

Ser. 4

# Evaluatie ramp in Bhopal in relatie tot arbeidsveiligheid

S 34

Rapport

Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA0032670\*

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 34

gratis de

# Evaluatie ramp in Bhopal in relatie tot arbeidsveiligheid

## Rapport

Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

### Opstellers:

ir. C.M. Pietersen  
mw. ing. J.M. Bruggeman

Nederlands Instituut voor  
Arbeidsomstandigheden NIA  
bibliotheek-documentatie-informatie  
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

stamb.nr. 04-955  
plaats Ser. 4, P34  
datum 18 DEC. 1987  
juli 1987

<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b><u>pag.</u></b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>3</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>4</b>
<b>2. DE UNION CARBIDE FABRIEK IN BHOPAL</b>	<b>5</b>
2.1 MIC produktieproces	5
2.2 De MIC opslaginstallatie	6
2.3 Enige eigenschappen van MIC	7
<b>3. HET ONGEVAL</b>	<b>9</b>
3.1 Ongevalseontwikkeling	9
3.2 Nadere ongevalsinformatie	12
3.3 De gaswolk	13
<b>4. GLOBALE OORZAKEN ANALYSE BHOPAL EN ANDERE ONGEVALLLEN</b>	<b>14</b>
4.1 Oorzaken gedurende verschillende toestanden van een proces	14
4.2 Bhopal oorzaken	16
4.3 Oorzakenanalyse andere ongevallen	19
<b>5. EVALUATIE VAN DE ONGEVALSOORZAKEN</b>	<b>22</b>
5.1 Bhopal, een 'normaal' ongeval	22
5.2 Aandacht voor inherente procesveiligheid	22
5.3 Kwaliteit en kwantiteit van personeel	24
<b>6. REFERENTIES</b>	<b>25</b>
<b>FIGUREN</b>	
<b>BIJLAGE 1: OORZAKENSTRUCTUUR MET BETREKKING TOT HET ONGEVAL</b>	

## SAMENVATTING

Naar aanleiding van de ramp in Bhopal is door het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (Directoraat Generaal van de Arbeid) opdracht gegeven aan TNO-MT (afdeling Industriële Veiligheid) na te gaan welke belangrijke lessen met betrekking tot procesveiligheid en arbeidsveiligheid mogelijk vanuit een analyse van deze ramp geleerd kunnen worden. Het resultaat van die analyse ligt voor in dit rapport.

De studie heeft zich voornamelijk gericht op het beleidsterrein van het Directoraat Generaal van de Arbeid. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld zone-ringsaspecten of rampbestrijding niet of nauwelijks aan de orde komen. In dit rapport is een beschrijving van het ongeval in Bhopal opgenomen. De oorzaken van dit ongeval zijn beschreven en vervolgens veralgemeend tot problemen die in ieder (petro)chemisch bedrijf een rol kunnen spelen. Geconcludeerd wordt dat de ramp in Bhopal te wijten is aan een samenloop van omstandigheden: een oorzakenstructuur. Deze structuur wijkt nauwelijks af van andere ernstige ongevallen. Dit is nagegaan met behulp van de TNO ongevallen databank FACTS. Bhopal was dan ook uitsluitend een uniek ongeval met betrekking tot de wel zeer fatale gevolgen ervan. Verder is gesteld dat belangrijke lessen die uit 'Bhopal' geleerd kunnen worden zijn:

- Het grote belang van inherente procesveiligheid.  
Het (verder) ontwikkelen en toepassen van de procesveiligheidsanalyse-methodiek is gewenst.
- Het belang van aandacht voor de kwaliteit (in relatie tot de te verrichten taken) van het personeel die een fabriek opereert.

## 1. INLEIDING

Eind 1984 vonden twee van de grootste rampen uit de recente industriële geschiedenis plaats:

- LPG-ramp in Mexico-City, 19 november 1984 (500 doden, 7000 gewonden)
- Methylisocyanaat ontsnapping in Bhopal, 3 december 1984 (meer dan 2.500 doden en tienduizenden gewonden).

Naar aanleiding van deze rampen zijn verschillende onderzoeken geïnitieerd met betrekking tot de veiligheid van de industrie. In binnen- en buitenland, door zowel overheden als industrie zijn of worden studies uitgevoerd met betrekking tot mogelijke lessen uit het gebeurde middels het verbeteren (waar mogelijk) van de veiligheidssituatie. De nadruk ligt hierbij op de gevaren van ontsnappingen met toxische stoffen.

Zo is ook naar aanleiding van de ramp in Bhopal door het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (Directoraat Generaal van de Arbeid) opdracht gegeven aan TNO-MT (afdeling Industriële Veiligheid) voor een analyse van de ramp in Bhopal.

De studie heeft zich voornamelijk gericht op het beleidsterrein van het Directoraat Generaal van de Arbeid. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld zoneringsaspecten of rampbestrijding niet of nauwelijks aan de orde komen.

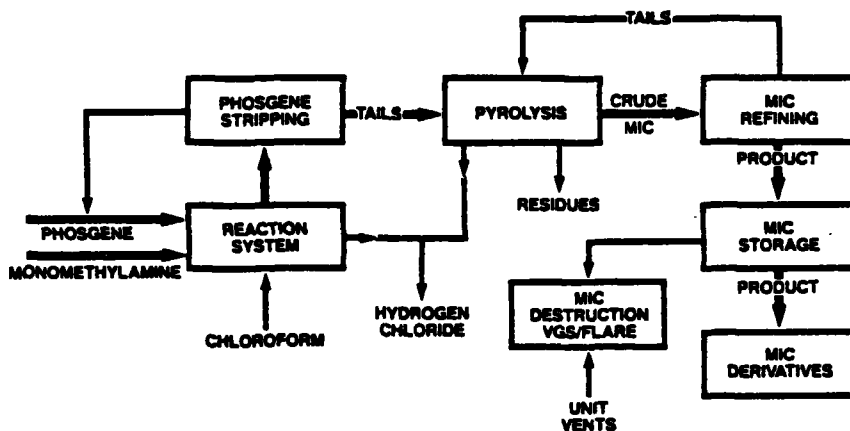
In dit rapport is een beschrijving van het ongeval in Bhopal opgenomen. De oorzaken van dit ongeval zijn beschreven en vervolgens veralgemeend tot problemen die in ieder (petro)chemisch bedrijf een rol kunnen spelen.

## 2. DE UNION CARBIDE FABRIEK IN BHOPAL

### 2.1 MIC produktieproces

De Union Carbide India Limited (UCIL) fabriek te Bhopal, voor 50,9% eigendom van de Union Carbide Corporation (UCC) in de USA en voor 49,1% van Indiase investeerders, produceert vanaf 1969 carbamaat pesticiden. De grondstoffen daarvoor werden geïmporteerd uit de USA. In 1975 wordt gestart met een eigen carbaryl productie ("Sevin"). Methylisocyanaat (MIC) is daarvoor een tussenproduct dat ook eerst nog werd ingevoerd. In 1979 startte de MIC productie in Bhopal. Het ongeval dat in de volgende paragraaf beschreven wordt had betrekking op de MIC opslag. Het MIC produktieproces wordt daarom nader beschouwd. Een blokschema [1] van dit proces is hieronder weergegeven.

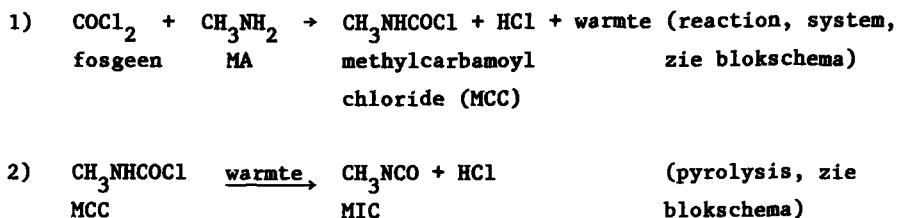
### MIC PROCESS



MIC wordt geproduceerd uit de grondstoffen monomethylamine (MA) en fosgeen.

Fosgeen wordt ook ter plaatse geproduceerd uit de grondstoffen chloor en koolmonoxyde. Koolmonoxyde wordt elders op de fabriek geproduceerd. De MA en chloor worden aangevoerd per tankauto en opgeslagen in tanks. Chloroform wordt in het proces gebruikt als oplosmiddel.

De basis chemische vergelijkingen voor de MIC-produktie zijn als volgt:



Na de eerste reactiestap worden de reactieprodukten verdund met chloroform en dan in de fosgeenstripper gevoerd alwaar het fosgeengehalte op specificatie gebracht wordt. Vervolgens vindt de pyrolyse stap plaats (reactie vgl.2). In deze stap vindt de vorming van MIC plaats. Daarna wordt de MIC gedestilleerd tot een "Commercial Grade" (CG) MIC. De MIC wordt vervolgens opgeslagen.

De UCIL-fabriek is gelegen aan de rand van de stad Bhopal in het district Madhya Pradesh te India. Rondom de fabriek is de bevolkingsdichtheid erg hoog, de sloppenwijken met veel ondervoeding en slechte behuizing zijn opgedrongen tot aan de fabriek. (Het is niet bekend in welke mate de minder goede gezondheid van de mensen heeft bijgedragen tot het grote aantal slachtoffers bij de ramp).

Bhopal is een stad met ongeveer 700.000 inwoners.

In figuur 3 is een plattegrond van de fabriek weergegeven.

## 2.2 De MIC opslaginstallatie

De MIC opslag in Bhopal vond plaats in tanks van roestvrij staal (304). Er zijn 3 tanks van dit type ter plaatse, no. 610, 611 en 619. Tank 619 is een reservetank om MIC op te slaan dat niet aan de specificaties voldoet. De tanks zijn ingeterpt en hebben elk een inhoud van 56,8 m<sup>3</sup>. De inhoud van de tanks wordt, volgens ontwerp, gekoeld met freon om de temperatuur op ongeveer 0 °C te houden. Dit om (polymerisatie) reacties te voorkomen. De tanks worden op een geringe overdruk van 0,14 bar gehouden via een stikstof drukregeling.

In figuur 1 is een schema van het opslagsysteem van tank no. 610, de ongevalstank, opgenomen. De tank is verbonden met de Proces Vent Header (PVH). Via de PVH worden MIC dampen afgevoerd naar de Vent Gas Scrubber (VGS) en eventueel Flare Tower (FT). De tank is ook verbonden met de Relief Valve Vent Header (RVVH), het betreft hier de uitlaat van de veiligheidskleppen. Ook de RVVH is verbonden met de VGS en FT (zie hiervoor figuur 2).

De VGS kan verontreinigd, vloeibaar of dampvormig MIC neutraliseren met behulp van natronloog. De FT is voornamelijk bedoeld om CO en MA dampen te verbranden. Daarnaast kunnen ook dampen van de MIC destillatie, de MIC opslag en de VGS verbrand worden.

In figuur 1 is ook een "jumper-line" tussen de RVVH en de PVH aangegeven. Deze verbinding is pas later, een jaar voor het ongeval, aangebracht en verzekerde een verbinding van de tank met de VGS, ook tijdens onderhoud van de PVH. Deze verbinding is een belangrijke ontwerp modificatie, die goedkeuring vereiste van het moederbedrijf in de USA [2,12].

### 2.3 Enige eigenschappen van methylisocyanaat (MIC) $\text{CH}_3\text{N}=\text{C}=\text{O}$ .

MIC is hoog reactief, onstabiel, brandbaar, explosief en uiterst toxisch. De stof reageert met zuren, logen, water en een aantal organische verbindingen. Ook kan MIC met zichzelf reageren.

De meeste reacties zijn exotherm, sommige uiterst heftig.

Het vlampunt is  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ . De explosiegrenzen in lucht zijn 5,3% (v) en 26% (v), als respectievelijk onder- en bovengrens.

De TLV-waarde (Threshold Limit Value) is 0,02 ppm. Deze waarde is vastgesteld in 1975 door de Amerikaanse ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienists). Union Carbide heeft in juli 1976 een uitvoerige brochure uitgegeven over de eigenschappen van methylisocyanaat [16].

De intoxicatie van mensen door MIC kan alleen worden ingeschat via bekende diergegevens, bijvoorbeeld uit [18]. Het is overigens bekend dat op dit moment veel onderzoek plaatsvindt (onder andere door Union Carbide) naar de toxiciteit van MIC.



Uit [18] volgt bijvoorbeeld een  $LC_{50}$  (rat) van  $20 \text{ mg/m}^3$  bij een blootstelling van 3 uur. Relatief hoge concentraties zullen niet tot lethaliteit leiden bij een korte blootstellingsduur. Relatief lage concentraties bij een lange blootstelling wel. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld  $Cl_2$  en  $NH_3$  waarbij de concentratie de belangrijkste factor is.

In [21] wordt hierop nader ingegaan.

### 3. HET ONGEVAL

#### Uitgangspunten

De hier gepresenteerde ongevalsontwikkeling is een weerslag van openbare rapporten en publikaties. Een belangrijk gegeven is het Union Carbide rapport [1], alhoewel dit rapport geen sluitende verklaring levert voor het gebeurde. Een belangrijke bron met betrekking tot de ongevalsontwikkeling is het artikel van Brushan/ Subramaniam in Business India februari/maart 1985 [2]. De informatie die daarin verstrekt wordt is later ook aangetroffen in diverse andere bronnen in India (zie onder andere [3] en [4]).

Ook in het "Trade Union report on Bhopal" [17] wordt [2] gezien als de meest betrouwbare ongevalsinformatie omdat ze goed overeenkomt met de beschrijvingen van de werknemers. In dit rapport worden [1] en [2] als voornaamste basis gebruikt.

Op dit moment vindt nog steeds onderzoek plaats door Indiase onderzoekers met betrekking tot de stoffen die daadwerkelijk zijn vrijgekomen. Het onderzoeksteam uit India is het op een aantal punten oneens met het Union Carbide rapport, zie [3]. Het betreft hier het mechanisme dat de fatale reactie in de tank op gang bracht. Was het een grote hoeveelheid water en een te grote hoeveelheid chloroform (Union Carbide) of was het een kleine hoeveelheid water en een relatief grote hoeveelheid fosgeen die de reactie initiëerde? India beweert het laatste, wijzend op een "fabrieksgeheim" dat geen 0,02% maar 2% fosgeen als een stabilisator werd toegelaten in de MIC. Deze discussie is voor het kader van deze studie verder minder relevant en zal hier achterwege blijven, mede vanwege zijn complexiteit.

TNO heeft inmiddels in India zelf nadere informatie kunnen inwinnen. Ook is een bezoek gebracht aan de fabriek in Bhopal.

Een meer uitgebreid TNO-rapport met betrekking tot de ramp en het belang van veiligheidsstudies en rampbestrijding zal in augustus 1987 verschijnen [21].

#### 3.1 Ongevalsontwikkeling

Op welk moment de aanloop naar het ongeval precies aanving is moeilijk te zeggen. Het is daartoe noodzakelijk de oorzaak van het ongeval te definiëren. Immers, ook het ontwerp van het proces

speelt daarbij al een rol. Omdat wel duidelijk is dat een lekkage van water in MIC tank 610 een rol speelde, wordt in deze beschouwing deze lekkage als directe aanleiding tot het ongeval gezien.

Daarbij spelen de volgende gebeurtenissen een rol die plaatsvonden vóór 2 december 1984:

- Het wassen met water van de filter veiligheidsklepuitlatleidingen (fig.1) vond reeds geruime tijd plaats zonder het plaatsen van een blindflens ter plaatse van klep 16 (zie figuur 1). [5,8,12].
- Het installeren van de jumper-line (fig.1) [2,3,4,12,17].
- Het uit gebruik nemen van het freon/koelsysteem. De freon was afgetapt voor gebruik elders in de fabriek [2,3,12].
- De circulatie van natronloog in de VGS was gestopt (waarschijnlijk al in oktober 1984). Het was de bedoeling deze te starten in geval van nood [2,3].
- De FT was niet aangesloten. Deze was waarschijnlijk in onderhoud vanwege problemen met betrekking tot het aanhouden van de vlam [2,3].
- De PVH was in onderhoud. De kleppen in de "jumper-line" waren geopend [2].

#### Zondag 2 december

In de ochtend was door de productmanager instructie gegeven aan de MIC plantmanagers de 4 bovengenoemde leidingen te wassen (zie figuur 1). Deze operatie startte 's avonds:

- 21.30 klep 16 wordt gesloten. De kleppen in de filterleidingen worden geopend (18, 19, 20 en 21) evenals de "bleed" kleppen (22,23,24 en 25). Bij het wassen via klep 17 bleek dat niet uit alle "bleed" kleppen water stroomde, wijzend op een blokkage. Na raadpleging van de supervisor werd toch besloten het wassen voort te zetten. Water lekte nu waarschijnlijk in de RVVH (via 16).
- 21.45 De operator verhoogt de druk in de opslagtanks door het setpoint van de drukregelaar op de MIC opslagtanks te verhogen. In dit geval behoren de ventkleppen (4) dicht te gaan en de stikstofkleppen (5)

open. Bij tank 611 ging de druk inderdaad omhoog. Bij tank 610 niet. De drukverhoging was nodig om het MIC te transporteren vanuit de tanks. Hiervoor waren echter ook pompen aanwezig. Het kan zijn dat deze pompen buiten gebruik zijn gesteld nadat de circulatie door de koeling was vervallen, wellicht mede omdat de zuighoogte nu te gering was door de hogere dampdruk van het MIC.

- 22.45 Shiftwisseling, waarbij informatie onvoldoende werd overgedragen [8,10,14].
- 22.45 De RVVH is nu waarschijnlijk gevuld tot aan het hoogste punt (6,1 m hoog) en begint via de jumperline in de PVH te lekken. Enige drukstijging wordt gesignaleerd via de PIC.
- 23.00 De overdruk in 610 wordt nu afgelezen op 0,7 bar (normaal 0,14 bar). Er wordt echter nauwelijks aandacht aan geschonken omdat de PIC niet betrouwbaar geacht werd. De temperatuurindicatie + alarm functioneerde niet. Op dit moment sluit de PIC waarschijnlijk de stikstofklep en opent de ventklep.
- 23.30 Een operator signaleert een ontsnapping uit de ventleiding naar de atmosfeer. Waarschijnlijk een ontsnapping van MIC/N<sub>2</sub> damp door het PIC openen van de ventklep. Water loopt de tank binnen.

Maandag 3 december

- 0.15 Een snelle drukstijging wordt gesignaleerd evenals een lek bij de VGS (RVVH). De RVVH bevat nu waarschijnlijk al geen water meer (verdreven door de damp en in de tank gelekt). Een drukgolf in de VGS is het gevolg, en de overflow (fig.2) wordt aangesproken.
- 0.30 De breekplaat (13) barst en grote hoeveelheden damp stromen (via de veiligheidsklep (10) uit in de omgeving (op 30,5 m hoogte). De drukindicatie is buiten zijn bereik (max. 3,8 bar). Het gebied rond de tank is warm en de betonnen omhulling schudt. De loogpomp wordt gestart, er komt echter geen loogcirculatie op gang. De VGS operator weigerde ter plaatse poolhoogte te nemen wanneer hij niet

vergezeld werd. Dit vanwege de reeds aanwezige dampen. Er is niemand gegaan.

0.40 Er ontstaat paniek onder de medewerkers op de plant. Zij vluchten in bovenwindse richting.

1.30-2.30 De veiligheidsklep op de opslagtank sluit.

### 3.2 Nadere ongevalsinformatie.

- Ook bij een juist functioneren van de VGS en de FT was de uitstroming niet te voorkomen [2]. De capaciteit van beiden was in hoge mate ontoereikend.
- Een gasalarm (sirene) werd gegeven om 0.50 uur. Het externe alarm (bedoeld voor de bevolking) werd 5 minuten later afgezet. Deze procedure was uitgevoerd om paniek te voorkomen. Pas om ongeveer 2.30 werd de sirene opnieuw gestart [2].  
De bevolking was nooit geïnformeerd over hoe te handelen.
- De MIC in tank 610 lag sinds oktober 1984 opgeslagen.
- De laatste verdedigingslinie: het watergordijn, reikte onvoldoende hoog [4,5,11]. Union Carbide (USA) heeft in 1982 aanbevolen een krachtiger systeem te installeren.
- De drukindicaties hadden geen alarmering. Ook een gasdetectiesysteem ontbrak. Dit in afwijking met het ontwerp van de UC fabriek in de USA [4].
- De samenstelling van het MIC werd onvoldoende en onjuist gecontroleerd [4]. Zoals eerder vermeld wordt hier niet nader ingegaan op de invloed van de verontreinigingen in de tank op de ongevalsontwikkeling.
- Rampbestrijdingsplannen bestonden niet. Onvoldoende informatie was aanwezig bij de artsen over hoe te handelen [13,14].
- De reservetank 619 was inderdaad leeg. Er is geen poging ondernomen om de inhoud van tank 610 op enig moment te dumpen in 619 [14].
- Aan artikelen in de pers (vóór de ramp) over de mogelijkheid van een dergelijke ramp in Bhopal is nauwelijks aandacht besteed [13,14,15].

Tussen 1981 en 1984 vonden 6 ongevallen plaats op de fabriek (2 ernstige fosgeen lekkages, één dodelijk slachtoffer, 25 gewonden) [13,15].

- De personeelsbezetting van de fabriek was in de loop der tijd zowel kwantitatief als kwalitatief teruggelopen [13,14,15].

### 3.3 De gaswolk

Naar schatting lekte 25 ton MIC in twee uur tijd naar de atmosfeer.

De weersomstandigheden waren van dien aard dat de gaswolk slechts langzaam verdund werd (zeer stabiel weer, 14 °C, windsnelheid 2 m/s). In fig. 4 uit [14] is aangegeven in welk gebied de slachtoffers vielen. Ongeveer 250.000 personen zijn blootgesteld aan het gas.

De schattingen van het aantal dodelijke slachtoffers lopen uiteen van 2.000 tot 10.000.

In het kader van deze studie wordt niet nader op de intoxicatie- en rampbestrijdingsaspecten ingegaan. In par. 2.3. zijn enige MIC stofgegevens gepresenteerd. Zie voor meer uitgebreide informatie [21].

#### 4. GLOBALE OORZAKEN ANALYSE BHOPAL EN ANDERE ONGEVALLLEN

##### 4.1 Oorzaken binnen verschillende rubrieken

Om een goed overzicht te krijgen van de oorzaken die een rol speelden in het Bhopal ongeval wordt eerst een algemene indeling gemaakt in verschillende rubrieken. Daarbinnen kunnen fouten ontstaan.

Tabel 1

---

rubriek elementen die een rol kunnen spelen bij de veiligheid	
1) ontwerp van het proces	<ul style="list-style-type: none"><li>- het kiezen van een veilige procesroute qua stoffen</li><li>- opslag nodig, zo ja in welke (min) hoeveelheid, duur en condities</li><li>- mogelijkheid tot penetratie van vreemde stoffen</li></ul>
2) ontwerp van de installatie	<ul style="list-style-type: none"><li>- ontwerpnormen en -richtlijnen</li><li>- keuze van materiaal voor de installatie</li><li>- capaciteit; afstemming op de rest van het proces</li><li>- procesbewaking, -alarmering en -beveiligingen</li><li>- betrouwbaarheid en testfrequentie van apparatuur</li><li>- ontwerpwijzigingen</li><li>- lokatie van de installatie</li><li>- plant-lay-out</li></ul>
3) operatieprocedures	<ul style="list-style-type: none"><li>- procedures voor normale operatie</li><li>- procedures voor reinigen, opstarten, stoppen, testen, vervangen, storingen, etc.</li><li>- informatie overdracht b.v. bij ploegwisseling</li></ul>
4) onderhoud	<ul style="list-style-type: none"><li>- procedures/systematisch onderhoud</li><li>- systematische analyse storingen</li><li>- inspectie</li></ul>
5) noodvoorzieningen	<ul style="list-style-type: none"><li>- detectors, watersproeiers</li><li>- vernietigingsinstallaties</li><li>- gaspakken en ander beschermingsmiddelen</li><li>- wat te doen bij alarm (bedrijfsnoodplan)</li><li>- melding/waarschuwing</li></ul>

(vervolg tabel 1)

---

6) management	- minimaal aantal aanwezige mensen voor veilig bedrijf
	- vastleggen verantwoordelijkheden
	- training van operators en staf
	- beleid gericht op veiligheid
	- controles ("safety audits")
	- economische overwegingen
	- kennis van het proces

---

tabel 1: overzicht van mogelijke oorzaken.



#### 4.2 Bhopal oorzaken

Een analyse van oorzaken van een ongeval kan plaatsvinden vanuit verschillende invalshoeken. In dit rapport is gekozen voor een opdeling naar oorzaken in de verschillende rubrieken uit tabel 1. Daarbij worden aspecten van blootstelling van mensen en ramp-bestrijding vrijwel geheel buiten beschouwing gelaten.

Een beknopt voorbeeld van een andere aanpak van een oorzakenanalyse van dit ongeval is gegeven in bijlage 1.

In het volgende schematisch overzicht (tabel 2) wordt aangegeven (via systematiek van tabel 1) welke elementen bij het ongeval in Bhopal een rol hebben gespeeld.

Tabel 2

stysteemtoestand	aspecten die in Bhopal een rol speelden
1) ontwerpen van het proces	<ul style="list-style-type: none"><li>- keuze andere procesroute (b.v. zonder MIC)</li><li>- niet meer MIC produceren dan noodzakelijk voor de produktie van het eindprodukt</li><li>- veiligheidsaspecten m.b.t. (tussen)produkten (verontreinigingen etc.)</li></ul>
2) ontwerp van de installatie	<ul style="list-style-type: none"><li>- mogelijkheid voor penetratie van water is inherent onveilig</li><li>- ijzerionen kwamen vrij van de roestvrijstalen tankwand: keuze van materiaal</li><li>- procesbewaking (overvulmogelijkheid door handregeling, UC-rapport 1982); onvoldoende alarmeringen</li><li>- de VGS en FT hadden onvoldoende capaciteit voor een ontledingsreactie</li><li>- twee belangrijke ontwerpwijzigingen werden doorgevoerd: de "jumperline" tussen de PVH en de RVVH werd aangebracht en het koelsysteem werd buiten werking gesteld</li></ul>

(vervolg tabel 2)

- 
- 3) operatieprocedures
- door onvoldoende/onjuiste controle van de destillatie specificaties kon er teveel chloroform en fosgeen in de MIC aanwezig zijn
  - MIC lag te lang opgeslagen in zo'n grote hoeveelheid
  - de systeemcondities werden niet voldoende gecontroleerd
  - reinigen: aan de medewerker is geen instructie gegeven om tijdens het wassen de blindflens te plaatsen
  - onvoldoende aandacht besteed aan de eerste lekkages, de ernst ervan werd niet onderkend
  - belangrijke beveiligingen (b.v. verbinding naar flare tower) waren te lang afgesloten voor reparatie zonder dat goede alternatieven
  - bij ploegwisselingen werd onvoldoende informatie overgedragen
- 
- 4) onderhoud
- er was nalatigheid bij onderhoud, waardoor veel aanwijzingen van systeemcondities niet of niet juist werkten en veel leidingen en kleppen in slechte staat verkeerden
  - UC-rapport 1982: lekkage van kleppen kwam veel voor
  - het systeem was niet betrouwbaar, omdat er te weinig werd gecontroleerd/getest
- 
- 5) noodvoorzieningen
- de operators waren onvoldoende op de hoogte over hoe te handelen bij grote calamiteiten
  - er waren geen gasdetectors aanwezig
  - de aanwezige watersproeier was niet ontworpen voor de hoogte waarop MIC ontsnapte
  - de omwonenden werden niet gewaarschuwd, omdat de externe sirene van de interne was afgekoppeld
  - effecten werden vergroot doordat de omwonenden en de artsen niet op de hoogte waren van de toxische effecten van MIC en hoe het behandeld kon worden
  - de flare tower was afgekoppeld
  - de loogwasser stond niet in bedrijf

(vervolg tabel 2)

---

6) management	<ul style="list-style-type: none"><li>- er werd geen winst gemaakt, vandaar de drang tot bezuinigen</li><li>- het personeelsbestand op de MIC-fabriek was aanzienlijk teruggebracht</li><li>- onderhoud werd gereduceerd</li><li>- geen nood oefeningen/trainingen</li><li>- negeren van informatie m.b.t. onveiligheid</li><li>- training: .de mensen waren onvoldoende geïnstrueerd over het veilig werken met MIC</li><li>.veel mensen waren onervaren en werden onvoldoende getraind</li></ul>
---------------	--

---

tabel 2: overzicht van Bhopal-oorzaken

#### 4.3 Oorzakenanalyse andere ongevallen.

De ramp in Bhopal is de grootste met een industriële activiteit tot nu toe. De vraag is in hoeverre deze ramp inderdaad zeer uitzonderlijk is. In deze paragraaf wordt aannemelijk gemaakt dat Bhopal (hoewel met betrekking tot de gevolgen uitzonderlijk) in wezen past in het oorzakenpatroon van de meeste andere ernstige ongevallen.

Een algemeen beeld van oorzaken die een rol kunnen spelen bij ongevallen in de chemische en petrochemische industrie volgt uit tabel 3.

De analyse is gebaseerd op 251 ongevallen die zijn verkregen uit de TNO ongevallen databank FACTS.

De geanalyseerde ongevallen zijn van ná 1969 en voldoen aan tenminste één van de onderstaande criteria:

- dodelijk of lichamelijk letsel
- brand en/of explosie
- vrijkomen van meer dan 1.000 kg van een brandbare/explosieve stof
- vrijkomen van een toxische stof.

FACTS bevat op dit moment ongeveer 15.000 ongevallen met gevaarlijke stoffen. De informatievoorziening is zodanig dat niet alle ongevallen (wereldwijd) zullen worden opgenomen.

De volledigheid van het bestand wordt echter groter naarmate ernstiger ongevallen beschouwd worden zoals hier het geval is.

De hier gepresenteerde cijfers kunnen dan ook als representatief verondersteld worden. Dit wordt bevestigd door andere ongevalsanalyses, zie bijvoorbeeld [19].

Uit tabel 3 is duidelijk dat de menselijke factor de belangrijkste oorzaak is voor het plaatsvinden van ongevallen. Naast de ongevallen die toegeschreven kunnen worden aan direct menselijk falen, speelt in vele andere gevallen de mens een indirecte rol, bijvoorbeeld door nalatig onderhoud, foutieve constructie, montage, enz.

Toch is het aandeel van ongevallen die te wijten zijn aan technisch falen hoog (26%). Hierbij moet echter bedacht worden dat in vele gevallen sprake zal zijn van een dieper liggende oorzaak die niet achterhaald kon worden. Zo zullen waarschijnlijk enkele van de ongevallen die veroorzaakt zijn door een lekkende klep/pakking/lager, thuis horen in de categorie "nalatig onderhoud" of "foutief materiaal". Bovendien lijkt het aannemelijk dat een groot aantal ontwerpfouten terecht is gekomen onder de oorzaak "technisch falen".

In de tabel zijn de elementen die een rol speelden bij het Bhopal-ongeval in een aparte kolom opgenomen.

Oorzaak	Aantal	%	Elementen Bhopal ongeval
* geen/verkeerde handeling	44		x
* niet opvolgen voorschriften	19		x
* foutieve voorschriften	6		x
* communicatiefout	<u>1</u>		x
Menselijk falen	70	32	
* lekkende klep/pakking/lager etc.	22		x
* falen pijpleiding/vat etc.	18		
* falen pomp/compressor	9		x
* falen instrumentatie/veiligheid	<u>7</u>		x
Technisch falen	56	26	
Incorrect materiaal	18	8.5	x
Chemische reactie	16	7.5	x
Foutieve constructie/montage	13	6	x
Corrosie/erosie	9	4	x
Storing stroomvoorziening	9	4	
Nalatig onderhoud	8	4	x
Statische elektriciteit/vonk	5	2.5	
Natuurlijk (bijv. aardbeving)	5	2.5	
Kortsluiting	3	1	
Ontwerpfout	2	1	x
Sabotage/vandalisme	2	1	
Totaal	216	100	
Onbekend	35		

Tabel 3: Ongevallen in de chemische en petrochemische industrie, ingedeeld naar oorzaak (FACTS ongevallendatabank).

## 5. EVALUATIE VAN DE ONGEVALSOORZAKEN

### 5.1 Bhopal, een 'normaal' ongeval

Hoewel een volledig beeld van de oorzaken van de ramp in Bhopal (nog) niet voorhanden is, kan toch een aantal belangrijke conclusies getrokken worden.

Het is van belang te constateren dat het ongeval in Bhopal met betrekking tot de oorzakenstructuur niet significant afwijkt van andere (ernstige) ongevallen (zie hoofdstuk 4.3). In die zin kan Bhopal overal gebeuren. De ramp is uiteraard wel uitzonderlijk met betrekking tot de zeer fatale gevolgen ervan.

De grote hoeveelheid ontsnapte MIC, de grote hoeveelheid mensen dichtbij de fabriek en het ontbreken van een rampbestrijdingsplan hebben geleid tot de grote hoeveelheid slachtoffers.

Zoals in veel ongevallen is het menselijk falen een belangrijke factor geweest. Verder heeft een wijziging in de installatie een belangrijke rol gespeeld, zoals ook bijvoorbeeld het geval was bij de ramp in Flixborough (1-6-1974).

In het ontwerp van de installatie bevond zich een aantal inherent onveilige situaties (zie 5.2). Onderhoudsproblemen, incorrect materiaal en economische druk op de produktie completeren het beeld dat niet specifiek 'Bhopal' is, maar 'normaal' voor ernstige ongevallen.

Dat zoveel factoren zijn aan te wijzen duidt erop dat het management onvoldoende functioneerde.

Vrij algemeen geldt dat niet een enkele oorzaak van het ongeval is vast te stellen. Het is altijd een samenloop van omstandigheden, in de loop der tijd worden langzaam maar zeker (beginnend bij het procesontwerp) de voorwaarden voor een dergelijk ongeval geschapen.

### 5.2 Aandacht voor inherente procesveiligheid

Eén van de belangrijkste lessen die te leren zijn van de ramp in Bhopal is dat aandacht voor een zo groot mogelijke, inherente procesveiligheid van groot belang is.

Het ontwerp van de fabriek in Bhopal kende een aantal inherente onveiligheden.

Zonder uitpuittend te zijn worden de volgende elementen genoemd:

- Een zeer grote MIC opslagcapaciteit ten opzichte van de benodigde hoeveelheid voor de Sevin-productie.

In het algemeen kan gesteld worden dat bij het ontwerp van installaties soms onnodig veel 'flexibiliteit' wordt ingebouwd, bijvoorbeeld ten behoeve van mogelijke toekomstige uitbreidingen. Grotere opslagcapaciteit, grotere leidingdiameters, meer flenzen dan strikt genomen noodzakelijk is. Dit kan gaan ten koste van de veiligheid. In de TNO LPG Integraalstudie [22] is hier ook op gewezen, evenals in [23].

- De overheadcondensator van de MRS-still (MIC-destillatiekolom) gebruikt water als koelmedium op een hogere druk dan de MIC-zijde van de condensator. Dat betekent dat ieder lek (hoe klein ook) onmiddellijk leidt tot verontreiniging van MIC met water.

In het algemeen kan hier het volgende gesteld worden. Het ontwerp van de MIC-condensator is niet inherent veilig met betrekking tot waterlekage. Soms kan echter een dergelijk ontwerp toch als noodzakelijk (om wat voor reden dan ook) beschouwd worden.

In zo'n geval dient uiteraard voor een adequate beveiliging te worden zorggedragen. Daartoe kan onder andere behoren een MIC-opvang in een kleine buffertank alwaar de MIC op verontreinigingen gecontroleerd wordt (automatisch) voordat het wordt doorgestuurd naar de grote MIC-opslag. Een dergelijke opslag was niet aanwezig. Daartoe kan (extra) instrumentatie behoren zoals de TDRA (Temperature Difference Recording Alarm) die voor de Bhopal-fabriek wel in het ontwerp was opgenomen, maar nooit daadwerkelijk is geïnstalleerd. Een dergelijk instrument kan een geringe reactie (temperatuurstijging) snel signaleren.

Aandacht voor inherente procesveiligheid in het bijzonder en voor procesveiligheid in het algemeen in een zo vroeg mogelijk stadium van het ontwerp van een proces is van groot belang.



Daarbij dient bijvoorbeeld ook de procesroute aan de orde te komen: kunnen wellicht via een andere procesroute gevaarlijke tussenprodukten voorkomen worden? Dergelijke vragen dienen aan de orde te komen in een 'procesveiligheidsanalyse!

DGA heeft hiertoe reeds een publikatie uitgegeven: Procesveiligheidsanalyse (een aanzet), publikatie V7 [20]. De methodiek zou nog nader uitgewerkt kunnen worden en de toepassing ervan zou op grotere schaal plaats kunnen vinden, gestimuleerd door de lessen van Bhopal.

### 5.3 Kwaliteit van personeel en management

Eén van de elementen in de oorzakenstructuur van Bhopal is de economische druk waaronder de fabriek opereerde. De fabriek produceerde met verlies en de druk tot bezuinigingen lijkt groot te zijn geweest.

Het is waarschijnlijk dat de fabriek in Bhopal met (te) weinig personeel opereerde. Dit met betrekking tot de Indiase situatie en taakstelling van de operators. Ook de mate van opleiding en ervaring voldeed waarschijnlijk niet aan de voorwaarden voor een in alle opzichten veilige operatie.

Voldoende mensen met een goede kennis van het proces en de installatie op alle niveau's is een belangrijke voorwaarde voor een veilig opereren van een installatie. Ervaring in de procesvoering is daarbij essentieel. Zie ook [24].

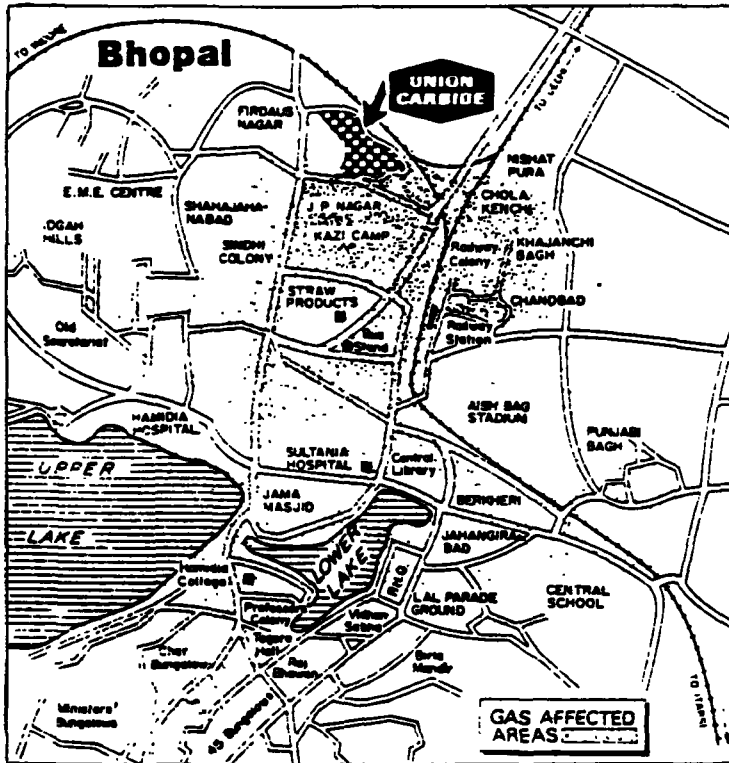
Eén van de belangrijke lessen uit Bhopal is dan ook dat het bovengenoemde zowel van overheidszijde als vanuit de industrie een voortdurende aandacht verdient.

6. REFERENTIES

- [1] Bhopal methylisocyanate incident investigation team report, March, 1985. Union Carbide Corporation, Danbury, Connecticut.
- [2] What caused the leak, Business India, february 25 - march 10, 1985.
- [3] Specious sabotage theory, The Hindu, may 11, 1985.
- [4] Bhopal plant! design & operating deficiencies, The Hindu, may 13, 1985.
- [5] The Bhopal MIC disaster: the beginnings of 'a case for workers' control.  
Union research group, 10th Jan.1985.
- [6] Report on Bhopal tragedy, society for Delhi Science Forum, New Delhi, april 1985.
- [7] The lessons of Bhopal - a community action resource manual on hazardous technologies - International Organization of Consumers Unions IOCU, september 1985.
- [8] News: Bhopal workers provide count-down to disaster, Health & Safety at work, September 1985.
- [9] The chemistry behind Bhopal's tragedy, New Scientist, december 13, 1984.
- [10] The Hague, Tuesday, jan. 29, 1985.
- [11] Why did Bhopal ever happen?  
The chemical Engineer, april 1985.
- [12] New Scientist, april 11, 1985.
- [13] Environment, september 1985.

- [14] City of Death, India today, december 31, 1984.
- [15] Aftermath, Science age, january 1985.
- [16] Methylisocyanate F 41443A-7/76 Union Carbide.
- [17] The trade union report on Bhopal,  
ICFTU/ICFE, july 1985, Geneve.
- [18] Kimmerle G. und Eber A.,  
Zur Toxicität von Methylisocyanat und dessen quantitativer  
Bestimmung in der Luft,  
Archiv für Toxicologie 29, 235-241 (1964).
- [19] E.F. Blokker, D. Goos;  
Event data collection for the Rijnmond process industry,  
5th International symposium "loss prevention and safety Promotion  
in the Process Industries", Cannes 1986.
- [20] Procesveiligheidsanalyse;  
Rapport van het Directoraat-Generaal van de Arbeid, V.7.
- [21] C.M. Pietersen;  
Bhopal, risk-analysis and emergency management,  
MT-TNO, augustus 1987.
- [22] LPG-Integraalstudie,  
Vergelijkende risicoanalyse van de opslag, overslag, het vervoer  
en het gebruik van LPG en benzine,  
MT-TNO, mei 1983.
- [23] T.A. Kletz,  
Cheaper, safer plants or wealth and safety at work,  
notes on inherently safer and simpler plants,  
Loss Prevention, IChemE, 1985.
- [24] J. Pikaar, J. Braithwaite, T. Cox,  
Process safety assessment of new and existing plants,  
Paper presented at the International symposium on loss prevention  
and safety promotion in the process industries, Cannes, September 1986.

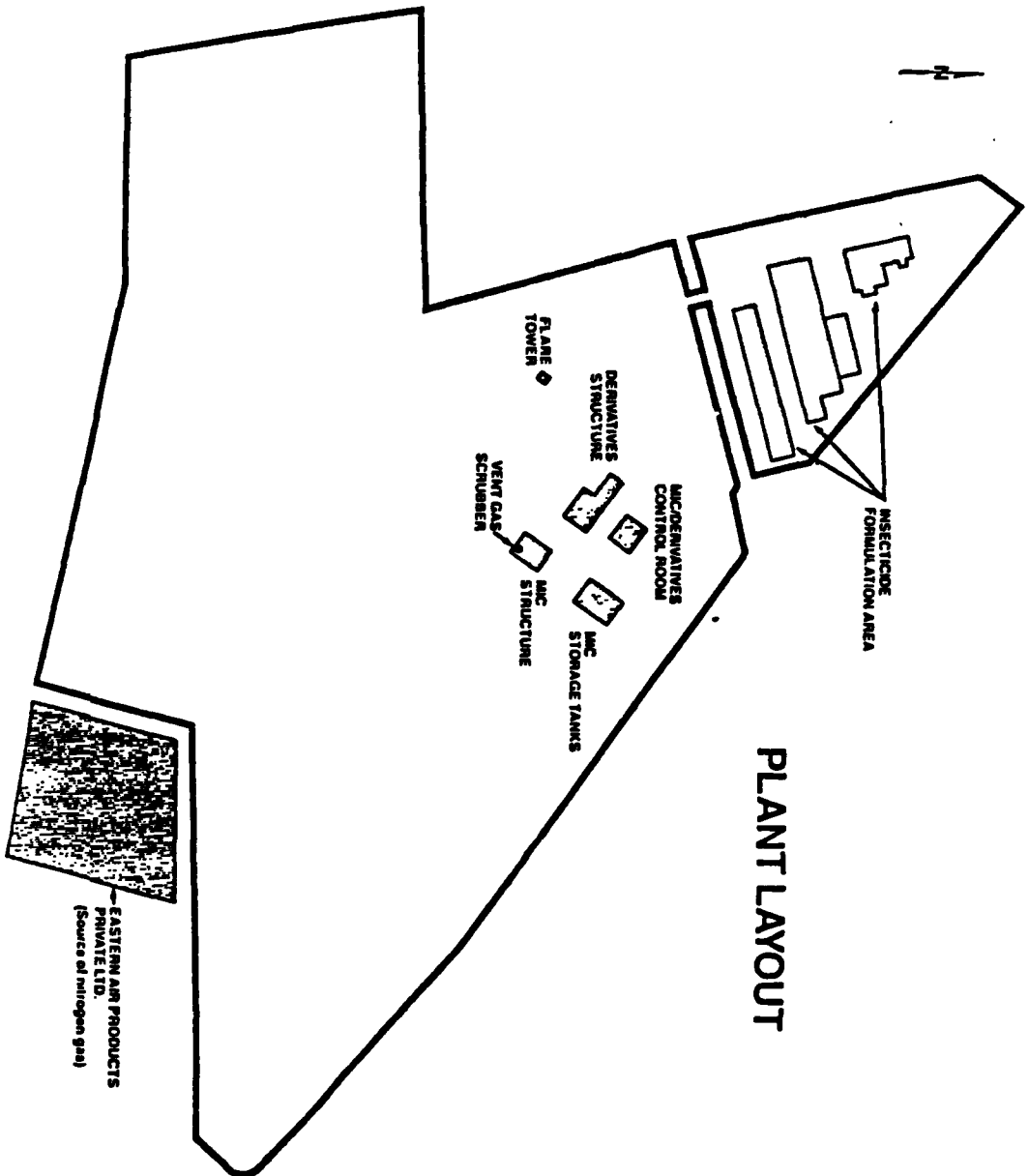
figuur 4: gaswolkspreiding

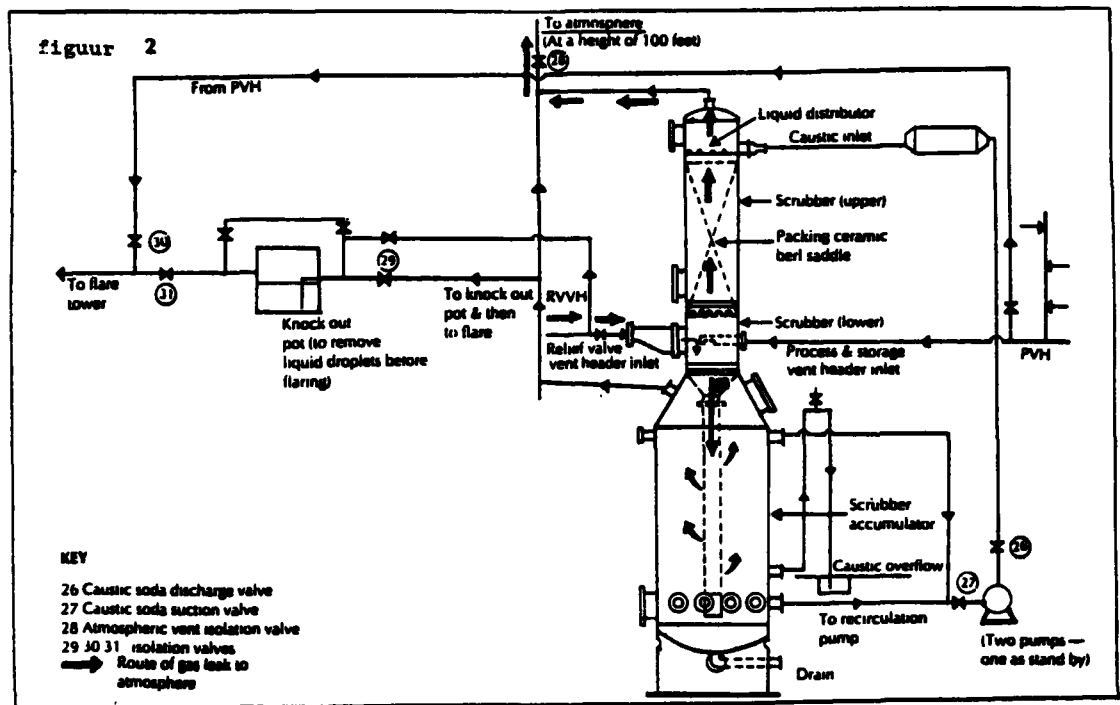
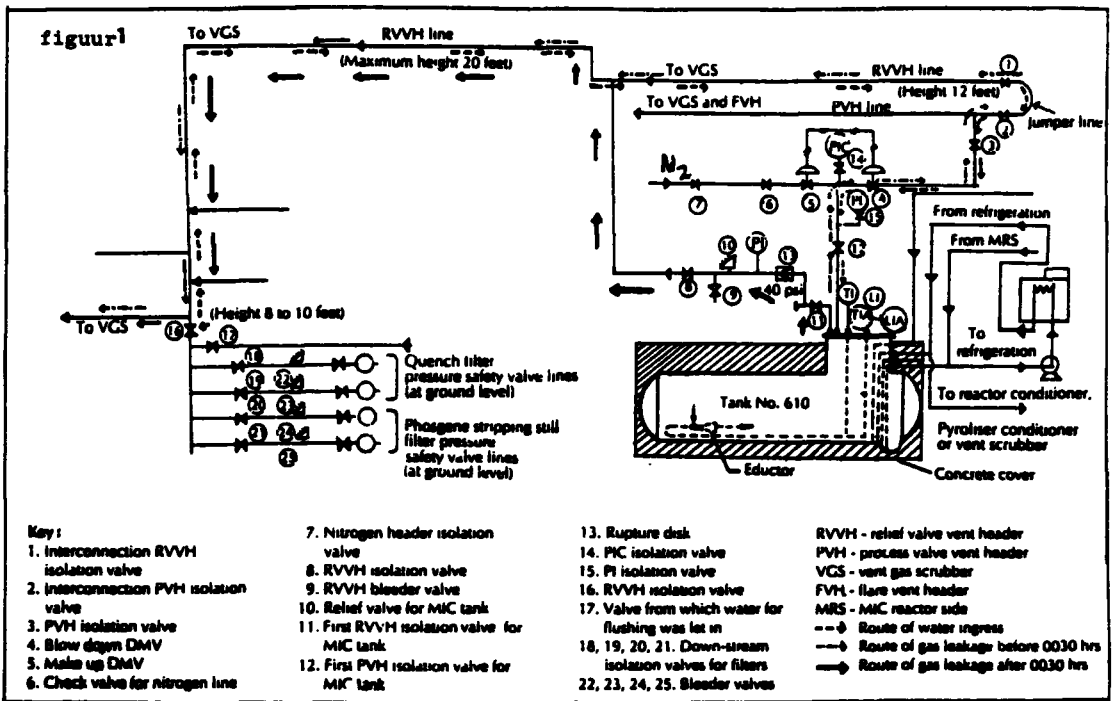


map by B K Sharma

india today- december 31 1984 [14]

figuur 3: plant layout





Bijlage 1: oorzakenstructuur met betrekking tot het ongeval. [13]

