

FEDERAAL MINISTERIE VAN TEWERKSTELLING EN ARBEID  
ADMINISTRATIE VAN DE ARBEIDSVEILIGHEID  
TECHNISCHE INSPECTIE  
DIRECTIE VAN DE CHEMISCHE RISICO'S

---

INFORMATIENOTA

---



## PROCESVEILIGHEIDSSTUDIE

Een praktische leidraad voor het analyseren en beheersen  
van chemische procesrisico's

---

kenmerk: CRC/IN/002-N  
versie 2  
datum: 9 februari 2001

---

---

Deze informatie nota werd opgesteld door:

Directie van de chemische risico's  
Federaal Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid  
Belliardstraat 51  
1040 Brussel

Eindredactie: ir. Peter Vansina

## INHOUD

<b>1.</b>	<b>INLEIDING.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>HET REGLEMENTAIRE KADER .....</b>	<b>5</b>
2.1.	DE WET OP HET WELZIJN .....	5
2.2.	HET KONINKLIJK BESLUIT BETREFFENDE HET WELZIJNSBELEID.....	6
2.3.	HET SAMENWERKINGSAKKOORD.....	7
<b>3.</b>	<b>INTERPRETATIE EN TOELICHTING BIJ DE REGLEMENTERING.....</b>	<b>10</b>
3.1.	DE ONDERDELEN VAN EEN VEILIGHEIDSSTUDIE.....	10
3.1.1.	<i>Het identificeren van gevaren.....</i>	<i>10</i>
3.1.2.	<i>Het vaststellen en nader bepalen van risico's.....</i>	<i>12</i>
3.1.3.	<i>Het evalueren van risico's.....</i>	<i>12</i>
3.1.3.1.	De evaluatie van restrisico's.....	13
3.1.3.2.	De evaluatie van intermediaire risico's .....	14
3.1.4.	<i>Het vaststellen van preventiemaatregelen .....</i>	<i>14</i>
3.1.4.1.	Risico's voorkomen.....	15
3.1.4.2.	Schade voorkomen.....	16
3.1.4.3.	Schade beperken .....	18
3.2.	BELEIDSMATIGE ASPECTEN BIJ DE UITVOERING VAN VEILIGHEIDSSTUDIES.....	19
3.2.1.	<i>Een systematische aanpak van de veiligheidsstudie.....</i>	<i>19</i>
3.2.2.	<i>De herziening van veiligheidsstudies.....</i>	<i>20</i>
3.2.2.1.	Periodieke herziening.....	20
3.2.2.2.	Herziening naar aanleiding van ongevallen en incidenten.....	21
<b>4.</b>	<b>DE PRAKTISCHE UITVOERING VAN VEILIGHEIDSSTUDIES .....</b>	<b>22</b>
4.1.	HET ALGEMEEN VERLOOP VAN EEN VEILIGHEIDSSTUDIE.....	22
4.2.	DE INDIVIDUELE STAPPEN.....	26
4.2.1.	<i>Stap 0: het opdelen van de installatie .....</i>	<i>26</i>
4.2.2.	<i>Stap 1: het inventariseren van de schadebronnen .....</i>	<i>28</i>
4.2.2.1.	Stoffen .....	29
4.2.2.2.	Reacties.....	29
4.2.3.	<i>Stap 2: de analyse van de schadebronnen.....</i>	<i>30</i>
4.2.3.1.	Stoffen .....	30
4.2.3.1.1.	Inherente eigenschappen.....	30
4.2.3.1.2.	Installatiegebonden eigenschappen.....	32
4.2.3.2.	Reacties.....	33
4.2.3.2.1.	Inherente eigenschappen.....	33
4.2.3.2.2.	Installatiegebonden eigenschappen.....	33
4.2.4.	<i>Stap 3: het definiëren van ongevallenscenario's.....</i>	<i>35</i>
4.2.5.	<i>Stap 4: het identificeren van oorzaken en gevolgen.....</i>	<i>36</i>
4.2.5.1.	Checklists .....	37
4.2.5.2.	Foutenboomanalyse.....	37
4.2.5.3.	Hazop .....	37
4.2.6.	<i>Stap 5: het vaststellen van waarschijnlijkheid en ernst .....</i>	<i>39</i>
4.2.6.1.	De ernstfactor.....	39
4.2.6.2.	De waarschijnlijkheidsfactor.....	40
4.2.6.3.	Andere factoren .....	40
4.2.7.	<i>Stap 6: het evalueren van risico's.....</i>	<i>41</i>
4.2.8.	<i>Stap 7: het vastleggen van maatregelen.....</i>	<i>43</i>
<b>5.</b>	<b>REFERENTIES .....</b>	<b>47</b>

## 1. Inleiding

Deze nota is bedoeld als een leidraad voor het in de praktijk brengen van de reglementaire voorschriften die verband houden met het analyseren van risico's van zware ongevallen en met het vastleggen van de nodige maatregelen om deze risico's te beheersen. De belangrijkste knelpunten terzake worden geduid en concrete oplossingen worden aangereikt voor het wegwerken van deze knelpunten.

Deze nota beperkt zich tot de risico's *voor de mens* die eigen zijn aan de *werking van procesinstallaties*. De risico's die geïntroduceerd worden door *werkzaamheden aan* de installaties, zoals inspecties, onderhoud en herstellingen, worden niet behandeld.

De visie die hier ontwikkeld wordt, heeft niet de pretentie om de enige en absolute waarheid in pacht te hebben. De inhoud van deze nota heeft dan ook geen verplichtend karakter. Andere praktijken zijn dus eveneens aanvaardbaar, voor zover deze in staat zijn om een evenwaardige toepassing van de reglementaire voorschriften te verzekeren.

De nota is als volgt opgebouwd. Vooreerst zal in deel 2 het reglementaire kader beschreven worden. In deel 3 wordt de reglementering geïnterpreteerd en toegelicht. Deel 4 beschrijft een concrete werkwijze om de reglementering in de praktijk te brengen.

## 2. Het reglementaire kader

De reglementering inzake arbeidsveiligheid bevat geen gedetailleerde technische voorschriften voor het beveiligen van chemische procesinstallaties. Dat betekent echter niet dat procesbeveiliging in de (petro)chemische industrie een vrijblijvende bezigheid zou zijn. In de reglementering zijn immers een aantal algemene bepalingen opgenomen inzake het uitvoeren van risicoanalyses en het nemen van de nodige preventiemaatregelen.

Er zijn drie reglementaire teksten die belangrijke bepalingen formuleren inzake risicoanalyse en het nemen van preventiemaatregelen, met name:

1. de wet van 4 augustus 1996 betreffende het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk;
2. het koninklijk besluit van 27 maart 1998 betreffende het beleid inzake het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk;
3. het samenwerkingsakkoord van 21 juni 1999 tussen de federale staat, het Vlaams gewest, het Waals gewest en het Brussels hoofdstedelijk gewest betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken (verder kortweg samenwerkingsakkoord genoemd).

### 2.1. De wet op het welzijn

Het voorwerp van deze wet is uiteraard veel ruimer dan de preventie van zware ongevallen. Welzijn wordt gedefinieerd als een geheel van factoren waarvan arbeidsveiligheid er één is. Binnen de problematiek van de arbeidsveiligheid is de preventie van zware ongevallen (met gevolgen voor de mens) op zich ook een deelgebied. Hieruit mag men zeker niet concluderen dat de principes van de welzijnswet slechts ten dele of in afgezwakte versie moeten toegepast worden op de preventie van zware ongevallen. Het tegendeel is waar. De welzijnswet stelt hoge eisen ten aanzien van de te nemen maatregelen inzake welzijn. Arbeidsveiligheid is de eerste prioriteit bij het nemen van deze maatregelen. Binnen het domein van de arbeidsveiligheid is de prioriteit evenredig met de ernst van de mogelijke ongevallen. Het is derhalve duidelijk dat de preventie van zware ongevallen (met gevolgen voor de mens) binnen de welzijnsproblematiek een zeer prioritaire plaats inneemt.

In artikel 5 van de wet worden de algemene preventiebeginselen opgesomd, waaronder de volgende:

- risico's *voorkomen*;
- *evaluatie* van risico's die niet kunnen worden voorkomen;
- bestrijding van risico's bij de *bron*;
- *vervanging* van wat *gevaarlijk* is door wat niet gevaarlijk of minder gevaarlijk is;
- voorrang geven aan *collectieve* beschermingsmiddelen boven individuele beschermingsmiddelen;
- de aanpassing van het werk aan de mens;
- zo veel mogelijk risico's inperken rekening houdend met de *stand van de techniek*;
- risico's op een *ernstig* letsel inperken door het nemen van *materiële* maatregelen met voorrang op iedere andere maatregel;
- een *planmatige* aanpak van de preventie;
- de uitvoering van een *beleid* met betrekking tot het welzijn van de werknemers;
- de implementatie van een *systeembenadering* met het oog op de integratie van techniek en organisatie.

## 2.2. Het koninklijk besluit betreffende het welzijnsbeleid

Dit koninklijk besluit is een uitvoeringsbesluit van de wet op het welzijn en is opgenomen in de codex over het welzijn op het werk onder titel I, “Algemene beginselen”, hoofdstuk III “Algemene principes betreffende het welzijnsbeleid”.

De structurele en planmatige aanpak die in artikel 5 van de wet op het welzijn wordt voorgeschreven, moet gerealiseerd worden door middel van een zogenaamd “dynamisch risicobeheersingssysteem”. Dat bestaat uit de elementen die eigen zijn aan elk beheersysteem (artikel 5):

1. het bepalen van de *doelstellingen* van het beleid;
2. het vastleggen van *methodes*, verplichtingen en middelen;
3. het vastleggen van *verantwoordelijkheden* om het beleid uit te voeren;
4. het vastleggen van *criteria* om het beleid te evalueren en de evaluatie van het beleid.

Een beheersysteem kan nooit statisch zijn maar moet voortdurend aangepast worden aan de steeds wijzigende omstandigheden.

Een essentieel onderdeel van het dynamisch risicobeheersingssysteem is het uitvoeren van risicoanalyses. Artikel 7 zegt hierover:

“De werkgever ontwikkelt in zijn dynamisch risicobeheersingssysteem een strategie in verband met het verrichten van een risicoanalyse op basis waarvan preventiemaatregelen worden vastgesteld, rekening houdend met de bepalingen van de artikelen 8 en 9.”

In artikel 8 worden een aantal voorschriften gegeven met betrekking tot het uitvoeren van risicoanalyses. Een risicoanalyse bestaat *achtereenvolgens* uit:

1. het identificeren van *gevaren*;
2. het vaststellen en nader bepalen van *risico's*;
3. het *evalueren* van risico's.

Ook bij het nemen van preventiemaatregelen wordt een bepaalde volgorde voorgeschreven. Volgens artikel 9 moeten de preventiemaatregelen gericht zijn op bepaalde doelstellingen en deze zijn in dalende volgorde van prioriteit:

1. *risico's voorkomen*;
2. *schade voorkomen*;
3. *schade beperken*.

Men dient verder na te gaan of de preventiemaatregelen zelf geen bijkomende risico's introduceren en indien dit toch het geval zou zijn, moeten andere preventiemaatregelen worden getroffen of bijkomende maatregelen worden genomen om deze risico's te beheersen.

Preventiemaatregelen omvatten in feite een zeer breed gamma van maatregelen. Artikel 9 stelt dat de preventiemaatregelen inzonderheid betrekking hebben op:

- 1° de organisatie van de onderneming of instelling met inbegrip van de gebruikte werk- en productiemethoden;
- 2° de inrichting van de arbeidsplaats;
- 3° de conceptie en aanpassing van de werkpost;
- 4° de keuze en het gebruik van arbeidsmiddelen en van chemische stoffen en preparaten;
- 5° de bescherming tegen risico's voortvloeiende uit chemische, biologische en fysische agentia;

- 6° de keuze en het gebruik van collectieve en persoonlijke beschermingsmiddelen en van werkkledij;
- 7° de toepassing van een aangepaste veiligheids- en gezondheidssignalering;
- 8° het gezondheidstoezicht met inbegrip van de medische onderzoeken;
- 9° psychosociale belasting veroorzaakt door het werk;
- 10° de bekwaamheid, de vorming en de informatie van alle werknemers, met inbegrip van aangepaste instructies;
- 11° de coördinatie op de arbeidsplaats;
- 12° de noodprocedures, met inbegrip van de maatregelen in geval van situaties van ernstig en onmiddellijk gevaar en met betrekking tot de eerste hulp, de brandbestrijding en de evacuatie van werknemers.

Een aantal van deze maatregelen zijn zeer herkenbaar als preventiemaatregel omdat ze een exclusieve preventiefunctie hebben, zoals bijvoorbeeld de keuze en het gebruik van collectieve en persoonlijke beschermingsmiddelen, de noodprocedures, veiligheids- en gezondheidssignalering, het gezondheidstoezicht.

Minder evident is wellicht dat een aantal fundamentele keuzes in het bedrijf ook als preventiemaatregel moeten beschouwd worden, zoals de keuze van de gebruikte werk- en productiemethoden, de keuze van chemische stoffen en preparaten, de keuze van arbeidsmiddelen, de inrichting van de arbeidsplaats en de conceptie van een arbeidspost. Uiteraard worden deze keuzes in de praktijk in grote mate gestuurd door economische factoren maar dat neemt niet weg dat veiligheid één van de overwegingen moet zijn bij het maken van deze keuzes. Veiligheid moet met andere woorden integraal deel uitmaken van de bedrijfsactiviteit en zich niet beperken tot een “beschermlaag” die er rond wordt aangebracht.

Merk tenslotte op dat het hele veiligheidsbeheersysteem als een preventiemaatregel moet beschouwd worden. Het beschrijft immers die aspecten van de organisatie van de onderneming (dit is het eerste punt in de opsomming) die betrekking hebben op de preventie.

### **2.3. Het samenwerkingsakkoord**

Het samenwerkingsakkoord realiseert de implementatie in Belgisch recht van de Europese richtlijn 96/82/EG van 9 december 1996 betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken. Deze richtlijn wordt doorgaans kortweg de “Seveso II”-richtlijn genoemd. Het samenwerkingsakkoord zal kracht van wet krijgen wanneer het bij wet, decreet en ordonnantie zal worden goedgekeurd. Op het ogenblik dat deze nota werd geschreven, was dit nog niet het geval.

De “Seveso II”-richtlijn heeft als doelstelling de *preventie* van zware ongevallen en de *beperking* van de *gevolgen* van dergelijke ongevallen voor de mens (en het milieu) en de richtlijn beoogt hiermee een *hoog* beschermingsniveau (artikel 1 van het samenwerkingsakkoord). Een zwaar ongeval wordt in artikel 4 gedefinieerd als volgt:

- 7° zwaar ongeval: een gebeurtenis, zoals een zware emissie, brand of explosie die het gevolg is van ongecontroleerde ontwikkelingen tijdens de exploitatie van een onder dit samenwerkingsakkoord begrepen inrichting, die hetzij onmiddellijk, hetzij na verloop van tijd een ernstig gevaar oplevert voor de gezondheid van de mens binnen of buiten de inrichting of voor het milieu en waarbij één of meer gevaarlijke stoffen betrokken zijn.

In bijlage V bij het samenwerkingsakkoord vindt men een aantal kwantitatieve criteria die als richtsnoer kunnen gebruikt worden bij de interpretatie van de definitie van zwaar ongeval.

De "Seveso II"-richtlijn formuleert een aantal verplichtingen zowel ten aanzien van de exploitanten van de aan de richtlijn onderworpen ondernemingen, als ten aanzien van de Lid-Staten. De verplichtingen van de exploitanten werden integraal overgenomen in het samenwerkingsakkoord, zij het soms in licht gewijzigde bewoordingen. Daarnaast worden in het samenwerkingsakkoord de verplichtingen van de Lid-Staten toegewezen aan de bevoegde overheidsinstanties en wordt de samenwerking tussen die instanties beschreven.

Het samenwerkingsakkoord maakt in artikel 3 een onderscheid tussen twee types van inrichtingen, die verder gemakshalve zullen aangeduid worden als "drempel 1"-inrichtingen en "drempel 2"- inrichtingen. In de "drempel 1"- inrichtingen zijn gevaarlijke stoffen aanwezig in hoeveelheden die *gelijk* zijn aan of *groter* zijn dan de in *kolom 2* van bijlage I, delen 1 en 2, vermelde hoeveelheid maar *kleiner* zijn dan de in *kolom 3* van dezelfde bijlage vermelde hoeveelheid. Kolom 2 bevat de "eerste" en lagere drempelwaarden, kolom 3 de "tweede" en hogere drempelwaarden. De "drempel 2"- inrichtingen zijn die bedrijven waarin gevaarlijke stoffen aanwezig zijn in hoeveelheden die *gelijk* zijn aan of *groter* zijn dan de "tweede" drempelwaarden.

Volgens artikel 9 moet de exploitant van een "drempel 1"- inrichting een preventiebeleid voor zware ongevallen *op schrift* stellen en dit correct uitvoeren. Dit beleid moet borg staan voor een *hoog* beschermingsniveau voor mens en milieu. Het neerschrijven van een preventiebeleid houdt niet op bij het formuleren van de algemene doelstellingen en beginselen. De exploitant moet beschrijven *hoe* het preventiebeleid in *praktijk* wordt gebracht en meer concreet de wijze waarop een aantal activiteiten binnen de inrichting zijn *georganiseerd*. Deze activiteiten omvatten ondermeer (artikel 9 - § 2 - 2°):

- punt c: het identificeren van de gevaren en het evalueren van de risico's van zware ongevallen;
- punt e: het ontwerpen van nieuwe installaties, processen of opslagplaatsen en het uitvoeren van wijzigingen aan bestaande installaties, processen of opslagplaatsen.

Artikel 10 beschrijft analoge verplichtingen ten aanzien van de exploitanten van de "drempel 2"- inrichtingen. Zij dienen eveneens een beleid te voeren ter preventie van zware ongevallen, dat borg staat voor een hoog beschermingsniveau voor de mens (en voor het milieu). Dit beleid is uiteraard ook hier *schriftelijk* vast te leggen. De uitvoering van het beleid moeten zij realiseren aan de hand van een doeltreffend veiligheidsbeheersysteem. In dit systeem komen ondermeer volgende punten aan bod (artikel 10 - § 2):

- 2°: de identificatie en evaluatie van gevaren van zware ongevallen: het beheer van de procedures voor systematische identificatie van de gevaren van zware ongevallen die zich bij normale en abnormale werking kunnen voordoen, evenals voor de evaluatie van de daaraan verbonden risico's;
- 4°: ontwerpbeheersing: het beheer van de procedures voor het ontwerpen van nieuwe installaties, processen of opslagplaatsen en voor het plannen en uitvoeren van wijzigingen aan bestaande installaties, processen of opslagplaatsen.

Het samenwerkingsakkoord maakt dus net als het koninklijk besluit betreffende het welzijnsbeleid een onderscheid tussen "gevaar" en "risico". Beide begrippen worden in artikel 4 gedefinieerd:

- 8° gevaar: de *intrinsieke* eigenschap van een gevaarlijke stof of van een fysische situatie die *potentieel* tot schade voor de gezondheid van de mens of het milieu kan leiden;



- 9° risico: de *waarschijnlijkheid* dat een bepaald effect zich binnen een bepaalde *periode* of onder bepaalde *omstandigheden* voordoet.

Tenslotte is het belangrijk om in deze context artikel 7 te citeren.

“De exploitant neemt *alle nodige* maatregelen om zware ongevallen te voorkomen en om de gevolgen daarvan voor mens en milieu te beperken.”

Het spreekt vanzelf dat het identificeren en analyseren van gevaren en risico's een essentiële voorwaarde is om de risico's van zware ongevallen op een doeltreffende wijze te kunnen beheersen. Artikel 7 gaat echter verder.

“De exploitant moet *te allen tijde* aan de bevoegde inspectiediensten kunnen *aantonen*, ..., dat hij *alle* in dit samenwerkingsakkoord aangegeven *noodzakelijke* maatregelen heeft genomen.”

De meest fundamentele (maar uiteraard niet de enige) vraag waarop de exploitant moet kunnen antwoorden aan de bevoegde inspectiediensten is: *welke* preventiemaatregelen zijn genomen en *waarom*? Hij moet deze vraag op *elk moment*, dus zonder voorbereiding, op een *overtuigende* wijze kunnen beantwoorden. Voor de maatregelen die werden genomen op het niveau van de installaties kan dit enkel en alleen aan de hand van een document dat voor elke betrokken installatie op een *gestructureerde* wijze een *overzicht* geeft van *alle* gevaren en risico's van zware ongevallen evenals van *alle* overeenkomstige preventiemaatregelen. De structuur van het overzicht moet van een dergelijke kwaliteit zijn dat ze enig *vertrouwen* inboezemt omtrent de *volledigheid* van de geïdentificeerde gevaren, risico's en de getroffen maatregelen, met andere woorden omtrent het feit dat *alle* gevaren en risico's geïdentificeerd zijn en dat *al* de nodige maatregelen (op het niveau van de installaties) getroffen zijn. Verder moet de structuur duidelijk het *verband* weergeven tussen gevaren, risico's en maatregelen. Dat is een eerste en essentiële stap om aan te tonen *waarom* de exploitant meent dat met de getroffen maatregelen de risico's van zware ongevallen “voldoende” beheerst zijn. Het spreekt vanzelf dat een dergelijk document actueel moet zijn en de resultaten moet bevatten van de meest recente veiligheidsstudies die werden uitgevoerd. Voor de “drempel 2”-bedrijven is een dergelijk document de vertrekbasis van het veiligheidsrapport.

Sterk vereenvoudigd kan men de verplichtingen van de exploitanten van “Seveso”-bedrijven met betrekking tot veiligheidsstudies als volgt samenvatten:

- de nodige veiligheidsstudies moeten *uitgevoerd* worden (zoals in alle ondernemingen);
- de *resultaten* van deze veiligheidsstudies, m.a.w. alle geïdentificeerde gevaren en risico's van zware ongevallen en alle getroffen preventiemaatregelen, moeten op een overzichtelijke en gestructureerde wijze *gedocumenteerd* zijn;
- de *organisatie* en de *wijze van uitvoering* van veiligheidsstudies moeten het voorwerp uitmaken van *geschreven documenten*.

### 3. Interpretatie en toelichting bij de reglementering

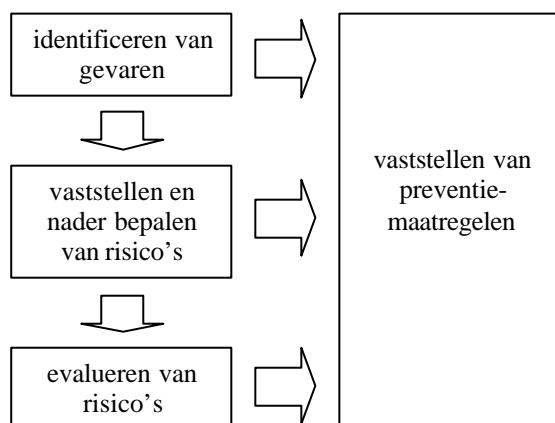
#### 3.1. De onderdelen van een veiligheidsstudie

In deze nota definiëren we “een veiligheidsstudie” als de combinatie van een risicoanalyse en het vaststellen van preventiemaatregelen.

Het koninklijk besluit betreffende het welzijnsbeleid bepaalt dat een risicoanalyse uit 3 onderdelen bestaat die achtereenvolgens uit te voeren zijn, met name:

1. het identificeren van gevaren;
2. het vaststellen en nader bepalen van risico's;
3. het evalueren van risico's.

Naast deze drie onderdelen maakt het vaststellen van preventiemaatregelen een vierde onderdeel uit van de veiligheidsstudie. Preventiemaatregelen moeten vastgesteld worden op basis van de risicoanalyse. Dit betekent echter niet dat dit onderdeel pas moet uitgevoerd worden nadat de risicoanalyse volledig is voltooid. Het vaststellen van preventiemaatregelen is een stap die parallel loopt met de drie stappen van de risicoanalyse, zoals geïllustreerd wordt in figuur 3.1.



Figuur 3.1. De vier onderdelen van een veiligheidsstudie

Elk van de verschillende onderdelen van een veiligheidsstudie zal hieronder afzonderlijk worden toegelicht.

#### 3.1.1. Het identificeren van gevaren

Het koninklijk besluit betreffende het welzijnsbeleid geeft geen definitie van “gevaar”. In de “Seveso II”-richtlijn vindt men de volgende definitie:

*Gevaar is de intrinsieke eigenschap van een gevaarlijke stof of van een fysische situatie die potentieel tot schade voor de gezondheid van de mens (en/of het milieu) kan leiden.*

Het begrip “fysische situatie” in deze definitie kan men ruim interpreteren. Van elk van de volgende “fysische situaties” kan men bijvoorbeeld zeggen dat ze potentieel tot schade kan leiden:

- de aanwezigheid van 200 ton LPG in een opslagsfeer;

- een overdruk in deze opslagsfeer;
- een LPG-lek uit deze opslagsfeer;
- de LPG-wolk die door dat lek ontstaat;
- de explosie van die gaswolk.

Elke schakel in de keten van gebeurtenissen die tot een ongeval leiden, kan beschouwd worden als een “fysische situatie die tot schade kan leiden”.

De Directie van de chemische risico's geeft er echter de voorkeur aan om een striktere interpretatie aan deze definitie te geven. De fysische situatie waarvan sprake in de definitie wordt beperkt tot een situatie die de *mogelijkheid* tot het veroorzaken van schade *introduceert* en bepalend is voor de *potentiële* (i.e. de maximale) omvang van schade die kan veroorzaakt worden. In het voorbeeld van hierboven introduceert de aanwezigheid van petroleumgassen risico's van brand en explosie. Het feit dat die gassen onder druk vloeibaar gemaakt zijn en in een hoeveelheid van 200 ton aanwezig zijn, bepaalt de potentiële omvang van de schade tengevolge van een ongewenste vrijzetting van de gassen.

In plaats van te spreken van “een gevaarlijke stof of van een fysische situatie” zou men ook kunnen spreken van een “schadebron”. Gevaar is dan de inherente eigenschap van een “schadebron”. Met deze striktere interpretatie van “gevaar” betekent “gevaren identificeren” dus:

- het inventariseren van de schadebronnen;
- het analyseren van de schadebronnen, d.w.z. de eigenschappen van de schadebronnen onderzoeken die bepalend zijn voor de potentiële schade die door hun aanwezigheid wordt geïntroduceerd.

In de context van zware ongevallen zijn de schadebronnen chemische stoffen en reacties.

Dat stoffen schadebronnen kunnen zijn, ligt voor de hand. De eigenschappen van een stof die bepalend zijn voor de potentiële schade die ze kan aanrichten, zijn enerzijds haar inherente chemische en fysische eigenschappen en anderzijds een aantal installatiegebonden eigenschappen zoals de aggregatietoestand (gas, vloeistof), de hoeveelheid en de druk en temperatuur waarbij ze aanwezig is.

Chemische reacties beschouwen we ook als schadebronnen. Bepaalde chemische reacties kunnen immers aanleiding geven tot een verhoging van druk en/of temperatuur in een installatie-onderdeel met het explosief falen van het onderdeel als gevolg. Net zoals bij stoffen wordt het schadepotentieel van een reactie bepaald door een combinatie van een aantal inherente eigenschappen van de reactie en anderzijds de omgeving waarin de reactie plaatsgrijpt. In deel 4 wordt dit verder toegelicht.

Met deze strikte interpretatie van het begrip “gevaar” is het zeer begrijpelijk waarom de reglementering vraagt om de risicoanalyse steeds te beginnen met het identificeren van de gevaren. Op zoek gaan naar mogelijke ongevallenscenario's heeft geen zin als men niet weet waar de schadebronnen zich bevinden en welke hun eigenschappen zijn. Een ongeval is immers een gebeurtenis, een samenloop van omstandigheden waarbij de schadebron haar schadelijke werking uitoefent op een slachtoffer.

In een aantal gevallen liggen de schadebronnen voor de hand en zal men automatisch op zoek gaan naar de passende scenario's. Bij de risicoanalyse van een opslagtank met benzine zal men bijvoorbeeld op zoek gaan naar mogelijkheden waarop de benzine wordt vrijgezet en naar mogelijke ontstekingsbronnen. In andere gevallen liggen de gevaren echter niet zo voor de hand. Denk bijvoorbeeld aan een ongecontroleerde exotherme reactie in een batchreactor of aan de zelfontbinding van instabiele stoffen.

Het is precies omwille van dergelijke meer “complexe” eigenschappen van stoffen en reacties, dat een formele gevarenanalyse een absolute noodzaak is.

De kennis van de gevaren is niet alleen noodzakelijk om de overeenkomstige risico's te bepalen, maar ook voor het nemen van preventiemaatregelen die gevaren kunnen elimineren of verminderen. Zoals in deel 3.1.4 zal worden toegelicht, moeten dergelijke maatregelen de *hoogste* prioriteit krijgen.

Voor de volledigheid vermelden we nog dat er in de “Seveso II”-richtlijn en het samenwerkingsakkoord sprake is van “gevaren van zware ongevallen”. Dit is een letterlijke vertaling van “major accident hazards”. Een “gevaar van zwaar ongeval” moet gezien worden als een begrip op zich. De definities van “gevaar” en van “zwaar ongeval” uit het samenwerkingsakkoord laten zich immers niet combineren. Artikel 12 van het samenwerkingsakkoord maakt duidelijk wat met “gevaar van zwaar ongeval” wordt bedoeld. Volgens dit artikel moet het veiligheidsrapport aantonen dat men de “gevaren van zware ongevallen” heeft geïdentificeerd. Als men in bijlage II van het samenwerkingsakkoord nagaat welke informatie hiervoor moet worden opgenomen in het veiligheidsrapport, kan men alleen maar concluderen dat met “gevaren van zware ongevallen” eigenlijk “scenario's van mogelijke zware ongevallen” wordt bedoeld (zie bijlage II, deel IV, punt A).

### 3.1.2. Het vaststellen en nader bepalen van risico's

Net zoals voor “gevaar” geeft het koninklijk besluit betreffende het welzijnsbeleid geen definitie van het begrip “risico”. Risico wordt vaak gedefinieerd als een combinatie van ernst en waarschijnlijkheid. De “Seveso II”-richtlijn definieert risico als volgt.

*“Risico is de waarschijnlijkheid dat een bepaald effect zich binnen een bepaalde periode of onder bepaalde omstandigheden voordoet.”*

Welke definitie men echter ook hanteert, het vaststellen en nader bepalen van risico's valt uiteen in de volgende activiteiten:

1. het definiëren van ongevallenscenario's;
2. het identificeren van de oorzaken en gevolgen van de ongevallenscenario's;
3. het inschatten van de waarschijnlijkheid en de ernst van deze scenario's.

Binnen de context van deze nota, zijn de ongevallenscenario's ongewenste vrijzettingen van gevaarlijke stoffen en/of gevaarlijke hoeveelheden energie uit een installatie.

Het bepalen van de oorzaken en de gevolgen van deze ongewenste vrijzettingen is noodzakelijk om de waarschijnlijkheid en de ernst van een eventuele vrijzetting in te schatten en om de nodige preventiemaatregelen te kunnen nemen. Kennis van de *oorzaken* laat toe om preventiemaatregelen vast te stellen die deze vrijzettingen minder waarschijnlijk maken. Kennis van de *gevolgen* laat toe om maatregelen te treffen die de mogelijke schade van de vrijzettingen beperken.

Het bepalen van de waarschijnlijkheid en de ernst van deze scenario's is een voorbereiding voor het volgende onderdeel van de veiligheidsstudie: de risico-evaluatie. De wijze waarop de waarschijnlijkheid en de ernst worden bepaald en uitgedrukt, is dan ook functie van de wijze waarop de risico-evaluatie wordt uitgevoerd.

### 3.1.3. Het evalueren van risico's

Het evalueren van een risico houdt in dat men er een oordeel over velt: aanvaardt men het risico of niet, zal men het verder reduceren of niet en zo ja: in welke mate.

Risico-evaluatie kan enkel op een consequente en objectieve wijze worden uitgevoerd indien men de hierboven geformuleerde vragen beantwoordt aan de hand van zogenaamde risico-evaluatiecriteria. Zonder dergelijke criteria wordt het specificeren van preventiemaatregelen een volledig subjectieve en ongecontroleerde activiteit. Sommige risico's zullen "overbeveiligd" worden hetgeen een economisch verlies betekent voor de onderneming, andere risico's zullen "onderbeveiligd" zijn waardoor de onderneming opgezadeld wordt met niet aanvaardbare risico's.

Wat betreft deze risico-evaluatiecriteria kan men een onderscheid maken tussen twee benaderingen: de evaluatie van de restrisico's en de evaluatie van intermediaire risico's.

### **3.1.3.1. De evaluatie van restrisico's**

Bij deze benadering wordt het restrisico berekend aan de hand van de technieken van de kwantitatieve risicoanalyse. Het restrisico is het risico dat overblijft nadat alle preventiemaatregelen in rekening zijn genomen. De evaluatie van het risico gebeurt door vergelijking met een "aanvaardbare waarde".

Om de waarschijnlijkheden te berekenen voor een bepaald effect of een bepaald scenario moet men beschikken over correcte en volledige foutenbomen en over betrouwbare waarden voor de faalkansen van de gebeurtenissen in de foutenbomen. Die foutenbomen kunnen erg uitgebreid en complex zijn aangezien men rekening houdt met het volledige systeem, inclusief de beveiligingen.

Voor de berekening van de ernst wordt beroep gedaan op wiskundige modellen. Doorgaans geven deze enkel zinvolle resultaten op grotere afstanden. Beperkte vrijzettingen en lokale effecten kunnen echter evenzeer aanleiding geven tot zware ongevallen.

De uitvoering van een kwantitatieve risicoanalyse is een ingewikkelde, tijdrovende aangelegenheid die een zeer hoog competentieniveau van de uitvoerders vereist. Daarom gebeuren kwantitatieve risicoanalyses in de praktijk enkel voor het evalueren van zeer specifieke situaties zoals bijvoorbeeld het risico van een installatie voor de omgeving of de locatie van een controlekamer in een chemisch complex. In dergelijke gevallen, waar de beslissing over de aanvaardbaarheid van het risico verstrekkende financiële gevolgen heeft of een belangrijke maatschappelijke impact heeft, kan het doorgedreven wetenschappelijke en objectieve karakter dat eigen is aan de kwantitatieve risicoanalyse een belangrijke troef zijn.

Een risicoanalyse van procesinstallaties kan zich echter niet beperken tot enkele specifieke vraagstukken, zoals de effecten op de omgeving. Voor *elk* onderdeel dat voldoende gevaarlijke stoffen kan vrijzetten om een zwaar ongeval te veroorzaken, stelt zich de vraag: wat zijn de risico's op een dergelijke vrijzetting en zijn deze risico's voldoende beheerst?

Een doorgedreven kwantitatieve risicoanalyse uitvoeren op elk onderdeel van de installatie zou echter een enorme inspanning vergen. Daarom hebben een aantal bedrijven *vereenvoudigde* methodes voor risico-evaluatie ontwikkeld die toelaten om op efficiënte wijze risico's in te schatten en beslissingen te nemen over de te nemen preventiemaatregelen. Deze vereenvoudigde methodes zijn gebaseerd op de inschatting van een intermediair risico.

### 3.1.3.2. De evaluatie van intermediaire risico's

Met een *intermediair* risico bedoelen we: het risico abstractie makend van bepaalde preventiemaatregelen. Men beoordeelt dus niet het eindontwerp, d.w.z. de installatie met alles erop en eraan, maar een tussenontwerp, een niet “volledig aangeklede” versie van de installatie. In de praktijk zal men meestal het risico bepalen van een installatie *met inbegrip* van de controlesystemen maar *zonder* de beveiligingssystemen. Op basis van dit intermediaire risico neemt men beslissingen over de kwaliteit van bijkomende maatregelen (bv. beveiligingssystemen) om het intermediaire risico verder te reduceren.

In de praktijk werkt men niet met een continue schaal voor ernst en waarschijnlijkheid maar met een aantal discrete klassen voor deze grootheden. Die ernst- en waarschijnlijkheidsklassen kan men combineren tot risicoklassen. De meest voor de hand liggende wijze om dit te doen is via de risicomatrix. Sommige methodieken, zoals de Duitse norm DIN V 19250 specificeren nog andere factoren die samen met de ernst en waarschijnlijkheid gecombineerd worden via een zogenaamde “risicograaf”. Sommige bedrijven houden geen rekening met de waarschijnlijkheid en hanteren dus een eendimensionale classificatie op basis van de ernst. In dat geval spreekt men van “deterministische” risico-evaluatie als tegenpool van de “probabilistische” risico-evaluatie die wel rekening houdt met de waarschijnlijkheid.

De risico-evaluatiecriteria in deze werkwijze bestaan uit een aantal specificaties die per risicoklasse worden opgelegd aan de maatregelen die het intermediaire risico verder moeten reduceren. In plaats van aanvaardbare risico's, zoals bij de evaluatie van de restrisico's, werkt men met aanvaardbare maatregelen.

De eisen die de risico-evaluatiecriteria opleggen aan de preventiemaatregelen in functie van de risicoklassen kunnen verschillende vormen aannemen. Men kan bijvoorbeeld de gewenste betrouwbaarheid van de maatregelen specificeren. Een andere mogelijkheid bestaat erin dat men een aantal voorwaarden beschrijft die bij het ontwerp van de maatregelen in acht moeten genomen worden (en die verzekeren dat ze het risico voldoende reduceren), bijvoorbeeld de aanwezigheid van twee onafhankelijke beveiligingen. Tenslotte kan men kwantitatieve en kwalitatieve eisen combineren. Een voorbeeld hiervan is de norm IEC 61508 waarin betrouwbaarheidsintervallen gedefinieerd worden voor instrumentele beveiligingen, de zogenaamde “SIL-klassen”. Voor elke SIL-klasse worden echter ook een aantal kwalitatieve randvoorwaarden beschreven.

Een grondigere bespreking van risico-evaluatie en de manier waarop dit gebruikt wordt bij het specificeren van instrumentele beveiligingskringen vindt men in referentie [1]. In referentie [2] wordt door een aantal bedrijven toegelicht op welke wijze ze risico-evaluatiecriteria hebben geïmplementeerd.

Uit de inspectie-ervaring van de Directie van de chemische risico's blijkt dat de evaluatie van intermediaire risico's de *enige* praktisch haalbare werkwijze is om *alle* risico's in te schatten en te evalueren. Kwantitatieve risicoanalyses worden immers in de praktijk alleen maar uitgevoerd voor externe risico's of voor zeer specifieke problemen. Verder werd vastgesteld dat slechts een *beperkt* aantal bedrijven over risico-evaluatiecriteria beschikt en er in slaagt deze consequent toe te passen op al haar installaties. Het opstellen van risico-evaluatiecriteria voor intermediaire risico's zal voor veel bedrijven één van de *meest prioritaire* opgaven zijn om zich in overeenstemming te brengen met de reglementaire bepalingen inzake veiligheidsstudies.

### 3.1.4. Het vaststellen van preventiemaatregelen

De reglementering bevat geen gedetailleerde technische voorschriften voor het beheersen van zware ongevallen. Wel geeft ze duidelijk aan welke strategie moet gevolgd worden bij het reduceren van risico's:

1. *risico's voorkomen;*
2. *schade voorkomen;*
3. *schade beperken.*

Wat deze strategieën betekenen in het kader van de preventie van zware ongevallen wordt hieronder toegelicht.

### 3.1.4.1. *Risico's voorkomen*

De risico's van zware ongevallen die in deze nota behandeld worden zijn ongewenste vrijzettingen van gevaarlijke stoffen of van gevaarlijke hoeveelheden energie uit een procesinstallatie (of een combinatie van beiden). Dergelijke risico's voorkomen betekent de *mogelijkheid* op dergelijke scenario's wegnemen of de *potentiële ernst* ervan verkleinen. Daartoe moet men ingrijpen op de schadebronnen (stoffen en reacties).

Hierboven (zie punt 3.1.1.) werd een onderscheid gemaakt tussen de inherente eigenschappen en de installatiegebonden eigenschappen van schadebronnen. Inspelen op de inherente eigenschappen van schadebronnen komt in feite neer op het kiezen voor andere stoffen of reacties. Tabel 3.1 geeft een overzicht van mogelijke risicovoorkomende maatregelen in de procesindustrie.

**Tabel 3.1**  
Risicovoorkomende maatregelen in de procesindustrie

	stoffen	reacties
Inspelen op de inherente eigenschappen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kiezen voor een minder gevaarlijke stof</li> <li>• een stof gebruiken bij minder gevaarlijke concentraties</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kiezen voor een minder gevaarlijke reactieroute</li> </ul>
Inspelen op de installatiegebonden eigenschappen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoeveelheden beperken (compacte installaties, tussenopslag elimineren, ...)</li> <li>• wijzigen van druk en temperatuur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kiezen voor een veiliger type reactor (bv. buis- i.p.v. kuireactor)</li> <li>• kiezen voor veiligere procescondities (hoeveelheden, druk, temperatuur)</li> </ul>

Risicovoorkomende maatregelen maken het proces *inherent* veiliger. Een meer uitgebreide behandeling van de principes van inherente veiligheid in de procesindustrie vindt men in referenties [3] en [4].

### 3.1.4.2. Schade voorkomen

Schade voorkomen betekent in de context van deze nota ongewenste vrijzettingen voorkomen door de waarschijnlijkheid op vrijzettingen te verkleinen. Men kan een onderscheid maken tussen *passieve* maatregelen en *actieve* maatregelen.

Passieve maatregelen vergen geen actieve werking van een toestel of de tussenkomst van een persoon. Zij oefenen hun functie steeds uit. Voorbeelden van passieve maatregelen zijn het drukkbestendig zijn van een vat en het corrosiebestendig zijn van een leiding.

Actieve maatregelen vragen wel de actieve werking van een toestel of een menselijke tussenkomst. In het geval de maatregel *volledig* automatisch werkt, zonder menselijke tussenkomst, spreken we van materiële maatregelen. Bij procedurele maatregelen wordt een menselijk ingrijpen verwacht (bv. een alarm gevolgd door een bepaalde actie vanwege de bordoperator). De wet op het welzijn vraagt dat risico's op een ernstig letsel worden ingeperkt door het nemen van materiële maatregelen met voorrang op iedere andere (i.e. procedurele) maatregel.

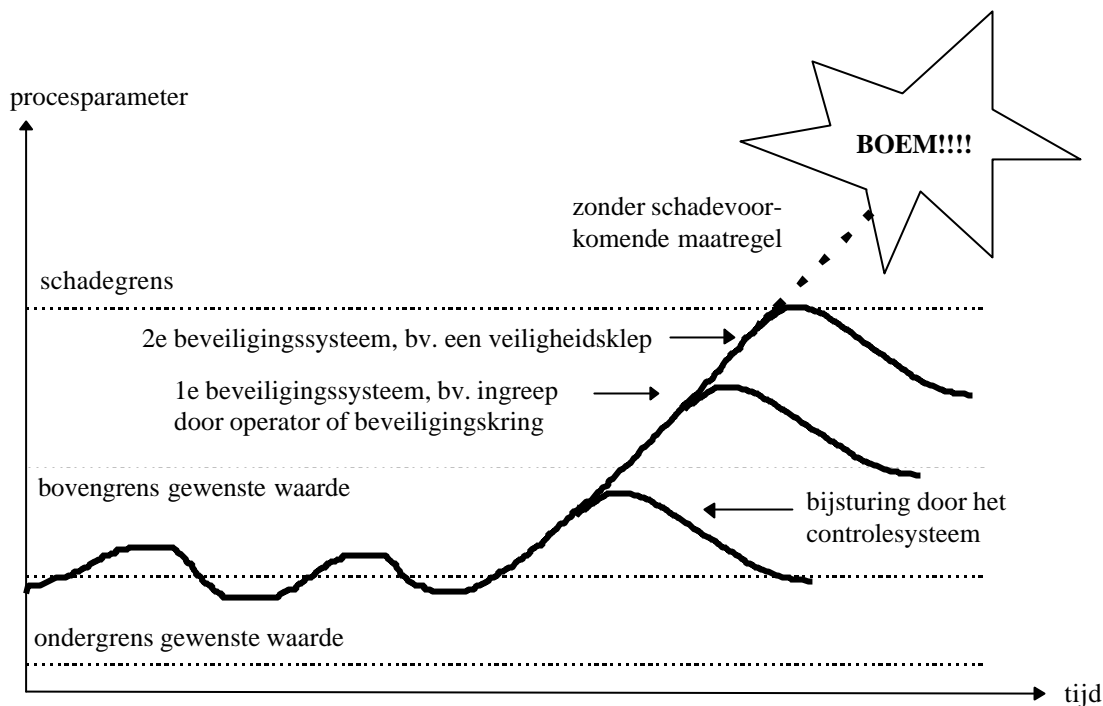
In de procesindustrie zijn actieve maatregelen onder te brengen bij de controle- en beveiligingssystemen. Controlesystemen zorgen ervoor dat het proces op een "normale", gewenste wijze verloopt. Beveiligingssystemen treden enkel in werking onder afwijkende condities, wanneer een gevaarlijke toestand dreigt te ontstaan. Bij deze systemen wordt een "gevaarlijke" afwijking gedetecteerd en gebeurt er een ingreep in het verdere verloop van het proces. Dat laatste kan inhouden:

- dat een verdere stap in het proces verhinderd wordt (vergrendeling);
- dat het proces wordt stilgelegd (shut down);
- dat de afwijking ongedaan wordt gemaakt en dat het proces terugkeert naar de normale, veilige werkingscondities;
- dat ongewenste effecten die het gevolg kunnen zijn van de gevaarlijke afwijking teruggebracht worden tot een aanvaardbaar niveau (bv. de uitstoot van gevaarlijke stoffen via een veiligheidsklep).

Beveiligingssystemen hebben uitsluitend een veiligheidsfunctie en ze zijn bijgevolg onafhankelijk van de controlesystemen.

De rol van het controlesysteem en het beveiligingssysteem voor een veiligheidskritische parameter die continu wordt gemeten en bijgestuurd, is geïllustreerd in figuur 3.1.





Figuur 3.1: De functie van het controle- en beveiligingssysteem voor een procesparameter

Bij het vastleggen van de schadevoorkomende preventiemaatregelen dient men te streven naar een hoge beschikbaarheid. Daarbij kunnen de volgende regels toegepast worden.

- Passieve maatregelen hebben een hogere beschikbaarheid dan actieve maatregelen.  
Merk op dat passieve maatregelen geen inherent veilige maatregelen zijn. Zij kunnen immers falen. De kans daartoe is normalerwijze wel veel kleiner dan bij actieve maatregelen. Men kan bijgevolg stellen dat passieve maatregelen inherent veiliger zijn dan actieve.
- Zelfwerkende systemen hebben een hogere beschikbaarheid dan systemen die een externe energiebron nodig hebben.  
Een voorbeeld van een zelfwerkend systeem is een veiligheidsklep of een breekplaat. De afwijkende conditie zelf volstaat om deze beveiliging te doen werken. Een beveiligingskring tegen hoge druk daarentegen heeft een externe energiebron nodig om zijn functie uit te oefenen. Merk op dat veiligheidskleppen enkel als schadevoorkomende maatregelen kunnen beschouwd worden indien ze goed gedimensioneerd zijn en indien de vrijkomende stoffen veilig worden afgevoerd.
- Met materiële maatregelen kan men een hogere beschikbaarheid realiseren dan met procedurele maatregelen.
- De beschikbaarheid van systemen kan worden verhoogd door inbouw van redundantie.  
Bij redundantie werken twee of meerdere beveiligingen in “parallel”, zodat wanneer één “tak” van het beveiligingssysteem faalt, er nog één of meerdere “takken” beschikbaar zijn om de beveiligingsfunctie uit te voeren. Indien men vertrouwt op redundantie om de beschikbaarheid van beveiligingssystemen te verhogen, dan moet men zich wel bewust zijn van mogelijke “common cause failures” waardoor ten gevolge van één fout de twee systemen tegelijkertijd worden uitgeschakeld. Daarom dient het gebruik van identieke hardware componenten en identieke software in de verschillende “takken” van de beveiliging vermeden te worden.
- Instrumentele kringen of onderdelen ervan kunnen voorzien worden van zelfdiagnose, waardoor bepaalde falingen onmiddellijk worden gedetecteerd en snel kunnen worden hersteld.
- Bij continue metingen geeft een verandering van de meetwaarden een indicatie omtrent het functioneren van de meting; bij discontinue metingen of “switches” is dit niet het geval. Continue metingen laten dus in principe een permanente diagnose toe door de bordoperatoren.

### 3.1.4.3. Schade beperken

De laatste prioriteit bij het nemen van preventiemaatregelen is het beperken van de schade.

De schadebeperkende maatregelen kunnen opgedeeld worden in twee grote groepen:

1. maatregelen m.b.t. de aard en de omvang van de *vrijzetting*;
2. maatregelen m.b.t. de *bescherming* van de schadedragers.

Hieronder volgt een opsomming van de belangrijkste strategieën die gevolgd kunnen worden m.b.t. de aard en de omvang van de vrijzetting.

- De aard van de vrijzetting beïnvloeden  
Een voorbeeld van deze strategie is een veiligheidsklep wanneer deze de explosie of de totale breuk van een drukvat terugbrengt tot een emissie van gevaarlijke stoffen (op een plaats en in hoeveelheden dat deze emissie ook als een risico van zwaar ongeval te beschouwen is). Een ander voorbeeld is een “weak seam roof” (dak met zwakke las) op een atmosferische opslagtank. Hierdoor leidt een interne overdruk niet tot een fatale breuk van de tank maar tot het openscheuren van het dak.
- De vrijgezette hoeveelheden beperken  
Hiervoor kan men bijvoorbeeld stroombegrenzers en snelafsluiters (Emergency Block Valves) aanwenden.
- De verspreiding van de vrijgezette vloeistoffen tegengaan  
Verspreiding kan worden tegengegaan door inkuipingen en afvoersystemen.
- De verdamping van vrijgezette vloeistoffen tegengaan  
De verdamping van een plas kan worden vertraagd door een gladde ondergrond te voorzien die het contactoppervlak tot een minimum beperkt. Een andere mogelijkheid is het afdekken van de vloeistof met een lichter product.
- De verspreiding van toxische dampen of gassen tegengaan  
Dit kan bereikt worden door de procesinstallatie in een procesgebouw te plaatsen. Ook watergordijnen worden ingezet om de verspreiding van gaswolken tegen te gaan.
- De verdunning van vrijgekomen ontvlambare dampen of gassen bevorderen  
De kans op de vorming van een explosief mengsel wordt teruggedrongen door een plaatsing van de installatie in open lucht waarbij men de barrières voor natuurlijke ventilatie moet trachten te minimaliseren. In gesloten omgevingen kan een geforceerde ventilatie gebruikt worden.
- Ontsteking van ontvlambare dampen en gassen tegengaan
- Het bestrijden van brand
- Geschikte brandbestrijdingsmaatregelen

Ten aanzien van de bescherming van de schadedrager kan de volgende strategie gevolgd worden.

- De aanwezigheid van schadedragers beperken  
Bijvoorbeeld door de toegang tot gevaarlijke zones te beperken of te verbieden.
- De evacuatie van schadedragers uit gevarenczones in geval van calamiteit
- De collectieve inkapseling van de schadedragers  
Een voorbeeld hiervan zijn versterkte controleruimtes.
- De individuele inkapseling van de schadedragers door gebruik te maken van persoonlijke beschermingsmiddelen
- De opvang en verzorging van eventuele slachtoffers

## 3.2. Beleidsmatige aspecten bij de uitvoering van veiligheidsstudies

### 3.2.1. Een systematische aanpak van de veiligheidsstudie

Het volstaat niet dat exploitanten van ondernemingen die onderworpen zijn aan het samenwerkingsakkoord veiligheidsstudies *uitvoeren*. De richtlijn stelt zeer expliciet dat dergelijke ondernemingen moeten beschikken over “*procedures* voor de *systematische* identificatie van de gevaren van zware ongevallen ... evenals voor de evaluatie van de daaraan verbonden risico's”. Wat betreft de maatregelen die genomen worden om deze risico's te beperken vraagt het samenwerkingsakkoord een **hoog** beschermingsniveau.

Een systematische benadering veronderstelt dat men een welbepaalde, welomschreven werkwijze volgt bij het uitvoeren van de veiligheidsstudie. Dit moet verzekeren dat de veiligheidsstudies van een hoge kwaliteit zijn. De eigenschappen die bij de uitvoering van een veiligheidsstudie moeten nagestreefd worden zijn volledigheid en objectiviteit.

Volledigheid is aan de orde bij:

- het identificeren van de schadebronnen: zijn *alle* stoffen en reacties gekend, ook diegene die ongewenst aanwezig zijn?
- het analyseren van de schadebronnen: zijn *alle* relevante eigenschappen van de schadebronnen gekend?
- het definiëren van ongevallenscenario's en het onderzoeken van de oorzaken: zijn *alle* oorzaken van ongewenste vrijzettingen gekend?

De gevolgde werkwijze moet verzekeren dat alle onderdelen van de installatie aan bod komen. Het zoeken naar schadebronnen en hun eigenschappen en naar scenario's en hun oorzaken kan ondersteund worden door checklists en gidswoorden of –vragen.

Objectiviteit is een probleem dat zich stelt bij het inschatten van de risico's (ernst en waarschijnlijkheid) en bij het vaststellen van de maatregelen. Duidelijke criteria en richtlijnen moeten vermijden dat deze onderdelen van de risicoanalyse onderhevig zijn aan de subjectieve beoordeling van de uitvoerders van de risicoanalyse.

Geschreven procedures moeten er voor zorgen dat alle onderdelen van de veiligheidsstudie aan bod komen. Bijzondere aandacht verdienen de procedures voor het uitvoeren van veiligheidsstudies bij het ontwerp van nieuwe installaties of bij wijzigingen. In die gevallen moeten de onderdelen van de veiligheidsstudie geïntegreerd worden in de ontwerpprocedure. Enkel op die wijze kan de veiligheid geïntegreerd worden in het ontwerp met respect voor de algemene preventiebeginselen en de hiërarchie van de preventiemaatregelen. Veiligheidsstudies bij nieuwe installaties kunnen zich dus niet beperken tot een analyse van het finaal ontwerp.

In deel 4 wordt een mogelijke praktische methodiek toegelicht voor de systematische uitvoering van alle onderdelen van een veiligheidsstudie. De voorgestelde werkwijze kan zowel toegepast worden bij de uitvoering van nieuwe projecten als voor bestaande installaties.

### 3.2.2. De herziening van veiligheidsstudies

#### 3.2.2.1. Periodieke herziening

De “Seveso II”-richtlijn vraagt een herziening van het veiligheidsrapport iedere vijf jaar. Aangezien een veiligheidsrapport wordt opgesteld op basis van de uitgevoerde veiligheidsstudies moet een herziening van de veiligheidsstudies aan de basis liggen van de herziening van het veiligheidsrapport.

De periodieke herziening van veiligheidsstudies is zeker geen nieuw idee. Het is een praktijk die reeds vele jaren bestaat in een aantal ondernemingen en die ook in de literatuur inzake procesveiligheid sterk wordt aanbevolen. Er zijn verschillende argumenten voor het periodiek uitvoeren van veiligheidsstudies, zelfs voor installaties die weinig of niet wijzigen in de loop der jaren.

##### a. Streven naar volledigheid in de risico-identificatie

De kans is reëel dat men in elke veiligheidsstudie bepaalde oorzaken of gevolgen over het hoofd ziet. Door het regelmatig herhalen van de studie zal men echter dichter komen bij de volledige inventarisatie van alle mogelijke risico's van zware ongevallen.

##### b. Cumulatief effect van (kleine) wijzigingen aan de installaties

Een installatie blijft zelden exact hetzelfde in de loop der jaren. Verschillende kleine wijzigingen, die ieder op zich “te licht” werden bevonden om een veiligheidsstudie te verantwoorden, kunnen samen wel een significante impact hebben op de risico's van een installatie.

##### c. Evolutie van de stand der techniek

De stand der techniek evolueert voortdurend, ook op het vlak van de veiligheidstechniek. Bepaalde technieken kunnen bijvoorbeeld bij het ontwerp van een installatie niet beschikbaar, onvoldoende robuust of te duur zijn geweest, waardoor ze niet werden geïmplementeerd. Denk bijvoorbeeld aan de evolutie op het vlak van de procescontrole en –beveiliging. Periodieke veiligheidsstudies kunnen een gelegenheid zijn om het gebruik van recentere technieken te evalueren.

##### d. Evolutie in de perceptie van risico

Niet alleen de techniek evolueert, ook de verwachtingen ten aanzien van het veiligheidsniveau in de samenleving in het algemeen en in de industrie in het bijzonder. Voor bepaalde situaties die tien jaar geleden als een aanvaardbare praktijk gezien werden, is dat misschien nu niet meer het geval en zijn er bijkomende preventiemaatregelen vereist.

##### e. Opleiding, bewustmaking en communicatie

Het uitvoeren van veiligheidsstudies is voor de deelnemers een belangrijke vorm van opleiding en bewustmaking inzake veiligheid. Het is de ideale gelegenheid om kennis over gevaren en risico's van een bepaalde installatie op te frissen en opnieuw in de aandacht te brengen. In elke veiligheidsstudie die in groep wordt uitgevoerd, gebeurt een aanzienlijke informatieoverdracht tussen verschillende disciplines, tussen verschillende hiërarchische niveaus, tussen ingenieurs en operatoren, tussen ervaren en minder ervaren medewerkers.

### 3.2.2.2. Herziening naar aanleiding van ongevallen en incidenten

Het onderzoek naar ongevallen en incidenten moet tegemoetkomen aan de volgende doelstellingen:

- enerzijds achterhalen wat de precieze oorzaken waren van het ongeval en *concrete maatregelen* treffen om het ongeval in de toekomst te voorkomen;
- anderzijds de tekortkomingen in het *veiligheidsbeheersysteem* die toelieten dat het ongeval zich voordeed, opsporen en corrigeren.

De doelstellingen van het eerste luik vinden we ook terug in een veiligheidsstudie en het ligt dan ook voor de hand dat men hiervoor de typische onderdelen van een veiligheidsstudie uitvoert:

a) *het identificeren van gevaren;*

In een aantal gevallen ligt het wellicht voor de hand welke chemische gevaren betrokken waren bij het ongeval. Er zijn echter talloze voorbeelden waarbij de basisoorzaak van het ongeval of het incident te maken had met het feit dat het gedrag van bepaalde stoffen of reacties niet of onvoldoende gekend was.

b) *het vaststellen en nader bepalen van risico's;*

Het ongeval kan “nieuwe” oorzaken aan het licht brengen waarmee men bij eerdere veiligheidsstudies niet of onvoldoende rekening heeft gehouden.

Met betrekking tot de inschatting van de ernst en waarschijnlijkheid, moet men er rekening mee houden dat het feit dat de gebeurtenissen zich hebben voorgedaan de betrokken risico's een heel pak realistischer maakt.

c) *het evalueren van risico's;*

d) *het vaststellen van preventiemaatregelen.*

Wat betreft de tweede doelstelling van het onderzoek, met name het opsporen en corrigeren van tekortkomingen in het veiligheidsbeheersysteem, moet men zich onder meer de vraag stellen waarom men er niet in geslaagd is de betrokken risico's te reduceren naar aanleiding van *eerdere* veiligheidsstudies.

In het geval het ongeval of incident een tot dan toe “onbekend” gevaar heeft blootgelegd, rijzen de volgende vragen.

- *Heeft* men in het verleden wel een gevarenanalyse uitgevoerd?
- Zo ja: was de gevolgde systematiek wel *systematisch* genoeg om het onbekende gevaar op te sporen?
- Zo ja: werd de voorgeschreven systematiek wel *goed* uitgevoerd? Zo nee: waarom niet?

In het geval van een “nieuw” risico kan men analoge vragen stellen.

- Werden de risico's in het verleden opgespoord voor het betrokken onderdeel van de installatie?
- Zo ja: was de gevolgde systematiek wel in staat om dergelijke risico's op te sporen?
- Zo ja: werd de voorgeschreven systematiek wel goed uitgevoerd? Zo nee: waarom niet?

Ook bij de risico-evaluatie en het vastleggen van de preventiemaatregelen kan het verkeerd gelopen zijn. In functie van het antwoord op deze vragen kunnen zich niet alleen verbeteringen opdringen op het vlak van het veiligheidsbeheersysteem, maar kan het ook aangewezen zijn om bepaalde veiligheidsstudies volledig of gedeeltelijk opnieuw uit te voeren. Dit is vooral zo in het geval “nieuwe” gevaren en/of risico's aan het licht kwamen.

## 4. De praktische uitvoering van veiligheidsstudies

In dit deel wordt een praktische werkwijze voorgesteld om de principes van deel 3 in de praktijk te brengen.

In deel 4.1 zal het algemeen verloop van een veiligheidsstudie geschetst worden: wat zijn de verschillende stappen en hoe kunnen die in de praktijk gecoördineerd en gecombineerd worden tot één logisch geheel.

In deel 4.2 zal de praktische uitvoering van de individuele stappen besproken worden.

### 4.1. Het algemeen verloop van een veiligheidsstudie

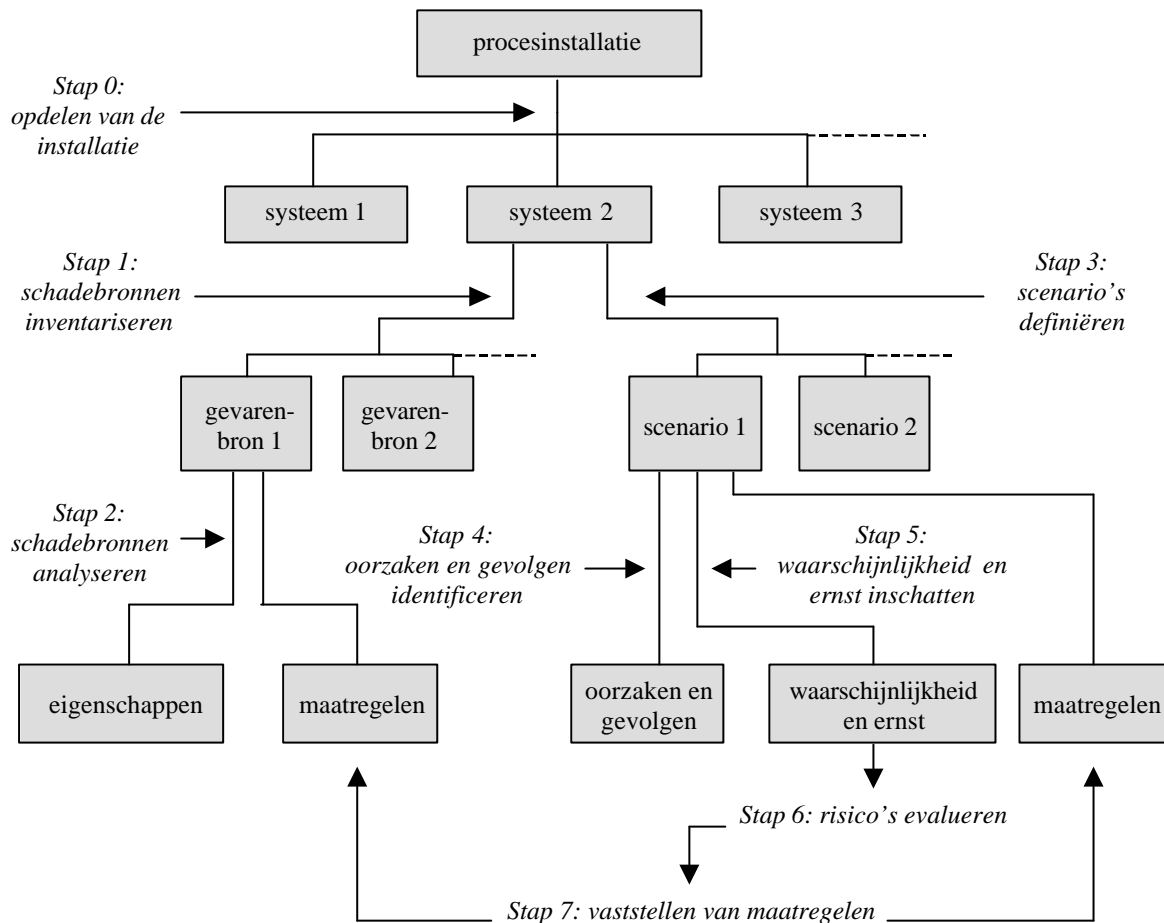
In deel 3 werden op basis van de reglementering vier onderdelen gedefinieerd in een veiligheidsstudie. Een aantal van die onderdelen werd verder opgesplitst in deelstappen wat ons in totaal zeven stappen oplevert. Tabel 4.1 geeft het verband tussen de reglementaire onderdelen van de veiligheidsstudie (gedefinieerd in deel 3 van de nota) en de praktische stappen van een veiligheidsstudie (uitgewerkt in dit deel van de nota).

Tabel 4.1

Verband tussen de onderdelen en de stappen van een veiligheidsstudie

reglementaire onderdelen	praktische stappen
1. het identificeren van gevaren	1. het inventariseren van de schadebronnen 2. het analyseren van de schadebronnen
2. het vaststellen en nader bepalen van risico's	3. het definiëren van de ongevallenscenario's 4. het identificeren van de oorzaken en gevolgen van de scenario's 5. het inschatten van de ernst en waarschijnlijkheid van de scenario's
3. het evalueren van risico's	6. het evalueren van risico's
4. het vaststellen van preventiemaatregelen	7. het vaststellen van preventiemaatregelen

In de praktische benadering die in deze nota wordt voorgesteld, zullen wij deze stappen niet toepassen op de installatie in haar geheel maar op onderdelen van de installatie. Het opdelen van de installatie in zogenaamde "systemen" vormt een bijkomende achtste stap (stap 0). Als we deze acht stappen toepassen, resulteert dit in de informatiestructuur die schematisch is weergegeven in figuur 4.1.

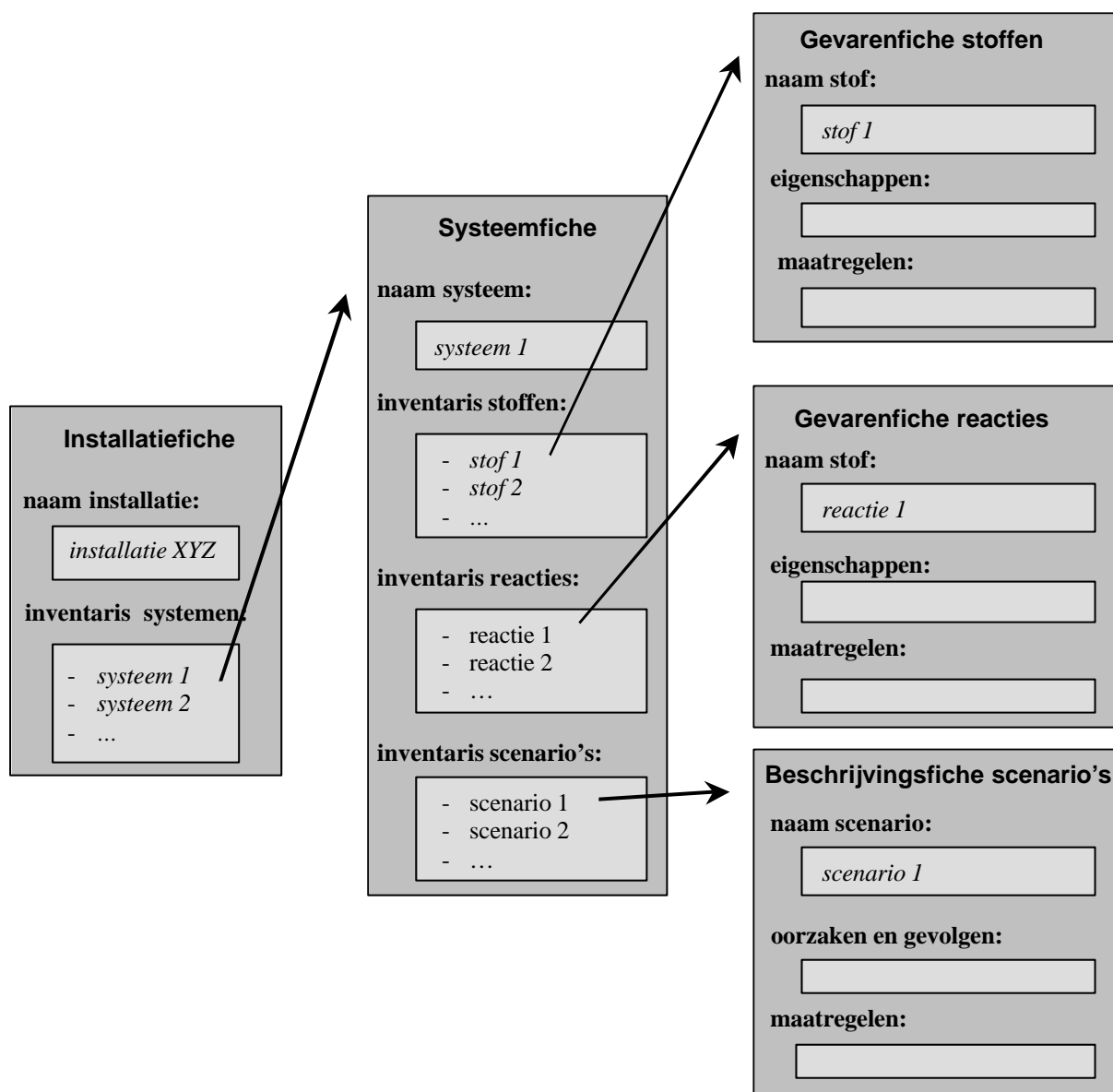


Figuur 4.1. De informatiestructuur als gevolg van de 8 stappen van een veiligheidsstudie

Aan de top van deze boomstructuur staat “de procesinstallatie” die het voorwerp uitmaakt van de veiligheidsstudie. De installatie wordt in stap 0 opgedeeld in verschillende “systemen”. Voor elk van de systemen worden de schadebronnen geïnventariseerd (stap 1). Een analyse van de schadebronnen resulteert in een overzicht van relevante eigenschappen (stap 2). Op het niveau van de schadebronnen kunnen reeds preventiemaatregelen getroffen worden (stap 7). Dit zijn maatregelen die de installatie inherent veiliger maken.

Naar analogie met de schadebronnen worden voor elk systeem de ongevallenscenario's gedefinieerd (stap 3). Voor elk scenario moeten de oorzaken en de gevolgen geïdentificeerd worden (stap 4). Op basis van die informatie kan de waarschijnlijkheid en de ernst van het scenario worden ingeschat (stap 5). Tenslotte moet een formele risico-evaluatie uitmaken of de risico's voldoende beheerst zijn (stap 6). Op basis van deze risico-evaluatie kunnen (bijkomende) maatregelen vastgesteld worden (stap 7). Merk echter op dat preventiemaatregelen in principe op elk moment kunnen vastgesteld worden en dat stap 7 in feite parallel loopt met stappen 1 tot en met 6.

Deze informatiestructuur zal gebruikt worden om de veiligheidsstudie te sturen. Daartoe wordt de informatiestructuur vertaald in een concrete “veiligheidsdocumentatie”. De uitvoering van een veiligheidsstudie wordt bijgevolg gelijkgesteld met het invullen van de veiligheidsdocumentatie. Deze veiligheidsdocumentatie is schematisch weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2. De algemene structuur van de veiligheidsdocumentatie

Het hoogste niveau in de documentatiestructuur wordt ingenomen door de “Installatiefiche” die een overzicht geeft van de systemen waarin de procesinstallatie is opgedeeld. Voor elk systeem wordt een “Systemfiche” aangelegd die een overzicht geeft van de schadebronnen (stoffen en reacties) en van de scenario's van zware ongevallen.

De analyse van de schadebronnen stoffeert de “Gevarenfiches voor stoffen” en de “Gevarenfiches voor reacties”. Analoog aan de schadebronnen wordt voor elk scenario een “Beschrijvingsfiche voor scenario's” aangelegd waarin de oorzaken en gevolgen worden gedocumenteerd evenals de ingeschatte waarschijnlijkheid en ernst alsook de preventiemaatregelen.

Omwille van de gelaagde opbouw is het aangewezen om de veiligheidsdocumentatie te beheren met een softwareprogramma (bijvoorbeeld Microsoft Access). De fiches zullen dan ook verder in deel 4.2 worden voorgesteld als “tabbladen” zoals die gebruikt worden in Microsoft Excell en Access. In principe kan men de veiligheidsdocumentatie uiteraard ook met “pen en papier” aanleggen.



Bij het opstellen van de veiligheidsdocumentatie (en dus bij de uitvoering van de veiligheidsstudie) vervult het opdelen van de installatie (stap 0) een sleutelrol. Elk van de stappen in de veiligheidsstudie zal immers per systeem worden uitgevoerd en gedocumenteerd. Hoe meer men de installatie opdeelt, hoe uitgebreider en hoe grondiger de veiligheidsstudie zal zijn.

Voor veiligheidsstudies van bestaande installaties kan de gewenste opdeling in systemen onmiddellijk gekozen worden. Bij voorkeur wordt elk belangrijk apparaat (reactor, distillatietoren, warmtewisselaar, ...) als een afzonderlijk systeem gedefinieerd. Leidingen kan men toevoegen aan een systeem samen met een apparaat of kan men als afzonderlijke systemen definiëren. Dit stemt overeen met de opdeling die doorgaans wordt gehanteerd bij de uitvoering van een Hazopstudie.

Bij het ontwerp van nieuwe installaties zal de opdeling verfijnd moeten worden al naar gelang het ontwerp vordert. Aanvankelijk zal men slechts enkele grote blokken kunnen definiëren, bijvoorbeeld: de opslag van grondstoffen, de reactiesectie, een scheidingssectie, enz. Later zal men voor elke sectie apparaten en leidingen kunnen specificeren. Een systeem dat overeenstemt met een sectie zal dan vervangen worden door meerdere systemen bestaande uit één of meerdere apparaten en leidingen.

Deze opdeling, die gelijke tred volgt met de evolutie van het ontwerp, stuurt ook de veiligheidsstudie die in de loop van een ontwerp moet uitgevoerd worden. De bedoeling is immers om op verschillende ogenblikken in het ontwerp de boomstructuur van figuur 4.1. zowel in horizontale als in verticale zin uit te bouwen in functie van de beschikbare informatie. Van bij de aanvang van het ontwerp kent men de meeste stoffen en reacties. Van zodra een stof of een reactie bekend is, kunnen de eigenschappen worden geanalyseerd en kunnen eventueel maatregelen overwogen worden. Dergelijke maatregelen met betrekking tot stoffen en reacties zullen de installatie inherent veiliger maken. Naarmate meer details over de systemen bekend raken, kunnen de oorzaken en gevolgen beter ingeschat worden en kunnen maatregelen getroffen worden om ongewenste vrijzettingen te voorkomen of de gevolgen ervan te beperken.

Deze visie op veiligheidsstudies bij projecten verschilt fundamenteel van de traditionele aanpak waarbij in de verschillende fasen van het ontwerpproces verschillende, onafhankelijke analyses worden uitgevoerd. In de benadering van deze nota is er sprake van *één* veiligheidsstudie die *geleidelijk* wordt uitgevoerd naarmate het project vordert. Individuele risicoanalyses, zoals foutenboomanalyse of Hazop zijn in dit model geen geïsoleerde oefeningen maar hulpmiddelen bij het invullen van de veiligheidsdocumentatie. Bovendien zal blijken dat de veiligheidsdocumentatie zelf fungeert als een soort "checklist" voor de informatie die in elke stap moet gezocht worden.

De veiligheidsdocumentatie speelt dus een dubbele rol bij de uitvoering van veiligheidsstudies: haar structuur voorziet in een *sturende, coördinerende* functie en de concrete fiches fungeren als *methodiek*.

Naast haar bijdrage tot het systematisch karakter van de veiligheidsstudie vervult de veiligheidsdocumentatie ook een centrale rol in het veiligheidsbeheersysteem. De veiligheidsdocumentatie geeft immers een overzicht van alle maatregelen met betrekking tot de preventie van zware ongevallen. Die maatregelen moeten door het veiligheidsbeheersysteem in stand gehouden worden door middel van:

- onderhoud en inspectie van veiligheidskritische uitrusting;
- duidelijke instructies voor de veiligheidskritische interventies van het personeel;
- opleiding en training rond deze instructies;
- het verhinderen van het ongecontroleerd wijzigen of buiten werking stellen van de preventiemaatregelen.

Verder is een gestructureerd overzicht van gevaren, risico's en maatregelen de ideale vertrekbasis om de veiligheidsstudies te herzien.

Tenslotte stelt de veiligheidsdocumentatie een bedrijf in staat te allen tijde aan te tonen dat de risico's van zware ongevallen zijn geïdentificeerd en dat de nodige maatregelen zijn getroffen om deze risico's te beheersen. Een bedrijf dat over een goede veiligheidsdocumentatie beschikt, zal met weinig bijkomende inspanningen de risico's van zware ongevallen kunnen beschrijven in het veiligheidsrapport (conform het samenwerkingsakkoord).

De veiligheidsdocumentatie die in deze nota wordt voorgesteld is niet te nemen of te laten. Een bedrijf kan zijn eigen creativiteit en kennis aanwenden om de structuur en de fiches aan te passen in functie van haar eigen behoeften en inzichten.

## **4.2. De individuele stappen**

Hierboven werd het algemeen verloop van een veiligheidsstudie toegelicht. De veiligheidsdocumentatie vervult daarbij een sturende rol en zal dan ook als een rode draad door deel 4.2 lopen. Voor elk van de fiches in figuur 4.2 zal een voorstel van lay-out worden gegeven.

### **4.2.1. Stap 0: het opdelen van de installatie**

Stap 0 behelst het opdelen van de installatie in verschillende systemen. In deel 4.1 werd reeds het belang van deze stap toegelicht. Een overzicht van alle gedefinieerde systemen wordt bijgehouden in de Installatiefiche (figuur 4.3). In deze fiche werd ook ruimte voorzien om de installatie kort te beschrijven en om een overzicht bij te houden van de veiligheidsstudies die reeds werden uitgevoerd voor de installatie.

Meer details over een systeem kan men opnemen in het tabblad "Systeembeschrijving" van het Systeemformulier, afgebeeld in figuur 4.4. Dit tabblad voorziet onder meer in het opsommen van de verschillende componenten (apparaten en leidingen) die samen het systeem uitmaken. Op die wijze wordt elk systeem duidelijk afgebakend en kan men controleren of elke component van de installatie wel ergens in een systeem is opgenomen.

**Installatiefiche**

**Naam**

**Beknopte beschrijving**

**Uitgevoerde veiligheidsstudies**

Datum / periode	Omschrijving	Aanleiding van de studie
<i>datum(s) of periode waarin de studie is uitgevoerd</i>	<i>gebruikte techniek (bv. Hazop, ...)</i>	<i>bv. periodieke herziening, wijziging van de installatie, ...</i>

**Systemen van de installatie**

<i>namen van de gedefinieerde systemen</i>

Figuur 4.3. De Installatiefiche

**Systeemfiche**

**Naam**

**Beknopte beschrijving**

**Componenten van het systeem**

Naam	Code	Ontwerpdruk	Ontwerptemperatuur
<i>naam van de componenten</i>	<i>bv. de TAG-code of een andere eenduidige identificatie</i>	<i>de ontwerpdruk van de componenten</i>	<i>de ontwerptemperatuur van de componenten</i>

<b>Systeembeschrijving</b>	<b>Inventaris schadebronnen</b>	<b>Inventaris scenario's</b>
----------------------------	---------------------------------	------------------------------

Figuur 4.4. Het tabblad “Systeembeschrijving” van de Systeemfiche.

#### 4.2.2. Stap 1: het inventariseren van de schadebronnen

Zoals uiteengezet in deel 3 onderscheiden wij twee soorten schadebronnen: stoffen en reacties. Het tabblad “Inventaris schadebronnen” van de Systemfiche (figuur 4.5) laat toe de stoffen en reacties in een systeem te inventariseren.

<b>Systemfiche</b>			
<b>Naam</b>	<i>naam van het betrokken systeem</i>		
<b>Stoffen aanwezig onder normale omstandigheden</b>			
	<b>Naam</b>	<b>Hoeveelheid</b>	
	<i>naam van de stoffen</i>	<i>totale hoeveelheid van de stof aanwezig in het systeem</i>	
<b>Stoffen aanwezig onder abnormale omstandigheden</b>			
	<b>Naam</b>	<b>Hoeveelheid</b>	
	<i>naam van de stoffen</i>	<i>totale hoeveelheid van de stof die in het systeem aanwezig kan zijn</i>	
<b>Gewenste reacties</b>			
	<b>Naam</b>	<b>DP<sub>max</sub></b>	<b>DT<sub>max</sub></b>
	<i>naam van de gewenste reacties die plaatsgrijpen in het systeem</i>	<i>de maximale drukstijging die door de reactie kan veroorzaakt worden</i>	<i>de maximale temperatuurstijging die door de reactie kan veroorzaakt worden</i>
<b>Ongewenste reacties</b>			
	<b>Naam</b>	<b>DP<sub>max</sub></b>	<b>DT<sub>max</sub></b>
	<i>naam van de ongewenste reacties die plaatsgrijpen in het systeem</i>	<i>de maximale drukstijging die door de reactie kan veroorzaakt worden</i>	<i>de maximale temperatuurstijging die door de reactie kan veroorzaakt worden</i>
<b>Systembeschrijving</b>	<b>Inventaris schadebronnen</b>	<b>Inventaris scenario's</b>	

Figuur 4.5. Tabblad “Inventaris schadebronnen” van de Systemfiche

#### 4.2.2.1. Stoffen

Bij de inventarisatie van stoffen mag men zich niet beperken tot de “hoofdrolspelers”. Ook stoffen die in kleine hoeveelheden aanwezig zijn of die niet actief deelnemen aan het proces kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het gevarenpotentieel, bijvoorbeeld omdat ze aanleiding kunnen geven tot ongewenste reacties.

Verder is het ook belangrijk om te bepalen welke stoffen in een systeem aanwezig kunnen zijn bij abnormale omstandigheden. Om hier de aandacht op te vestigen, werd in het tabblad “Inventaris schadebronnen” van de Systeemfiche een onderscheid gemaakt tussen “stoffen aanwezig onder normale omstandigheden” en “stoffen aanwezig onder abnormale omstandigheden”. Een checklist of een vragenlijst kan de inventarisatie van stoffen aanwezig bij abnormale omstandigheden ondersteunen. In tabel 4.2 wordt een aanzet tot een dergelijke checklist gegeven.

---

**Tabel 4.2**  
**Checklist met abnormale omstandigheden voor de inventarisatie van stoffen**

---

Welke stoffen kunnen geïntroduceerd worden door volgende abnormale omstandigheden?

- terugstroming vanuit stroomafwaarts gelegen onderdelen
  - doorbraak van stoffen uit stroomopwaarts gelegen onderdelen
  - lekken in warmtewisselaars
  - verkeerde volgorde van reagentia bij batch- en semi-batch reactoren
  - contaminaties in productstromen
  - reactieproducten van ongewenste reacties
  - stoffen achtergebleven na druktesten
  - stoffen achtergebleven na onderhoud
  - verkeerde (andere) onderhoudsproducten (smeermiddelen, ontvettingsmiddelen, ...)
  - ....
- 

#### 4.2.2.2. Reacties

Voor een systematische inventarisatie van reacties kan men, naar analogie met de stoffen, een onderscheid maken tussen gewenste en ongewenste reacties.

De gewenste reacties in een proces zijn uiteraard bekend en de volledige inventarisatie mag geen probleem zijn. Men mag zich evenwel niet beperken tot de eigenlijke synthesesreacties. Ook in installatieonderdelen die niet als “reactoren” beschouwd worden, kunnen gewenste reacties optreden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan verbrandingsovens, installaties voor het zuiveren van grondstoffen, installaties voor het behandelen van afvalstromen, enzovoort.

De inventarisatie van ongewenste reacties kan men systematiseren door gebruik te maken van een interactiematrix met alle stoffen die voor het betrokken systeem geïnventariseerd zijn. Verder is het belangrijk na te gaan of elke stof geen aanleiding kan geven tot een “autoreactie”. Dit is een reactie van een stof met zichzelf. Er zijn drie hoofdvormen van autoreacties: polymerisatie, ontbinding en isomerisatie. Meer toelichting vindt men in de Metatechnicapublicatie CRC/MT/002 (referentie [5]). In referentie [6] is informatie terug te vinden over de reactiviteit van een groot aantal chemische stoffen.

In reactoren zijn per definitie reactieve stoffen aanwezig en bovendien kunnen de procescondities (concentraties, druk, temperatuur) in deze apparaten sterk variëren. Onderzoek naar ongewenste reacties in reactoren verdient daarom bijzondere aandacht.

### **4.2.3. Stap 2: de analyse van de schadebronnen**

Stoffen en reacties werden gedefinieerd als schadebronnen. In hoeverre deze stoffen en reacties effectief een gevaar vormen, volgt uit een analyse van hun gevaarlijke eigenschappen. Zowel voor stoffen als voor reacties maken we een onderscheid tussen inherente eigenschappen en installatiegebonden eigenschappen.

#### **4.2.3.1. Stoffen**

##### **4.2.3.1.1. Inherente eigenschappen**

In deze stap worden de inherente eigenschappen onderzocht die de stof in staat stellen om schade te berokkenen aan de mens als gevolg van een accidentele vrijzetting van deze stof. Volledigheid kan nagestreefd worden door het gebruik van fiches waarin alle relevante eigenschappen voor een bepaalde stof zijn opgenomen. In figuur 4.6 wordt het tabblad “Inherente eigenschappen” van de “Gevarenfiche voor stoffen” afgebeeld.

De inherente gevaarlijke eigenschappen van een stof kunnen objectief en proefondervindelijk bepaald worden. Voor de meeste stoffen en reacties zijn de eigenschappen reeds bepaald en publiek gemaakt in wetenschappelijke werken en publicaties. Voor stoffen die worden aangekocht kan men doorgaans terecht bij de producent voor uitgebreide informatie. De informatie die men terugvindt in de traditionele veiligheidskaarten is echter meestal te summier.

Ook een ongevallencasuïstiek levert zeer bruikbare informatie over het gevarenpotentieel van stoffen.

Indien men toch onvoldoende gegevens zou vinden in het publieke domein omtrent de gevaren van bepaalde stoffen of reacties, moet de exploitant zelf het initiatief nemen tot het laten uitvoeren van de nodige testen. De gevarenanalyse vormt immers de basis van de hele veiligheidsstudie. Het kan daarom niet aanvaard worden dat een exploitant niet op de hoogte zou zijn van alle relevante eigenschappen van alle stoffen en reacties in zijn installatie.

<b>Gevarenfiche voor stoffen</b>		
<b>Identificatie</b>		
<b>Naam</b>	de naam van de stof	
<b>Casnr.</b>	het CAS-nummer	<b>Etikettering</b> F, F+, T, T+, O, C, ...
<b>R- en S- zinnen</b>	de R- en S- zinnen voor de stof <input type="text"/>	
<b>Acute respiratoire toxiciteit</b>		
<b>Karakteristieke waarde</b>	bv. IDHL- of LC50-waarde (effect van korte blootstelling aan hoge dosis)	
<b>Beschrijving</b>	beschrijf de effecten van eenmalige blootstelling aan hoge dosis.	
<b>Brand en explosie</b>		
<b>Vlampunt</b>	in °C	<b>Verbrandingswarmte</b> in kJ/kg
<b>Zelfontbrandingstemp.</b>	in °C	<b>LEL</b> in vol% in lucht
<b>Ontstekingsenergie</b>	in mJ	<b>UEL</b> in vol% in lucht
<b>Elektrostatische oplading</b>	beschrijf het vermogen van de stof om elektrostatisch op te laden	
<b>Verbrandingsproducten</b>	beschrijf de verbrandingsproducten (indien relevant) <input type="text"/>	
<b>Bespreking</b>	kwalitatieve beschrijving van het brand- en explosiegedrag	
<b>Stabiliteit</b>		
<b>Ontbindingstemperatuur</b>	de "self accelerating decomposition temperature" in °C	
<b>DH<sub>decomp</sub></b>	de ontbindingsenthalpie in J/g	
<b>Bespreking</b>	In functie van $\Delta H_{decomp}$ is er geen gevaar, gevaar voor runaway, gevaar voor deflagratie of voor detonatie (zie referentie [5]. De invloed van andere producten op de ontbindingstemperatuur (ionen, metaaldeeltjes) kan hier ook vermeld worden.	
<b>Polymerisatie</b>		
<b>Reactie-enthalpie</b>	de reactie-enthalpie in J/g	
<b>Bespreking</b>	condities waaronder de polymerisatie kan plaatsgrijpen (temperaturen, druk, katalysatoren ...)	
<b>Percutane toxiciteit</b>		
<b>Karakteristieke waarde</b>	bv. het vereiste contactoppervlak voor dodelijke gevolgen	
<b>Bespreking</b>	bespreking van de gezondheidseffecten	
<b>Reactiviteit</b>		
<b>Met water</b>	met waterdruppels, luchtvochtigheid, waterdamp, ...	
<b>Met KWS</b>	oxiderende eigenschappen van de stof	
<b>Met zuren en basen</b>	gedrag wanneer de stof in contact komt met basen, zuren	
<b>Met constructiematerialen</b>	corrosiviteit t.o.v. metalen, aantasting van kunststoffen, geschikte constructiematerialen	
<b>Inherente eigenschappen</b>	<b>Installatiegebonden eigenschappen</b>	<b>Maatregelen</b>

Figuur 4.6. Het tabblad "Inherente eigenschappen" van de Gevarenfiche voor stoffen

#### 4.2.3.1.2. Installatiegebonden eigenschappen

Naast de inherente eigenschappen dragen ook een aantal installatiegebonden eigenschappen bij tot het vermogen van een stof om schade te berokkenen. Deze installatiegebonden eigenschappen worden gedocumenteerd in het tabblad “Installatiegebonden eigenschappen” van de Gevarenfiche voor stoffen (figuur 4.7).

Een eerste belangrijke eigenschap is de aggregatietoestand waarbij de stof aanwezig is. Zo is een lek van onder druk vloeibaar gemaakt gas gevaarlijker dan een gaslek omwille van het grotere lekdebiet en tevens gevaarlijker dan een vloeistoflek omwille van de grotere verdamping. Bovendien kunnen onder druk vloeibaar gemaakte gassen aanleiding geven tot een BLEVE<sup>1</sup>.

In het tabblad “Installatiegebonden eigenschappen” kan de aggregatietoestand ingevuld worden: gas onder druk, vloeistof onder druk, onder druk vloeibaar gemaakt gas, tot vloeistof gekoeld gas, enz. Eenzelfde stof kan in een systeem uiteraard in meerdere aggregatietoestanden aanwezig zijn.

Een tweede belangrijke eigenschap is de hoeveelheid van de stof die aanwezig is. In het tabblad “Installatiegebonden eigenschappen” kan voor elke aggregatietoestand de aanwezige hoeveelheid opgegeven worden.

Verder zijn in het tabblad velden voorzien om aan te geven of de temperatuur in het systeem al dan niet hoger is dan het vlampunt en de zelfontbrandingstemperatuur, met name “ $T_{vp} - T_{pr}$ ” en “ $T_{zo} - T_{pr}$ ”.

<b>Gevarenfiche voor stoffen</b>		
<b>Naam</b>	<i>de naam van de stof</i>	
<b>Functie of oorzaak van aanwezigheid</b>	- voor stoffen aanwezig bij normale omstandigheden: de functie van de stof in het systeem (reagens, katalysator solvent, ...), onzuiverheid, inert gas, ... - voor stoffen aanwezig bij abnormale omstandigheden: de omstandigheden waarbij of de oorzaken waardoor de stof aanwezig kan zijn	
<b>Aggregatietoestand</b>	<b>Hoeveelheid</b>	
<i>bv. gas onder druk, vloeistof onder druk, onder druk vloeibaar gemaakt gas, tot vloeistof gekoeld gas, enz.</i>	<i>de hoeveelheid bij elke aggregatietoestand</i>	
$T_{vp} - T_{pr}$	<i>het verschil tussen het vlampunt en de procestemperatuur</i>	$T_{zo} - T_{pr}$
		<i>het verschil tussen de zelfontbrandingstemperatuur en de procestemperatuur</i>
<b>Inherente eigenschappen</b>	<b>Installatiegebonden eigenschappen</b>	<b>Maatregelen</b>

Figuur 4.7. Het tabblad “Installatiegebonden eigenschappen” van de Gevarenfiche voor stoffen

<sup>1</sup> BLEVE is een acroniem voor Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion



## 4.2.3.2. Reacties

### 4.2.3.2.1. Inherente eigenschappen

Reacties zijn gevaarlijk in de mate dat ze voor een druk- of temperatuurstijging kunnen zorgen in het installatieonderdeel waarin ze plaatsgrijpen. Relevante inherente eigenschappen van een reactie zijn dan ook de reactiewarmte en de eventuele nettoproductie van gassen. Verder is ook de snelheid waarmee gassen of energie worden vrijgezet van belang. Figuur 4.8 geeft het tabblad “Inherente eigenschappen” van de Gevarenfiche voor reacties.

<b>Gevarenfiche voor reacties</b>	
<b>Identificatie</b>	
<b>Naam van de reactie</b>	<i>de naam van de reactie</i>
<b>Reactieschema</b>	<i>reagentia ® reactieproducten</i>
<b>Eigenschappen</b>	
<b>Reactiecondities</b>	<i>temperatuur, druk, concentraties, hoeveelheden, toevoerdebieten ...</i>
<b>DH<sub>R</sub></b>	<i>reactiewarmte in J/g</i>
<b>DM<sub>G</sub></b>	<i>het verschil tussen het aantal mol reagentia in de gasfase en het aantal mol reactieproducten in de gasfase</i>
<b>C<sub>v</sub> (J/kg °C)</b>	<i>de warmtecapaciteit van de reactiemassa</i>
<b>Reactiekinetiek</b>	<i>een formule voor de reactiesnelheid, een aantal representatieve waarden of een kwalitatieve beschrijving van de snelheid</i>
<b>dQ<sub>R</sub>/dt</b>	<i>een formule voor de snelheid van warmteontwikkeling of een aantal representatieve waarden of een kwalitatieve beschrijving</i>
<b>dM<sub>g</sub>/dt</b>	<i>een formule voor de snelheid waarmee gassen worden geproduceerd of verbruikt of een aantal representatieve waarden of een kwalitatieve beschrijving</i>
<b>Bespreking</b>	<i>ruimte voor het vermelden van andere relevante eigenschappen</i>
<b>Inherente eigenschappen</b>	<b>Installatiegebonden eigenschappen</b>
	<b>Maatregelen</b>

Figuur 4.8. Het tabblad “Inherente eigenschappen” van de Gevarenfiche voor reacties

### 4.2.3.2.2. Installatiegebonden eigenschappen

Het gevaarpotentieel van een reactie kan worden uitgedrukt als de maximale drukstijging en de maximale temperatuurstijging die door de reactie kan veroorzaakt worden. Om deze waarden te bepalen moeten evenwel veronderstellingen gemaakt worden omtrent de reactiecondities: welke reagentia zijn aanwezig, in welke hoeveelheden zijn ze aanwezig of aan welke debieten worden ze toegediend aan het reactiemengsel, enz. Aangezien we geïnteresseerd zijn in het schadepotentieel van de reactie zijn de reactiecondities de meest ongunstige (maar nog realistische) condities die kunnen optreden. Voor een zuivere batchreactie is dit bijvoorbeeld de stoichiometrische verhouding van reagentia en de afwezigheid van koeling. Voor andere situaties is het minder evident om de “worst cases” te bepalen.

Voor semi-batchreacties kan men bijvoorbeeld de volgende situaties bedenken:

- maximaal doseringsdebiet van de reagentia die continu worden toegediend en afwezigheid van koeling;
- een accumulatie van reagentia in de reactor door het niet starten van de reactie.

Voor een continue reactor kan een worst case scenario zijn: het inblokken van de reactor en het wegvallen van de koeling. Voor deze complexere situaties is het doorgaans mogelijk en ook noodzakelijk om *meerdere* worst case scenario's te analyseren.

Merk op dat de voorbeelden van hierboven betrekking hebben op reactoren. Voor ongewenste reacties moeten uiteraard ook veronderstellingen gemaakt worden. Beschouw bijvoorbeeld het geval dat er bij een interne lek van een koelspiraal een reactie optreedt tussen het koelmedium en de stof die wordt gekoeld. In dat geval moet men veronderstellingen maken omtrent de aard en omvang van het lek (gaatje of een volledige pijpbreuk van de koelspiraal, grootte van het lekdebiet).

Bij het bepalen van de worst case scenario's mag men geen of weinig rekening houden met de waarschijnlijkheid waarmee ze kunnen optreden. Men mag geen rekening houden met controle en beveiligingssystemen die men heeft geïnstalleerd of zal installeren om deze situaties te vermijden. De worst case scenario's dienen immers om te bepalen hoe belangrijk die schadevoorkomende maatregelen zijn. Indien bijvoorbeeld blijkt dat een worst case scenario niet kan opgevangen worden door een drukontlasting, zijn de maatregelen om de worst case omstandigheden te voorkomen natuurlijk veel belangrijker dan in het geval een drukontlasting wel mogelijk is. Zeer onwaarschijnlijke worst case reactiecondities zijn gemakkelijker te verzinnen én te evalueren dan meer realistische gevallen. Indien blijkt dat voor deze "gemakkelijke" worst case condities het gevarenpotentieel klein is of te beheersen valt met een drukbeveiliging, geldt dit a fortiori ook voor de "moeilijkere" meer realistische gevallen.

<b>Gevarenfiche voor reacties</b>		
Naam van de reactie <input type="text" value="de naam van de betrokken reactie"/>		
Worst case reactiecondities	DP <sub>max</sub>	DT <sub>max</sub>
<i>een beschrijving van de meest ongunstige condities waarin de reactie kan verlopen en waarbij dus een maximale hoeveelheid energie of gassen geproduceerd zal worden</i>	<i>de maximale drukstijging die bij de hiernaast vermelde condities kan bereikt worden</i>	<i>de maximale temperatuur-stijging die bij de hiernaast vermelde condities kan bereikt worden</i>

<b>Inherent eigenschappen</b>	<b>Installatiegebonden eigenschappen</b>	<b>Maatregelen</b>
-------------------------------	--	--------------------

Figuur 4.9. Het tabblad "Installatiegebonden eigenschappen" van de Gevarenfiche voor reacties

#### 4.2.4. Stap 3: het definiëren van ongevallenscenario's

In de context van deze nota zijn ongevallenscenario's ongewenste vrijzettingen van gevaarlijke stoffen of van energie. Het heeft echter weinig zin om één algemeen vrijzettingsscenario te definiëren per systeem. Zo is de wijze van vrijzetting functie van het mechanisme dat vrijzetting veroorzaakt. Bij een beperkt lek tengevolge van corrosie is er een geleidelijke vrijzetting, bij een brosse breuk zal de vrijzetting plots en onaangekondigd gebeuren. De *gevolgen* van één algemeen vrijzettingsscenario kunnen dus niet eenduidig bepaald worden.

Het is ook weinig zinvol om de *waarschijnlijkheid* van één algemeen vrijzettingsscenario te bepalen. Die waarschijnlijkheid wordt bij de risico-evaluatie immers gebruikt om beslissingen te nemen inzake de te treffen maatregelen. Deze maatregelen zijn echter ook functie van de oorzaken van de vrijzetting. Het is dus logischer om waarschijnlijkheden te bepalen (en dus scenario's te definiëren) voor individuele oorzaken. Om bijvoorbeeld een instrumentele beveiliging te evalueren die een runawayreactie moet vermijden, heeft het geen zin de algemene waarschijnlijkheid van een vrijzetting uit de reactor te kennen (die door nog andere oorzaken dan runaway zal bepaald worden) maar is men geïnteresseerd in de waarschijnlijkheid dat de condities voor runaway zich voordoen.

De aanpak die in deze nota gevolgd wordt, is het definiëren van één scenario per "drijvende kracht" die een vrijzetting kan veroorzaken. Voorbeelden van "drijvende krachten" zijn: interne explosie, runawayreactie, thermische uitzetting van ingesloten vloeistof, pompwerking tegen afgesloten afvoer, de impact van een brokstuk van een nabije explosie, corrosie, slijtage, kruip van een metaalwand t.g.v. externe brand, enz. Ook mensen kunnen de drijvende kracht zijn van een vrijzetting, denk bijvoorbeeld aan het afkoppelen van een flexibele leiding die niet productvrij werd gemaakt. Deze drijvende krachten kunnen eigenlijk beschouwd worden als een eerste indeling van de oorzaken van vrijzetting en we zullen verder spreken van "basisoorzaken". De technieken die kunnen gebruikt worden om de basisoorzaken van een vrijzetting te identificeren zullen aan bod komen in stap 4.

In het tabblad "Inventaris scenario's" van de Systemfiche kan men een overzicht bijhouden van alle scenario's (genoemd naar de basisoorzaken) (zie figuur 4.10). Het bepalen van de velden "Ernst" en "Kans" wordt toegelicht in deel 4.2.6.

Systemfiche			
Naam	naam van het betrokken systeem		
	Naam van het ongevallenscenario	Ernst	Kans
	per "basisoorzaak" wordt een ongevallenscenario gedefinieerd dat genoemd wordt naar de betrokken basisoorzaak	een inschatting van het effect	een inschatting van de kans
Systembeschrijving	Inventaris schadebronnen	Inventaris scenario's	

Figuur 4.10. Het tabblad "Inventaris scenario's" van de Systemfiche

#### 4.2.5. Stap 4: het identificeren van oorzaken en gevolgen

Bij het definiëren van ongevallenscenario's hebben we in feite reeds een aanvang gemaakt met het opsporen van de oorzaken van ongewenste vrijzettingen uit een systeem.

Voor een aantal van de basisoorzaken zijn de onderliggende oorzaken van hun optreden triviaal. De slijtage van een pomppakking is bijvoorbeeld inherent aan de aanwezigheid van bewegende delen en hoeft verder geen betoog. In andere gevallen, zoals bijvoorbeeld bij runaway, is het wel noodzakelijk om de onderliggende oorzaken te identificeren teneinde nadien schadevoorkomende maatregelen te kunnen vastleggen. In de "Beschrijvingsfiche voor scenario's" worden deze onderliggende oorzaken weergegeven in een horizontale boomstructuur door middel van insprongen (zie figuur 4.11). De oorzaken zijn genummerd om toe te laten dat er naar gerefereerd wordt bij de beschrijving van de maatregelen (O1, O1.1, ...).

Naast de oorzaken moeten ook gevolgen van een eventuele vrijzetting bepaald worden met het oog op het nemen van schadebeperkende maatregelen. Om referentie toe te laten bij de beschrijving van de maatregelen zijn ook de gevolgen genummerd (G1, G2...).

<b>Beschrijvingsfiche voor scenario's</b>			
<b>Systeem</b>	<i>naam van het systeem waarvoor het faalscenario beschouwd wordt</i>		
<b>Scenario</b>	<i>beknopte beschrijving (bv. lek door corrosie, overdruk door runaway, ...)</i>		
<b>Oorzaken</b>	<i>O1. Oorzaak 1</i> <div style="margin-left: 40px;"><i>O1.1. Oorzaak 1.1</i></div> <div style="margin-left: 80px;"><i>O1.1.1. Oorzaak 1.1.1</i></div> <div style="margin-left: 80px;"><i>O1.1.2. Oorzaak 1.1.2</i></div> <div style="margin-left: 40px;"><i>O1.2. Oorzaak 1.2</i></div> <i>O2. Oorzaak 2</i> <i>O3. Oorzaak 3</i> ....		
<b>Gevolgen</b>	<i>G1. Gevolg 1</i> <i>G2. Gevolg 2</i> <i>G3. Gevolg ....</i>		
<b>Kans</b>	<i>Inschatting van de waarschijnlijkheid van het scenario</i>		
<b>Ernst</b>	<i>Inschatting van de ernst van het scenario</i>		
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>Oorzaken en gevolgen</b></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>Maatregelen</b></td> </tr> </table>		<b>Oorzaken en gevolgen</b>	<b>Maatregelen</b>
<b>Oorzaken en gevolgen</b>	<b>Maatregelen</b>		

Figuur 4.11. Het tabblad "Oorzaken en gevolgen" van de Beschrijvingsfiche voor scenario's

Hieronder worden een aantal technieken besproken om de oorzaken van ongewenste vrijzettingen op te sporen.

#### 4.2.5.1. Checklists

Een checklist is een goede methode om snel en met relatief weinig moeite het merendeel van de basisoorzaken voor een bepaald systeem te inventariseren.

Bij de definitie van “basisoorzaak” werd ter illustratie een kort lijstje van voorbeelden gegeven. Dit lijstje kan elk bedrijf aanvullen tot een vrij volledige checklist. Inspiratie daarvoor kan men opdoen in de referentie [7]. In dit boek worden voor typische procestoestellen (drukvaten, reactoren, warmtewisselaars, enz.) typische faaloorzaken (“failure scenarios”) gegeven evenals typische oplossingen (“potential design solutions”).

#### 4.2.5.2. Foutenboomanalyse

Een foutenboom is een voor de hand liggende techniek om de onderliggende oorzaken van de basisoorzaken te identificeren. De topgebeurtenis in de boom is de basisoorzaak.

Merk op dat in onze benadering deze foutenbomen niet als doelstelling hebben de waarschijnlijkheid van een scenario kwantitatief te berekenen. Zij zijn een hulpmiddel om op een gestructureerde manier op zoek te gaan naar de onderliggende oorzaken van een vrijzetting en dit met de bedoeling schadevoorkomende maatregelen te kunnen formuleren. De faling van die schadevoorkomende maatregelen moet dus niet systematisch aan bod komen en de wiskundige correctheid (bv. met betrekking tot gemeenschappelijke fouten) is niet relevant. De foutenbomen die hier bedoeld worden als uitwerking van de basisoorzaken zullen dus niet zo complex en tijdrovend zijn als hun tegenhangers uit de kwantitatieve risicoanalyse.

De checklistmethode en de foutenboomanalyse zijn goede technieken *om in de loop van een project* het merendeel van de oorzaken te identificeren. Op het *einde* van het project, als de leiding- en instrumentatiediagrammen hun definitieve vorm aannemen, kan met een techniek als Hazop de identificatie van oorzaken vervolledigd worden.

#### 4.2.5.3. Hazop

Hazop is zonder twijfel de meest gebruikte risicoanalysetechniek in de procesindustrie. Er zijn een aantal factoren die het succes van Hazop verklaren. Vooreerst wordt de methode toegepast op een goed gedefinieerd studie-object, met name het leidings- en instrumentatiediagram. Verder wordt Hazop gekenmerkt door een zeer systematische benadering. Het creatief proces, dat het identificeren van risico's toch is, wordt sterk ondersteund door de concrete vragen die de Hazopmethode genereert en dit voor elk onderdeel van de installatie waarop de methode wordt toegepast.

Hazop is echter een *verificatietechniek* en dat beperkt de toepassingsmogelijkheden van Hazop. Trevor Kletz schrijft het volgende in zijn boek “Hazop and Hazan” [8]:

*“A Hazop is a final check on a basically sound design to make sure that no unforeseen effects have been overlooked. It should not replace the normal consultations and discussions that take place while a design is being developed.”*

Deze “consultations and discussions that take place while a design is being developed” zijn noodzakelijk om de preventiestrategie, uiteengezet in deel 3.1.4, te kunnen integreren in het ontwerp. Er zijn twee

redenen waarom men met een Hazop, uitgevoerd in het finaal stadium van het ontwerp, niet in staat is deze preventiestrategie te respecteren.

De eerste reden is van praktische aard. In een late fase van het ontwerpproces zijn er meestal geen mogelijkheden meer om nog belangrijke wijzigingen door te voeren. Trevor Kletz formuleert dit als volgt (referentie [8]):

*Hazop as described above is carried out late in design. It brings hazards and operating problems to light at a time when they can be put right with an indiarubber rather than a welding set, but at a time when it is too late to make fundamental changes in design.*

Een tweede reden houdt verband met de typische werkwijze van een Hazopstudie waarbij men de uitgangssituatie als een vast gegeven beschouwt. Er wordt nagegaan in hoeverre afwijkingen aanleiding geven tot problemen, niet in hoeverre afwijkingen aanleiding kunnen geven tot eventuele verbeteringen op het vlak van de veiligheid. Bijvoorbeeld bij het gidswoord “hogere temperatuur” toegepast op een semi-batchreactor, zal men tijdens een Hazop wellicht nagaan of een hogere temperatuur aanleiding kan geven tot een runawayreactie. Het is echter normaliter niet de bedoeling om tijdens een Hazop na te gaan of een hogere werkingstemperatuur het optreden van een runawayreactie minder kritisch of minder waarschijnlijk zal maken. Het ontwerp wordt immers niet meer in vraag gesteld. Hazop is een verificatietechniek en niet een ontwerptechniek. De preventiemaatregelen die het resultaat zijn van een Hazop beperken zich daarom vaak tot het specificeren van bijkomende veiligheidsuitrusting eerder dan het optimaliseren van het ontwerp door toepassing van de principes van inherente veiligheid. De mogelijkheden hiertoe doen zich vooral voor bij het ontwerp van nieuwe installaties of belangrijke aanpassingen. Door het identificeren van de risico's in de loop van het ontwerpproces te beperken tot een Hazop kortwiekert men bijgevolg de mogelijkheden om de algemene preventiestrategie toe te passen.

Men kan dus bij de ontwikkeling van een proces de identificatie van ongewenste gebeurtenissen *niet* beperken tot een Hazopstudie op het finaal ontwerp.

Merk verder op dat een Hazopstudie ook geen alternatief kan zijn voor een gevarenanalyse. Integendeel zelfs, een Hazopstudie is slechts zinvol als voordien een degelijke gevarenanalyse is uitgevoerd en indien de deelnemers aan de Hazopsessies kennis hebben genomen van de resultaten van deze gevarenanalyse. Men moet immers op voorhand een goed zicht hebben op de problemen die kunnen verwacht worden als gevolg van afwijkende procescondities of falende componenten. Om bijvoorbeeld te weten of een “hogere temperatuur” al dan niet aanleiding geeft tot belangrijke risico's, moet het gedrag gekend zijn van de aanwezige stoffen bij die hogere temperatuur. Als een omgekeerde stroming ervoor zorgt dat twee incompatibele producten met elkaar in contact komen, zal het trefwoord “omgekeerde stroming” enkel resultaat hebben als het analyseteam op de hoogte is van de reactie en het bijbehorende gevarenpotentieel.

Uit het voorgaande mag niet worden afgeleid dat de Directie van de chemische risico's gekant is tegen het gebruik van technieken als Hazop. Evenmin wil zij de bijdrage die deze technieken hebben gehad aan de veiligheid in de procesindustrie in twijfel trekken. Integendeel, de Directie van de chemische risico's is een groot voorstander van de uitvoering van een Hazop-studie als verificatie op het finaal leiding- en instrumentatiediagram. Deze verificatiestudie moet echter voorafgegaan worden door de gepaste risicoanalyses *in de loop* van het ontwerp. Die voorafgaande analyses moeten in principe het merendeel van de scenario's aan het licht hebben gebracht en op basis van die analyses zullen reeds een groot aantal maatregelen bepaald zijn. De nieuwe oorzaken die tijdens een Hazopstudie werden geïdentificeerd en eventuele bijkomende maatregelen waartoe werd besloten, moeten gedocumenteerd worden in de

gepaste beschrijvingsfiches voor ongevallenscenario's. Een Hazopverslag geeft immers *geen* gestructureerd overzicht van scenario's van zware ongevallen!

#### **4.2.6. Stap 5: het vaststellen van waarschijnlijkheid en ernst**

We beperken ons hier tot de kwalitatieve benadering zoals deze gedefinieerd werd in deel 3 van deze nota.

##### **4.2.6.1. De ernstfactor**

De verschillende ernstklassen moeten op een evenwichtige manier verdeeld zijn over de volledige ernstschaal. Zo is het weinig zinvol om een uitgebreid onderscheid te maken tussen het aantal dodelijke slachtoffers. Ook in de "Seveso"-richtlijn vindt men geen grond om onderscheid te maken tussen één, twee of meerdere dodelijke slachtoffers. Van zodra één werknemer het leven kan laten bij een ongeval, is dit te klasseren als een zwaar ongeval. Het is overigens ethisch niet te verantwoorden dat men andere maatregelen zou nemen wanneer er 2 of 3 slachtoffers kunnen vallen dan wanneer er slechts één slachtoffer kan vallen. Een bouwstelling waarop drie arbeiders werken wordt ook niet beter beveiligd dan een stelling waarop slechts één persoon werkzaam is.

Merk op dat de risicograaf zoals beschreven in de Duitse norm DIN V 19250 een dergelijk onderscheid tussen het aantal dodelijke slachtoffers wél maakt. De risicograaf onderscheidt 4 ernstklassen die als volgt zijn opgevat:

- klasse C1: een beperkt letsel;
- klasse C2: een permanent letsel van één of meerdere personen of één dodelijk slachtoffer;
- klasse C3: meerdere dodelijke slachtoffers;
- klasse C4: zeer veel dodelijke slachtoffers.

Omdat een dodelijk slachtoffer in deze norm als een relatief kleine ernst wordt ingeschat (de tweede kleinste ernstklasse) zal men ook eerder in een lage risicoklasse terechtkomen wanneer men de ernstfactor combineert met de andere factoren. Dit is in strijd met de geest van de "Seveso"-richtlijn die een risico op een dodelijk ongeval als een risico van zwaar ongeval catalogeert, waarvoor een hoge graad van bescherming vereist is. Men kan overigens nog andere bedenkingen maken bij de risicograaf. Die zullen aan bod komen onder punt 4.2.6.3 "Andere factoren".

Het totaal aantal klassen dat men onderscheidt, neemt men verder best niet te groot. Hoe meer klassen, hoe groter de "foutenmarge" wordt per klasse en hoe meer de indeling in een bepaalde klasse het voorwerp kan uitmaken van het subjectief oordeel van de analist.

Een evenwichtige definitie van de ernstklassen zou er bijvoorbeeld als volgt kunnen uitzien:

- S1: lokale schade, reversibele letsels;
- S2: belangrijke schade, blijvende letsels;
- S3: dodelijke afloop maar gevolgen zijn beperkt tot de onderneming;
- S4: gevolgen buiten de onderneming.

Om de subjectiviteit bij de inschatting van de ernst zo veel mogelijk te beperken is het aangewezen de beschrijving van de ernstklassen uit te breiden met voorbeelden van typische kwetsuren en schadegevallen die als referentie kunnen dienen.

#### 4.2.6.2. De waarschijnlijkheidsfactor

Net zoals bij de ernstfactor is het belangrijk om de waarschijnlijkheidsklassen op een evenwichtige en duidelijke wijze te definiëren.

Bij het beschrijven van de klassen mag men zich niet beperken tot louter kwalitatieve omschrijvingen als “zeer onwaarschijnlijk”, “waarschijnlijk”, “frequent”. De concrete interpretatie van deze woorden verschilt immers van persoon tot persoon. Het toekennen van grootteorden is een eerste stap om de inschatting van de waarschijnlijkheidsfactor te objectiveren.

De subjectiviteit kan verder worden teruggedrongen door typische gebeurtenissen zoals de falen van courante apparatuur of menselijke fouten onder te brengen in de verschillende waarschijnlijkheidsklassen. Dit gebeurt uiteraard bij voorkeur op basis van *eigen* ervaringsgegevens. Indien deze niet aanwezig zijn, wordt best werk gemaakt van een systeem om dergelijke informatie op te bouwen. In afwachting kan men terugvallen op literatuurgegevens en gegevens van de leveranciers.

Het is weinig zinvol om veel onderverdelingen te voorzien voor de zeer lage waarschijnlijkheden. Frequenties als “éénmaal om de honderdduizend jaar” zijn niet meer te bevatten voor een mens die vanuit zijn eigen ervaring hoogstens een tijdsbesef van enkele decennia kan hebben. Daarnaast staat het feit dat in de zeer beperkte periode waarin de procestechnologie in zijn huidige vorm bestaat -hooguit 50 jaar- zich al talloze incidenten en zware ongevallen hebben voorgedaan. In praktijk moet men dus geen tienduizend jaren wachten op zware ongevallen.

Een mogelijke indeling is de volgende:

- W4: zeer waarschijnlijk. Men mag verwachten dat de gebeurtenis zich meerdere malen zal voordoen tijdens de levensduur van de installatie. W4 is van de grootteorde van eenmaal per jaar.
- W3: waarschijnlijk. Men mag verwachten dat de gebeurtenis zich éénmaal zal voordoen tijdens de levensduur van de installatie. W3 is van de grootteorde van éénmaal om de 10 jaar.
- W2: zelden. De periode waarin men verwacht dat de gebeurtenis zich zal voordoen is beduidend groter dan de levensduur van de installatie. De gebeurtenis heeft zich echter reeds voorgedaan en is een “bekend fenomeen”. W2 is van de grootteorde van 1 maal per 100 jaar.
- W1: zeer zelden. Concrete ervaring met de gebeurtenis is er niet maar men kan ze niet volledig uitsluiten.

#### 4.2.6.3. Andere factoren

Sommige standaarden zoals de Duitse DIN V 19250 voorzien in nog andere factoren zoals de mate waarin men het gevaar kan ontwijken en de blootstelling in het schadegebied. De Directie van de chemische risico's is *geen* voorstander van het gebruik van dergelijke aanvullende factoren bij de inschatting van het risico.

In het algemeen maken ze de evaluatie van het risico meer ingewikkeld. Hoe meer factoren men in rekening brengt, hoe meer mogelijkheden men creëert om ten gevolge van kleine verschillen in appreciatie van de individuele factoren een sterk verschillend eindresultaat te bekomen. In het kader van het terugdringen van de subjectiviteit is dit zeker een ongewenst effect. Verder zijn er nog specifieke bezwaren ten aanzien van de twee hoger genoemde factoren.



Bij het bepalen van de factor “ontwijken van het gevaar” zijn tal van aspecten te beschouwen: de mate waarin het gevaar zich aankondigt, de snelheid waarmee de fenomenen zich voordoen, de waarneming, het beoordelingsvermogen en de reactiesnelheid van de mogelijke schadedragers, de evacuatiemogelijkheden, enz. Al deze aspecten zijn objectief moeilijk in te schatten en laten weer heel wat ruimte voor subjectieve interpretaties. In de specifieke context van procesveiligheid kan men bovendien ernstige vraagtekens plaatsen bij de relevantie van deze factor. Storingen in procesinstallaties voltrekken zich meestal in het inwendige van de installatie en kunnen niet waargenomen worden door het personeel dat zich ter plaatse bevindt. Fenomenen als explosies, branden, emissies van acuut gevaarlijke producten kunnen zich zeer plots en zo massaal manifesteren dat weglopen vooraleer er schade is opgetreden uitgesloten is.

Wat betreft de factor “blootstelling in het schadegebied” dient opgemerkt dat de chemische industrie in het algemeen een weinig arbeidsintensieve nijverheid is. Een ver doorgedreven automatisering is eigen aan de sector. De aanwezigheid van personeel in de installaties zal bijgevolg in de meeste gevallen erg laag zijn. Ook gezien de omvang van de installaties is het quasi ondenkbaar dat er zich constant mensen bevinden in alle mogelijke schadegebieden. De aanwezigheid zal in de meeste gevallen sporadisch zijn, m.a.w. bepaald door het toeval. Rekening houden met de factor “blootstelling in het schadegebied” wil bijgevolg zeggen dat men rekent op het toeval om risico's van zware ongevallen te beheersen. Op basis van deze redenering zou men tot de conclusie kunnen komen dat risico's van zware ongevallen minder beheerst moeten worden dan bijvoorbeeld “klassieke” risico's op ernstige ongevallen met machines die de permanente aanwezigheid van bedienend personeel vragen. Dit is uiteraard niet de bedoeling van de “Seveso II”-richtlijn die een hoog beschermingsniveau eist. Verder kan het ook niet de bedoeling zijn om een installatie waar gemiddeld slechts 2 mensen aanwezig zijn, minder goed te beveiligen dan een installatie waar gemiddeld 20 mensen aanwezig zijn.

#### **4.2.7. Stap 6: het evalueren van risico's**

Hetgeen volgt, heeft enkel betrekking op de kwalitatieve benadering.

Het uitvoeren van de risico-evaluatie is in feite een zeer rechtlijnige activiteit op voorwaarde dat men beschikt over duidelijke criteria. De “input” van de risico-evaluatie bestaat uit de gegevens met betrekking tot de ernst en waarschijnlijkheid uit stap 5. De “output” van de risico-evaluatie bestaat uit specificaties met betrekking tot de te nemen preventiemaatregelen. De risico-evaluatiecriteria leggen de relatie tussen input en output vast. Het toepassen van de criteria stelt dus niet zoveel moeilijkheden, het opstellen ervan wellicht wel. Bij het opstellen van risico-evaluatiecriteria komen twee kritische aspecten kijken:

1. het vastleggen van de *grenzen* van het systeem dat men wenst te evalueren en daarmee samenhangend het vastleggen van het *type* van maatregelen waaraan men eisen oplegt;
2. het vastleggen van de concrete eisen ten aanzien van de preventiemaatregelen in functie van de grootte van het risico.

Het is duidelijk dat de maatregelen die men wenst te bepalen op basis van de risico-evaluatie geen deel mogen uitmaken van het systeem waarvan men de risico's (de ernst en de waarschijnlijkheid) bepaalt. Het type van maatregelen waarvoor criteria worden opgesteld, bepaalt dus de grens van het systeem waarvan men de risico's inschat.

Wat betreft de eisen die gesteld worden aan de preventiemaatregelen, hanteert de Directie van de chemische risico's een aantal minimale criteria. Deze kunnen toegelicht worden aan de hand van de risicomatrix van figuur 4.12 die men bekomt door de ernst- en waarschijnlijkheidsklassen die hierboven als voorbeeld werden gegeven, te combineren.

<b>W4</b>				
<b>W3</b>				
<b>W2</b>				
<b>W1</b>				
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>

W4: zeer waarschijnlijk / 1 maal per jaar  
 W3: waarschijnlijk / 1 maal per 10 jaar  
 W2: zelden / 1 maal per 100 jaar  
 W1: zeer zelden  
  
 S4: gevolgen buiten de onderneming  
 S3: dodelijke afloop  
 S2: blijvende letsels  
 S1: reversibele letsels

Figuur 4.12. De risicomatrix

De matrix dient toegepast te worden op systemen *zonder* beveiligingsmaatregelen.

Ten aanzien van de risico's die worden ingeschat zoals hierboven beschreven en in de risicomatrix van figuur 4.12 gesitueerd worden, gelden de volgende principes.

1. Er dient steeds gestreefd te worden naar een maximale beperking van de ernst en waarschijnlijkheid door toepassing van de principes van inherente veiligheid, door passieve maatregelen en door een betrouwbare controle.
2. Het is *niet aanvaardbaar* om risico's in het gearceerde gebied te reduceren met beveiligingsmaatregelen. Deze risico's moeten *eerst* verder gereduceerd worden door aanpassing van het ontwerp of van de controlesystemen zodat het risico buiten het gearceerde gebied valt. Bij een evaluatie van het aangepaste systeem moet het risico buiten het gearceerd gebied liggen. Vervolgens moet men uiteraard dit risico verder reduceren met de middelen overeenkomstig de nieuwe locatie in de interactiematrix.
3. Voor risico's die gesitueerd worden in het grijze gebied, volstaan controlemaatregelen niet en dienen er *beveiligingsmaatregelen* genomen te worden. Een uitzondering op deze regel zijn de risico's die gereduceerd werden tot een zeer lage waarschijnlijkheid (W1) door middel van "passieve" maatregelen (bv. beveiliging tegen overdruk door de ontwerpdruk groter te kiezen dan de maximale druk die kan optreden).
4. De betrouwbaarheid van de beveiligingsmaatregelen moet (recht) evenredig zijn met de grootte van het risico.

5. Voor risico's van zware ongevallen (dit zijn in ieder geval deze die de ernstfactor S3 en S4 hebben) is de beveiliging:
- ofwel zelfwerkend en gekenmerkt door een hoge betrouwbaarheid (bv. een goed gedimensioneerde veiligheidsklep met veilige afvoer van gevaarlijke stoffen);
  - ofwel fouttolerant;
  - ofwel "fail safe".

Fouttolerantie is de eigenschap van een systeem dat het toelaat om zijn toegewezen functie te vervullen in aanwezigheid van één of meerdere fouten in de hardware of de software van het systeem (zie referentie [1]). Fouttolerantie kan bekomen worden door redundantie in te bouwen in een systeem. Redundante systemen bestaan uit twee of meerdere toestellen die ieder dezelfde functie vervullen zodat in het geval er een fout optreedt in één toestel, één of meerdere andere toestellen de correcte uitvoering van de functie blijven verzekeren.

In geval van een "fail safe" beveiliging wordt het proces automatisch in een veilige toestand gebracht wanneer de beveiliging faalt (bv. stopzetting van de installatie). In sommige gevallen kan het aanvaardbaar zijn dat de fout onmiddellijk wordt gedetecteerd en dat in afwachting van een snelle reparatie, tijdelijk andere maatregelen gelden, zoals een verhoogde waakzaamheid vanwege de operatoren. Het is duidelijk dat een dergelijke maatregel inferieur is aan redundantie of een "fail safe" systeem. Ze is enkel acceptabel wanneer de operatoren effectief de mogelijkheid hebben om tijdig in te grijpen en wanneer deze tijdelijke maatregelen slechts voor korte tijd kunnen aangehouden worden.

6. Voor risico's van zware ongevallen moet steeds de voorkeur gegeven worden aan automatisch werkende maatregelen boven maatregelen die een menselijke tussenkomst vragen. Deze laatste zijn enkel acceptabel:
- indien een automatische oplossing technisch niet haalbaar is of omwille van zeer specifieke omstandigheden niet wenselijk is;
  - indien het voor de interveniërende persoon ondubbelzinnig duidelijk is wanneer en hoe hij moet ingrijpen; de betrokken alarmen zijn duidelijk te onderscheiden van andere alarmen en krijgen een hogere prioriteit;
  - indien er voldoende tijd beschikbaar is om in te grijpen.

De hierboven beschreven criteria zijn slechts minimum voorwaarden die nog verder aan te vullen zijn om in de praktijk te kunnen worden toegepast. Het opstellen van criteria is de verantwoordelijkheid van elke onderneming. De criteria moeten op doordachte wijze tot stand komen en ze moeten de goedkeuring krijgen van het hogere management van de onderneming.

#### **4.2.8. Stap 7: het vastleggen van maatregelen**

De wetgeving schrijft een bepaalde hiërarchie van preventiemaatregelen voor. Het overwegen van preventiemaatregelen volgens deze hiërarchie kan op een *systematische* manier gebeuren door bij het documenteren van preventiemaatregelen verschillende klassen van maatregelen te onderscheiden. Die klassen fungeren dan als een soort checklist of geheugensteun voor het soort maatregelen dat overwogen wordt en voor de volgorde waarin dit gebeurt.

De veiligheidsdocumentatie die in deze nota wordt voorgesteld, laat toe om maatregelen te specificeren bij schadebronnen (stoffen en reacties) en bij scenario's.

Maatregelen die gespecificeerd worden ten aanzien van de schadebronnen zijn maatregelen die de installatie inherent veiliger maken of die, om de formulering van de reglementering te gebruiken, risico's voorkomen. Enkele voorbeelden worden gegeven in de tabbladen "Maatregelen" van de Gevarenfiche voor stoffen (figuur 4.13) en de Gevarenfiche voor reacties (figuur 4.14).

Maatregelen die geformuleerd worden bij de scenario's maken de ongewenste vrijzettingen minder waarschijnlijk (voorkomen van schade) of beperken de schade die het gevolg is van een eventuele vrijzetting. In het tabblad "Maatregelen" van de Beschrijvingsfiche voor scenario's (figuur 4.15) vindt men dan ook een eerste indeling van maatregelen: "maatregelen die een vrijzetting voorkomen" en "maatregelen die de gevolgen van een vrijzetting beperken". Verder werd een onderscheid gemaakt tussen "Passieve maatregelen", "Materiële actieve maatregelen" en "Procedurele actieve maatregelen". Passieve maatregelen genieten de voorkeur boven actieve maatregelen en materiële actieve maatregelen hebben voorrang op procedurele maatregelen (die per definitie actief zijn).

Hierboven werd reeds gewezen op referentie [7] waarin typische "failure scenarios" en overeenkomstige "potential design solutions" worden beschreven voor verschillende types van procesapparatuur. De "design solutions" worden ingedeeld in de volgende klassen: "Inherently Safer/Passive", "Active" en "Procedural".

Gevarenfiche voor stoffen		
<b>Naam</b>	de naam van de stof	
<b>Maatregelen m.b.t. inherente veiligheid</b>	beschrijving van eventuele maatregelen die genomen werden ten aanzien van de betrokken stof  voorbeelden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• de stof wordt gebruikt als vervangmiddel voor een gevaarlijker alternatief</li> <li>• de hoeveelheden van de betrokken stof in het betrokken systeem zijn beperkt door een speciaal ontwerp van het toestel, door organisatorische maatregelen, ...</li> <li>• de procescondities in het systeem werden om veiligheidsredenen aangepast</li> </ul>	
<b>Inherente eigenschappen</b>	<b>Installatiegebonden eigenschappen</b>	<b>Maatregelen</b>

Figuur 4.13. Het tabblad “Maatregelen” in de Gevarenfiche voor stoffen

Gevarenfiche voor reacties		
<b>Naam</b>	de naam van de betrokken reactie	
<b>Maatregelen m.b.t. inherente veiligheid</b>	beschrijving van eventuele maatregelen die genomen werden ten aanzien van de betrokken reactie  voorbeelden (voor gewenste reacties): <ul style="list-style-type: none"> <li>• het gebruik van een bepaalde reactieroute als veiliger alternatief voor een meer gevaarlijke route</li> <li>• de keuze van de reactiecondities om een runaway minder waarschijnlijk te maken of de maximale druk- en temperatuurstijging te beperken</li> <li>• het gebruik van een bepaald type solvent met een kooktemperatuur beneden de temperatuur waarop een runawayreactie kan starten (de “on-set”-temperatuur)</li> </ul>	
<b>Inherente eigenschappen</b>	<b>Installatiegebonden eigenschappen</b>	<b>Maatregelen</b>

Figuur 4.14. Het tabblad “Maatregelen” in de Gevarenfiche voor reacties

<b>Beschrijvingsfiche voor scenario's</b>	
<b>Systeem</b>	<i>Naam van het systeem waarvoor het faalscenario beschouwd wordt</i>
<b>Scenario</b>	<i>Beknopte beschrijving (bv. lek door corrosie, overdruk door runaway ...)</i>
<b>Maatregelen die een vrijzetting voorkomen</b>	
<b>Nr. oorzaak</b>	<b>Passieve maatregelen</b>
<i>volgnummer van de oorzaak (uit het tabblad "Oorzaken en gevolgen")</i>	<i>een beschrijving van de maatregel voor de oorzaak waarvan hiernaast het nummer werd gegeven</i>
<b>Nr. oorzaak</b>	<b>Actieve maatregelen</b>
<i>idem als hierboven</i>	<i>idem als hierboven</i>
<b>Nr. oorzaak</b>	<b>Procedurale maatregelen</b>
<i>idem als hierboven</i>	<i>idem als hierboven</i>
<b>Maatregelen die de gevolgen van een vrijzetting beperken</b>	
<b>Nr. gevolg</b>	<b>Passieve maatregelen</b>
<i>volgnummer van het gevolg</i>	<i>een beschrijving van de maatregel voor de gevolg waarvan hiernaast het nummer werd gegeven</i>
<b>Nr. gevolg</b>	<b>Actieve maatregelen</b>
<i>idem als hierboven</i>	<i>idem als hierboven</i>
<b>Nr. gevolg</b>	<b>Procedurale maatregelen</b>
<i>idem als hierboven</i>	<i>idem als hierboven</i>
<b>Oorzaken en gevolgen</b>	<b>Maatregelen</b>

Figuur. 4.15. Het tabblad "Maatregelen" van de Beschrijvingsfiche voor scenario's

## 5. Referenties

- [1] Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1993
- [2] European Process Safety Centre, *Safety Integrity. The implications of IEC 61508 and other standards for the process industries*, Institution of Chemical Engineers, Rugby (UK), 1999
- [3] KLETZ T.A. , *Cheaper, Safer Plants, or Wealth and Safety at Work*, The Institution of Chemical Engineers, Rugby, Warwickshire, England, 1984
- [4] Center for Chemical Process Safety, *Inherently Safer Chemical Processes, A life cycle approach*, ed. by Daniel A. Crowl, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1996
- [5] Universit  de Li ge, *Leidraad voor de identificatie en evaluatie van de gevaren van thermische runaway-reacties*, Federaal Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid, Directie van de chemische risico's, 1998
- [6] BRETHERICK L., *Handbook of Reactive Chemical Hazards*, 5th Edition, ed. by P.G. Urben, Butterworth-Heinemann, London, 1995
- [7] Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Design Solutions for Process Equipment Failures*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1998
- [8] T. KLETZ, *Hazop and Hazan, Identifying and assessing process industry hazards*, Institution of Chemical Engineers, Rugby (UK), 1999, p. 34.