Denver	65	1800
Dose to average resident near Chernobyl first year	5000	Not relevant
One transcontinental round trip by air	5	135
Average within 20 miles of nuclear plant	0.02	11

* The radon exposure is to the lungs and cannot be direct compared to whole body external exposure. The comparison here is on the basis of the same magnitude of risk. The uncertainty of the radon number is at least a factor of 3.

If there are no animal data, or if in an animal experiment there is no statistically significant effect, it does not necessarily mean that there is no risk. If the experimenters have been diligent, the risk is probably small, although never zero, even though that may be the best estimate. Various attempts are made to use data even less direct than the animal bioassays to estimate risks in such cases. These include simple analogies based on chemical similarity (10), and comparison with outcomes other than cancer - for example, mutagenesis (11) and acute toxicity (12,13). Not surprisingly, these more indirect procedures arouse even more controversy than the animal bioassays.

There have been few attempts to perform risk assessments for biological end point other than cancer. However, it is known that the pollutants in cigarette smoke cause at least as many deaths through heart problems as by cancer (14), and we should not be surprised if other carcinogens were to produce chronic effects other than cancer. For now, the cancer risk assessment has to act as surrogate for those other risks also.

RISK VALUE VERSUS CERTAINTY OF INFORMATION

After risks of a number of situations have been assessed, we often want to order them in order to decide which should command our attention. It is not always the order of increasing risks that is used for such purposes. There have been proposals to order potential carcinogens on other factors (8, 15), such as the certainty of information.

Vinyl chloride gas has been found to cause angiosarcomas both in people and in rats. Since an angiosarcoma is a rare tumor, the risk ratio (the ratio of the observed number of cancers in those exposed to the number expected by chance) is of order 100 or more in some cases. If an angiosarcoma is seen in a vinyl chloride worker, the attribution to vinyl chloride exposure is almost certain. On the other hand, the number of persons who have been heavily exposed to vinyl chloride is small, so that only about 125 angiosarcomas have been seen among vinyl chloride workers worldwide in the last 20 years. Now that exposures in the workplace have been greatly reduced, no angiosarcomas attributable to recent occupational exposure have been seen. We do not know the dose-response relation, but it is generally believed that the response falls at least linearly as the exposure is reduced, so that no more than one cancer is expected in several years.

We can compare this with the possible cancer incidence that was predicted by the Food and Drug Administration (FDA) in 1977 from use of saccharin (16). This was based on experiments with rats, leading to an additional uncertainty. More people ate saccharin than were exposed to vinyl chloride, and nearly 500 cancers per year were estimated for the United States alone. For vinyl chloride we therefore have the situation that the individual risk is now low, yet there is considerable certainty that there is a risk. For saccharin the risk is higher, but there is more uncertainty about the value of the risk. Some persons, in some situations, may demand that more attention be given to the risk from vinyl chloride than to the risk from saccharin; for other persons or situations the reverse may be the case.

Table 2: Some commonplace risks (mean values with uncertainty)

<i>Action</i>	<i>Annual risk</i>	<i>Uncertainty</i>
Motor vehicle accident (total)	24×10^{-4}	10%
Motor vehicle accident (pedestrian only)	4.2×10^{-5}	10%
Home accidents	1.1×10^{-4}	5%
Electrocution	5.3×10^{-6}	5%
Air pollution, eastern United States	2×10^{-4}	Factor of 20 downward only
Cigarette smoking, one pack per day	3.6×10^{-3}	Factor of 3
Sea-level background radiation (except radon)	2×10^{-5}	Factor of 3
All cancers	2.8×10^{-3}	10%
Four tablespoons peanut butter per day	8×10^{-6}	Factor of 3
Drinking water with EpA limit of chloroform	6×10^{-7}	Factor of 10
Drinking water with EPA limit of trichloroethylene	2×10^{-9}	Factor of 10
Alcohol, light drinker	2×10^{-5}	Factor of 10
Police killed in line of duty (total)	2.2×10^{-4}	20%
Police killed in line of duty (by felons)	1.3×10^{-4}	10%
Frequent flying professor	5×10^{-5}	50%
Mountaineering (mountaineers)	6×10^{-4}	50%

COMPARISON OF RISKS

The purpose of risk assessments is to be useful in making decisions about the hazards causing risks, and so it is important to gain some perspective about the meaning of the magnitude of the risk. Comparisons can be useful. We are not born with an instinctive feeling for what a risk of one in a million per lifetime means, although we do learn that some risks are small and other large. It is particularly helpful to compare risks that are calculated in a similar way. For example, the risk of traveling by automobile can be compared to that of traveling by horse with the use of historical data.

Another common procedure is to compare exposures only. Table 1 shows a list of radiation exposures in typical situations (17). The dose-response relation for radiations with similar energy deposition per unit track length will be similar, although there may be some correction required for dose-rate effects, so that ordering by exposure should be similar to ordering by risk. In estimating the number of lethal cancers on a linear hypothesis, we have here assumed approximately 8000 man-rem per cancer (at low doses), in itself uncertain by 30% or more.

An example of comparison of risks that are similarly calculated is the comparison of risks of various chlorinated hydrocarbons in drinking water. The risks to humans are

estimated from car cinogen bioassays in rodents (rats and mice). Since these are similar materials, we might expect that the dose-response relationships have the same shape. Chloroform, which is produced by interaction of chlorine with organic matter during the chlorination of surface waters to kill bacteria, produces cancer in animals 20 times as readily as does trichlorethylene, an industrial solvent that is occasionally found in well waters as a result of accident pollution. Although neither is known to cause cancer in people, we might expect that chlorofoam would do so about 20 times as readily.

Table 2 shows a variety of risks calculated in various ways and our estimate of the uncertainty. They are deliberately jumbled to provoke thought by juxtaposition. [Risk estimates quoted by the Environmental Protection Agency (EPA) for carcinogens tend to be greater than those shown in Table 2 by a factor approximately equal to the uncertainty factor - this is not accidental (5, 18).]

CONTRASTING RISKS

Objections have been raised to risk comparisons on the ground that they are misleading. This would be true if all risks of the same numerical magnitude were treated in the same way. But they are not. In some cases it is useful

to contrast risks to indicate the different ways in which they are treated in society. In Table 3 we give an example by comparing and contrasting the carcinogenic effects of aflatoxin B1 and dioxin, both among the most carcinogenic chemicals known. The difference in treatment of these two materials is perhaps a reflection of different values assigned to various aspects of the problems caused by their presence.

Aflatoxin and dioxin have similar toxicities and carcinogenic potency (perhaps within a factor of 10, although both measures for both chemicals vary substantially with species tested). The certainty of information for aflatoxin is great. There is less information about carcinogenicity of dioxin. Dioxin may be a promoter and pose a minuscule risk at low doses, where as aflatoxin is almost certainly an initiator also. Nonetheless such standards as there are appear to be more stringent for dioxin, possibly because dioxin is an artificial chemical and possibly because it was a trace component of a chemical mixture (Agent Orange) that was used in warfare.

The small risk of a large accident in a nuclear power plant can also be contrasted with the more numerous small accidents or events that occur every day in the mining, transport, and burning of coal. One feature that is brought out clearly here is that we do not always compare the risk averaged overtime, but worry about risks that are sharply peaked in time.

EXPRESSION OF RISKS

Just as a comparison of risks is an aid in understanding them, so is a careful selection of the methods of expression. It is hard to comprehend the statistical (stochastic) nature of risk. There are ways to mitigate this difficulty in comprehension. We are almost all used to one such statistical concept the expectation of life. When we talk about the expectation of life being 79 years (for a nonsmoking male in the United States) we all know that some die young and that many live to be over 80. Thus the expression of a risk as the reduction of life expectancy caused by the risky action conveys some of the statistical concept essential to its understanding. One particular calculation of this type can be used as an anchor for many people, because it is easy to remember. The reduction of life expectancy by smoking cigarettes can be calculated from the risk, one in 2 million, of smoking one cigarette, multiplied by the difference of the average life-span of a nonsmoker and a lung cancer victim. This turns out to be 5 minutes, or the time it takes to smoke the one cigarette.

It is important to realize that risks appear to be very different when expressed in different ways(19). One example of this can be seen if we consider the cancer risk to those persons exposed to radionuclides after the Chernobyl disaster. According to the Soviets(20), the

24,000 persons between 3 and 15 kilometers from the plant, but excluding the town of Pripyat, received and are expected to receive 1.05 million man-rem total integrated dose, or about 44 rem average. Even if we assume a linear dose-response relation, with 8000 man-rem per cancer, the risk may be expressed in different ways. Dividing 1.05 million man-rem by 8000 gives 131 cancers expected in the lifetimes of that population. This is larger than, and for some people more alarming than, the 31 people within the power plant itself who died within 60 days of acute radiation sickness combined with burns. Dividing the 131 again by the approximately 5000 cancer deaths expected from other causes, the accident caused "only" a 2.6% increase in cancer. This seems small compared to the 30% of cancers attributable to cigarette smoking. The difference is even more striking if we consider the 75 million people in Byelorussia and the Ukraine who received, and will receive, 29 million man rem over their lifetimes. On the linear dose-response relation this leads to 3500 "extra cancers," surely a large number for one accident. But dividing by the 15 million cancers expected in this population leads to an "insignificant" increase of 0.023%. Of course, none of the methods of expressing the risk can be considered "right" in an absolute sense. Indeed, it is our belief that a full understanding of the risk involves expressing it in as many different ways as possible.

COST OF REDUCING A RISK

Another interesting and instructive way of comparing risks is by comparing the amount people have paid in the past to reduce them. It might be thought that people would try to adjust their activities until the amount spent is roughly the same. Cohen(21) has shown that the amounts spent vary by a factor of more than a million. He shows that it should be possible even for an American to save lives in Indonesia by aiding in immunization at \$100 per life saved. Society is willing to spend more on environmental protection to prevent cancer (over \$1 million per life) than on cures (about \$50,000 per life with the high value of \$200,000 for kidney dialysis raising some objections). This ratio is in rough accord with the maxim "an ounce of protection is better than a pound of cure." People are willing to spend still more on radiation protection at nuclear power plants and on waste disposal. Economists and others often argue that efficiency depends on adjusting society until the amounts spent to save lives indifferent situations are equalized. It seems to us that society does not work that way. People are aware of the order of magnitude of these differences, and approve of them. Nonetheless, we believe that providing this information to a decision-maker is essential for an informed decision.

REFERENCES AND NOTES

1. L.B. Lave, *Science* 236, 291 (1987).
2. R. Wilson, E.A.C. Crouch, L. Zeise, in *Risk Quantitation and Regulation Policy* (Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY, 1985) Banbury Report, vol 19, pp 133-147.
3. N.C. Rasmussen et al. "Reactor safety study - an assessment of accident risks in U. S. commercial nuclear power plants" (WASH 1400, NURG 75014. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1975) See also D Okrent, *Science* 236-196, 1987).
4. R Doll and R Peto, *J. Natl. Cancer Inst.* 66, 1191, 1984.
5. E. L. Anderson et al., *Risk Anal* 3, 277 (1983)
6. E. A. C. Crouch and R. Wilson, *J. Toxicol Environ Health* 5, 1095 (1979).
7. E. J. Calabrese, *Principles of Animal Extrapolation* (Wiley, New York, 1983).
8. R. Peto, in *Assessment of Risk from Low-Level Exposure to Radiation and Chemicals*. A. D. Woodhead, C. J. Shell-abarger, V. Pond, A. Hollaender, Eds (Plenum, New York, 1985), pp 3-16.
9. B.N.Ames, R. Magaw, L. S. Gold, *Science* 236. 271 (1987).
10. "Control of trihalomethanes in drinking water," proposed rule. *Fed Regist* 43, 5756 (1968). See also the advanced notice [ibid 41, 28901 (1976)] and the final rule [ibid 44, 68624 (1979)].
11. M. Meselson and K. Russell, in *Origins of Human Cancer*, H.H. Hiatt, J. D. Watson, J. A. Winsten, Eds (Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY, 1977), p. 1473.
12. S. Parodi, M. Tannigher, P. Bocro, L. Santi, *MutatRes.* 93, 1 (1982).
13. L. Zeise, R. Wilson, E.A.C. Crouch, *Risk Anal.* 4, 187 (1984).
14. *Smoking and Health*, a report of the Surgeon General (PHS79-50066, Public Health Service, Washington, DC, 1979).
15. R.A. Squire, *Science* 214, 877 (1981).
16. "Saccharin and its salts," proposed rule and hearing, *Fed. Regist* 42, 19996 (1977).
17. R. Wilson and W. J. Jones, *Energy, Ecology and the Environment* (Academic Press, New York, 1974), table 9-6. Other entries may be readily calculated from data in the reports of the United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation ["Sources and effects of ionizing radiation" (United Nations, New York, 1977)] and the report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations ["The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiations" (National Academy Press, Washington, DC, 1980)]
18. M. Russell and M. Gruber, *Science* 236, 286, 1987.
19. A. Tversky and D. Kahneman, *ibid* 21-1, 453 (1981). See also P. Skovic, *ibid.* 236, 280 (1987).
20. U.S.S.R. State Committee for the Utilization of Atomic Energy, "The accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its consequences," working documents for the Post Accident Review Meeting, 25-29 August 1986. International Atomic Energy Agency, Vienna.
21. B. L. Cohen, *Health Phys.* 38, 33 (1980).
22. H. R. Roberts. "The regulatory outlook for nut products." paper presented at the Annual Convention of the Peanut Butter Manufacturers and Nut Salters Association, West Palm Beach, FL, November 1977.
23. R.D. Kimbrough, H. Falk, P. Stehr, G. Fries, *J. Toxicol Environ Health* 14, 47 (1987).
24. Our work on risk assessment has been supported by donations from Clairol, Inc., the Dow Chemical Company, the Cabot Corporation, the General Electric Foundation, and the Monsanto Corporation.

Table 3: comparison of two very toxic chemicals, aflatoxin B1 (22) and dioxin (23), CDC, Centers for Disease Control

Measure	Aflatoxin: B1	Dioxin
Acute toxicity	High	Equal
Carcinogenic potency to people [(kg day)/mg]	-500	Unknown
Carcinogenic potency to rats [(kg day)/mg]	-5000	-5000
Mutagenic	Yes	No
Certainty of information on human carcinogenicity	High	Low
Activity (initiator or promoter)	Initiator	Promoter(?)
Possibility of threshold dose response	Low	High
Source	Natural	Artificial
Common Knowledge	Little known	Agent Orange
FDA action level in peanuts (ppb)	20	
CDC level of concern in soil (ppb)		1





