

AMBITIE VOOR 2030: NEDERLANDSE (PETRO)CHEMISCHE INDUSTRIE DE VEILIGSTE TER WERELD

In Nederland, als dichtbevolkt land met veel kennisintensieve bedrijvigheid, wordt veel belang gehecht aan veiligheid en duurzaamheid. In onze procesindustrie – met 44.000 werknemers qua omvang de tiende ter wereld – worden dan ook voortdurend inspanningen verricht om beide aspecten verder te bevorderen.

Ondanks deze inspanningen zijn er ook in Nederland regelmatig kleine en gemiddeld twee tot drie keer per jaar zelfs grote (proces)veiligheidsincidenten. Van deze laatste categorie incidenten onderzoekt de Onderzoeksraad voor de Veiligheid de onderliggende oorzaken. Veelal zijn die toe te schrijven aan een combinatie van technische onvolkomenheden (hardware), ineffectieve werkprocessen (software) en menselijk gedrag (mindware). Procesveiligheid berust dan ook op het begrijpen en beheersen van deze drie aspecten in hun onderlinge samenhang. Dit ter bescherming van mens en milieu tegen ongevallen met kleine kans maar met omvangrijke gevolgen.

Procesveiligheid is ook van sociaal-economisch belang. Veiligheid en duurzaamheid gaan samen met hoge betrouwbaarheid van de installaties en met een innovatieve, professionele, vaak inspirerende werkomgeving voor medewerkers. Overheid, industrie en wetenschap hebben in 2020 als Safety Delta Nederland de gezamenlijke ambitie uitgesproken om de Nederlandse (petro)chemische industrie anno 2030 de veiligste ter wereld te doen zijn. Daarmee zal deze industrie een internationaal gewaardeerde en erkende topospositie in kunnen nemen op het terrein van ontwikkeling en implementatie van veiligheidsconcepten omtrent de omgang met gevaarlijke stoffen.

Veilig werken met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen vergt diepgaande kennis van de (proces)veiligheidsrisico's, nauwgezette implementatie van beheersmaatregelen en regelmatige verificatie dat deze maatregelen ook echt werken. Alle elementen moeten kloppen om (proces)veiligheid te garanderen. Het gaat hier om een technisch-sociale systeembenadering, waarbij diverse vakgebieden met elkaar in verbinding moeten worden gebracht, zowel tijdens opleidingen als in het industriële werkveld.

Dit handboek geeft een prachtig overzicht van bestaande kennis over (proces)veiligheidsrisico's en beheersmaatregelen om veilig te kunnen werken. De gestructureerde opbouw maakt het mogelijk om overzicht te krijgen en te houden van dit brede vakgebied. Het is daarmee een standaardwerk voor veiligheidskundigen, proces- en project-engineers, technologen, operatie- en onderhoudsmensen, toezichthouders en vergunningverleners, en iedereen die beroepshalve meer wil weten over procesveiligheid.

*Arjan van Dijk,
Programmadirecteur Safety Delta Nederland*

MEER DAN DE SOM DER DELEN

Voor mij persoonlijk grijpt de motivatie om te werken aan de totstandkoming van dit boek ver terug in de tijd, namelijk naar het najaar van 1975. Ik zat toen in de tweede klas van de middelbare school. Op de ochtend van 7 november ging er plotseling een enorme, diepe knal door het klaslokaal. Het lokaal – in een tijdelijk bijgebouw – leek even te schudden, maar het geluid vervloog zo snel als het was gekomen en liet de klas achter in een verwarde toestand.

Mijn verwarring sloeg om in angst, toen door de intercom de mededeling kwam dat er een ontploffing was geweest bij DSM en dat iedereen maar snel naar huis moest gaan. Verder lesgeven was ook onmogelijk, want in diverse andere klaslokalen waren ramen gesneuveld. Ik fietste naar huis alsof mijn leven ervan afhing – mijn vader werkte namelijk bij DSM...

De explosie die we op school hadden gehoord, werd gevolgd door een brand die niemand in Geleen en omstreken kon ontgaan: nog dagenlang waren de zwarte rookpluimen te zien. Er waren uiteindelijk 14 doden te betreuren, en meer dan 100 gewonden. Mijn vader kwam die avond tot mijn opluchting gezond en wel thuis. Hij werkte als veiligheidskundige op het centraal laboratorium – dat vrij ver weg lag van de ontplofte naftakraker – en was niet betrokken bij het incident zelf, maar kennelijk wel bij de naweeën. Ik herinner me hoe hij 's avonds thuis bezig was een transcriptie te maken van de opnamen van de communicatie van de interne nooddiensten van het bedrijf in de eerste uren van de ramp. Hij was diep aangeslagen over de aangerichte verwoesting en ellende, en sprak ook over een grote ontploffing een jaar eerder in Engeland.

De appel viel niet ver van de boom; ook ik bekwaamde mij in de loop der jaren als technoloog en veiligheidskundige. Met de kennis van nu weet ik hoe gemakkelijk een vrijkomende brandbare damp kan ontsteken en tot een explosie kan leiden. En welke preventieve maatregelen de huidige wet- en regelgeving voorschrijft.

Er is in de loop der jaren namelijk wereldwijd veel ondernomen om de veiligheid van procesinstallaties op een hoger plan te brengen. Termen als PED, ATEX, HAZOP-studies, *Pre Start-up Safety Reviews*, *Independent Protection Layers* en *Management of Change* zijn inmiddels gangbare begrippen die in dit boek toegelicht worden. Dit zijn – op de afkorting ATEX na – allemaal Engelstalige termen, zoals ook de meeste procesveiligheidsliteratuur Engelstalig is.

De procesindustrie is een omvangrijke bedrijfstak, zowel in Nederland als in Vlaanderen. Het is merkwaardig dat we veel van onze veiligheidskennis halen uit Amerikaanse boeken, veelal geënt op de Amerikaanse wetgeving. De stichting PHOV constateerde dan ook op basis van contacten met het bedrijfsleven dat er behoefte is aan een Nederlandstalig boekwerk over procesveiligheid – geënt op de Nederlandse en Europese wetgeving en praktijken.

De toenmalige directeur van PHOV, Hub Daniëls, had een boek voor ogen dat de kennis van diverse deskundigen uit het Nederlandse werkveld zou combineren en ontsluiten, want procesveiligheid is een breed vakgebied – vrijwel niemand kan het hele spectrum beheersen. Hij vroeg mij om de inhoudelijke redactie op me te nemen en te zorgen dat er een integraal naslagwerk zou ontstaan dat zou uitstijgen boven een samenvoeging van afzonderlijke bijdragen. Een eervolle en ambitieuze taakstelling: aan dit handboek hebben meer dan 20 experts een bijdrage geleverd, met elk hun eigen specifieke expertise.

Industriële veiligheid – zowel arbeidsveiligheid, machineveiligheid als procesveiligheid – heeft betrekking op de interactie tussen installatie, mens en werkprocessen. Of, om toch mooi rijmende Engelse termen te gebruiken: hardware, mindware en software. Ik ben oorspronkelijk opgeleid als chemisch technoloog, en was lange tijd van mening dat procesveiligheid in essentie een technisch (hardware) verhaal was. Dat beeld begon te kantelen door het volgen van de opleiding *Management of Safety, Health and Environment* (MoSHE), waarin systeemdenken een belangrijke rol speelt. Het volgende kantelpunt kwam, toen ik met mijn toenmalige collega's meerdere chloor- en zoutfabrieken ging auditen op basis van een procesveiligheidsmanagement-model. De vragenlijst bij het model – door ons overgenomen uit Amerikaanse literatuur – bleek vooral op organisatie en procedures (software) gericht te zijn. Aan de hand van die vragenlijst, en met onze gecombineerde eigen ervaring in engineering en inspectie, konden we een goed beeld krijgen van de sterke en zwakte punten in de geauditeerde fabrieken, ook zonder diep op technische details in te gaan. De vragenlijst volgde helaas letterlijk de Amerikaanse wetgeving. Niet dat die lijst daarmee slecht was, maar vragen naar het *hazwoper*-programma¹ levert in een Nederlandse fabriek niet direct een bruikbaar antwoord op. Een reden te meer waarom dit boek er naar mijn idee moest komen. Constaten dat er gaten zitten tussen het ideaalbeeld van een managementmodel en de dagelijkse praktijk in fabrieken, is één ding. Het formuleren en geaccepteerd krijgen van verbeteringsvoorstellen is een heel ander verhaal. Dan speelt de manier van de boodschap brengen een grote rol, en blijkt ook dat lokale ambassadeurs (in het Engels: *process safety champions*) in de productievestigingen onmisbaar zijn om daadwerkelijke veranderingen door te voeren. Dat is een deel van de mindware-kant van procesveiligheid. Tegenwoordig ben ik van mening dat de technische component nog steeds belangrijk is, maar dat aspecten als wetgeving, cultuur, beleid en risicomangement onmisbare elementen zijn in het bouwwerk van procesveiligheid. Waarbij het denken in scenario's

1 *Hazwoper* staat voor: *HAZardous Waste OPerations and Emergency Response* (OSHA standard 1910.120).

een vereiste is om de risico's te kunnen inschatten. Daarnaast staat of valt elke vorm van veiligheid met communicatie, bij voorkeur in de moerstaal van de betrokkenen.

Het redigeren van dit boek was een inspannend en tijdrovend, maar tegelijkertijd ook inspirerend traject. Een boek samenstellen met bijdragen van zo veel auteurs is geen sinecure. Maar wat een diversiteit aan kennis is er ontsloten! Het resultaat van eenieders inspanning is vervat in een structuur van negen hoofdstukken die diverse specialismen in een kader plaatsen – het geheel vormt mijns inziens meer dan de som der delen.

Velen zijn betrokken geweest bij de totstandkoming. Mijn speciale dank gaat uit naar:

- de stichting PHOV, in het bijzonder Hub Daniëls voor de inspiratie en het vertrouwen, Ingeborg de Jongh en Edwin Korver voor de projectbegeleiding en ondersteuning bij het gehele proces;
- alle auteurs voor hun bijdragen en de inzicht die ze daarmee hebben geboden in hun eigen specialisme, en voor de verhelderende discussies rondom hun manuscripten;
- Ingrid Nijkamp en Mechteld de Coo van Uitgeverij Kerckebosch voor het samensmeden van de manuscripten tot een volwaardig boek;
- Marjolein en Claudia voor hun begrip gedurende de vele uren die ik thuis achter het beeldscherm doorbracht en die ten koste gingen van onze gezamenlijke tijd.

Wij, redactie en auteurs, hebben – ieder vanuit een persoonlijke gedrevenheid – ons uiterste best gedaan om onze kennis toegankelijk te maken voor de lezers. Wij delen de visie dat het verspreiden van procesveiligheidskennis essentieel is om de inherente gevaren van de stoffen waarmee we in de procesindustrie werken, te onderkennen en de bijbehorende risico's te kunnen beheersen.

Wij hopen dat de lezers inspiratie zullen putten uit het lezen van dit boek en het beschrevene kunnen toepassen in hun eigen werkomgeving. Ons doel is de kennis van en communicatie rondom procesveiligheid te bevorderen en daarmee bij te dragen aan een duurzame toekomst.

*Nico Mulder,
juni 2022*

INHOUDSOPGAVE



Voorwoord		
	AMBITIE VOOR 2030: NEDERLANDSE (PETRO)CHEMISCHE INDUSTRIE DE VEILIGSTE TER WERELD	5
	<i>Arjan van Dijk</i>	
	MEER DAN DE SOM DER DELEN	6
	<i>Nico Mulder</i>	
1	WAT IS PROCESVEILIGHEID?	25
1.1	Introductie	26
	<i>Jaap de Bruin</i>	
1.2	Historie en definities	28
	<i>Jaap de Bruin</i>	
1.2.1	Bepalende gebeurtenissen	28
1.2.2	Definities	30
1.2.3	Scenariodenken als basis voor procesveiligheidsaanpak	33
1.3	Bedreigingen	35
	<i>Jaap de Bruin</i>	
1.3.1	Eigenschappen van gevaarlijke stoffen en GHS-indeling	35
1.3.2	Mogelijke gevolgen	37
1.3.2.1	Brand	39
1.3.2.2	Explosies	39
1.3.2.3	Vrijkomen van toxische stof in water, lucht en/of bodem	40
1.3.2.4	Ioniserende straling	40
1.4	Relaties tussen procesveiligheid, arbeidsveiligheid en duurzaamheid	41
	<i>Jaap de Bruin</i>	
1.4.1	Verschillen tussen procesveiligheid en arbeidsveiligheid	41
1.4.2	Hoe meet je procesveiligheid?	42
1.4.3	Duurzaamheid en procesveiligheid	42
1.5	Ontwikkelingen in het denken over procesveiligheid	45
	<i>Coen van Driel en Nico Mulder</i>	
1.5.1	Initiatieven vanuit overheid en industrie	45
1.5.2	Opeenstapeling van inzichten	48
1.6	Het bouwwerk van procesveiligheid	51
	<i>Nico Mulder</i>	
1.6.1	Bouwstenen van procesveiligheid	52
1.6.2	Samenhang tussen de bouwstenen	54

2

WETGEVING PROCESVEILIGHEID

57

2.1	Introductie wet- en regelgeving	58
	<i>Mark Dabekaussen</i>	
2.1.1	Arbeids- en gebruikersveiligheid	58
2.1.2	Productveiligheid	59
2.1.3	Externe veiligheid	59
2.1.4	Veiligheid stoffen	60
2.2	De Machinerichtlijn (Directive 2006/42/EC)	61
	<i>Nick de With</i>	
2.2.1	Algemene achtergrond	61
2.2.1.1	Verankering in de Nederlandse wetgeving	61
2.2.1.2	Rechtsgrondslag en doel	61
2.2.1.3	Toepassingsgebied	61
2.2.2	Taken, rollen en verantwoordelijkheden	63
2.2.3	CE-markering en relevante onderliggende normen	64
2.2.4	Toepassing Machinerichtlijn in de procesindustrie	64
2.2.4.1	Heldere definitie van 'machine'	65
2.2.4.2	Procesinstallatie en samenstellen van machines	66
2.2.5	Nabeschouwing	68
2.3	De Richtlijn Drukapparatuur (Directive 2014/68/EU)	69
	<i>Leo Koersvelt</i>	
2.3.1	De PED op hoofdlijnen	69
2.3.2	Fasering van bouw en ingebruikname	70
2.3.2.1	Ontwerpfase	71
2.3.2.2	Keuringsfase	73
2.3.2.3	Gebruiksfase	73
2.3.2.4	Buitenbedrijf-fase	74
2.4	ATEX-richtlijn (Directive 1999/92/EG en 2014/34/EU)	75
	<i>Rolf van Dijk</i>	
2.4.1	Doelstelling van de ATEX-wetgeving	75
2.4.1.1	ATEX 153 en 114 en hun toepassingsgebieden	75
2.4.1.2	Samenspel van beide richtlijnen	76
2.4.2	Wanneer is ATEX van toepassing?	78
2.4.3	Nederlandse wet- en regelgeving	79
2.4.3.1	Arbobesluit	79
2.4.3.2	Warenwetbesluit explosieveilig materieel	80
2.4.4	Onderscheid ATEX-richtlijnen	81
2.5	Seveso-richtlijn in Nederland	82
	<i>Cor Neeft</i>	
2.5.1	Toepassingsgebied en indeling van bedrijven	82
2.5.2	Procesbeheersing	84
2.5.2.1	Preventie criterium	85
2.5.2.2	Risicobewustzijn	86
2.5.3	Veiligheidsbeheersysteem	87
2.5.4	Handhaving en toezicht	88

2.6	Verordeningen REACH (1907/2006/EU) en CLP (1272/2008/EU)	94
	<i>Jean-Marc Abbing</i>	
2.6.1	Achtergrond en doel van de REACH- en CLP-wetgeving	94
2.6.2	REACH-processen ter ondersteuning van veilig gebruik van stoffen	95
2.6.2.1	Registratie (door middel van het registratiedossier)	95
2.6.2.2	Evaluatie	96
2.6.2.3	Communicatie	96
2.6.3	REACH-processen ter beperking of uitfasering van de meest gevaarlijke stoffen	97
2.6.3.1	Identificatie van de meest gevaarlijke stoffen en vervolgstappen	97
2.6.3.2	Autorisatie	98
2.6.3.2	Restrictie	99
2.6.4	CLP-processen ter toekenning van gevaarseigenschappen van stoffen en mengsels	99
2.6.4.1	De indeling in gevaarscategorieën door middel van zelfclassificatie	99
2.6.4.2	Het harmonisatieproces van classificatie	100
2.6.4.3	Notificatieplicht voor importeurs en producenten	101
2.6.5	Relevantie van REACH en CLP voor procesveiligheid	101

3

	MODELLEREN VAN PROCESVEILIGHEID: SCENARIODENKEN	103
3.1	Het belang van scenariodenken	104
	<i>Carsten Assmann</i>	
3.1.1	Scenario's en industriële veiligheid	104
3.1.2	Scenario's in wet- en regelgeving	105
3.2	Scenarioanalyse en -modellering	107
	<i>Carsten Assmann</i>	
3.2.1	Aanpak van de analyse	107
3.2.1.1	Deterministische onderzoeken	107
3.2.1.2	Probabilistische studies	108
3.2.2	Onderzoekstechnieken	109
3.2.3	Modellering	110
3.2.3.1	Oorzaken	111
3.2.3.2	Ongewenste kerngebeurtenissen	112
3.2.3.3	Effecten	113
3.2.4	Simulatieberekeningen	115
3.3	Risico-berekening en -beoordeling	119
	<i>Carsten Assmann</i>	
3.3.1	Kwantificeren van risico's	119
3.3.2	Afwegen van risico-reducerende maatregelen	121
3.3.3	Risico-acceptatie	121
3.3.3.1	Acceptatiecategorieën	122
3.3.3.2	Andersoortige afwegingen	124
3.4	Het schillenmodel - modellering en borging	125
	<i>Carsten Assmann</i>	
3.4.1	Opbouw van het model	125
3.4.2	Nadere toelichting op het model	127
3.4.3	Borging van de betrouwbaarheid van veiligheidsmaatregelen	129
3.4.4	Nabeschouwing	131

4

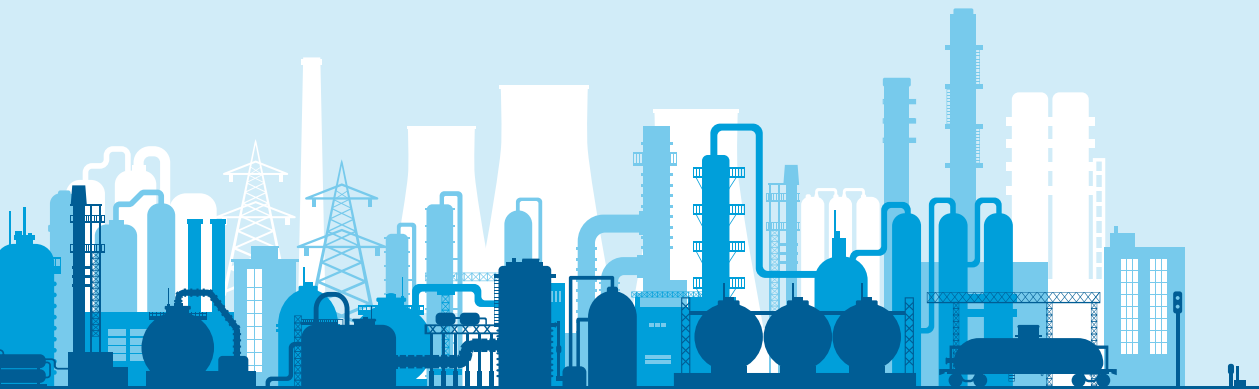
RISICOANALYSETECHNIKEN

133

4.1	Introductie risicoanalyse	134
	<i>Nico Mulder en Daan Stam</i>	
4.2	Chemische risicobeoordeling	137
	<i>Jaap de Bruin</i>	
4.2.1	Inherent gevaar van exotherme reacties	138
4.2.2	Wanneer is een exotherme reactie gevaarlijk?	138
4.2.2.1	Bij reactie in een reactor	138
4.2.2.1	Bij opslag	140
4.2.3	Welke testen kunnen er gedaan worden?	142
4.3	Kwalitatieve risicoanalysemethoden: SWIFT, HAZOP en bow tie)	144
	<i>Daan Stam</i>	
4.3.1	Opzet van risico-identificatiestudies: teamexercitie	144
4.3.2	Toetsingskader voor kwalitatieve risicobeoordeling	145
4.3.3	<i>Structured What-If Technique</i> (SWIFT)	147
4.3.4	<i>Hazard and Operability study</i> (HAZOP)	148
4.3.4.1	Definiëren van nodes en hun ontwerpintentie	149
4.3.4.2	Bepalen van te beoordelen soorten afwijkingen	150
4.3.4.3	Vaststellen van oorzaken	151
4.3.4.4	Vaststellen van gevolgen	152
4.3.4.5	Vaststellen van relevante bestaande of nog aan te brengen beveiligingen	152
4.3.5	<i>Bow tie</i>	153
4.4	Semi-kwantitatieve methodes: LOPA en risicograaf	156
	<i>Daan Stam</i>	
4.4.1	<i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA)	156
4.4.1.1	Uitgangspunten en beperkingen van de methode	156
4.4.1.2	Vaststellen van beginoorzaken - <i>Initiating Events</i>	158
4.4.1.3	Randvoorwaarden - <i>Enabling Conditions</i>	160
4.4.1.4	Vaststellen van beschermingslagen - <i>Independent Protection Layers</i>	161
4.4.1.5	Kansverlaging van een effect - <i>Conditional Modifiers</i>	163
4.4.1.6	Wel of niet meewegen van omstandigheden	164
4.4.1.7	Door wie en wanneer wordt een LOPA uitgevoerd?	165
4.4.2	SIL-classificatie	165
4.4.2.1	Werkwijze	166
4.4.2.2	Bepaling van het vereiste SIL-niveau: risicograaf versus LOPA	170
4.5	Kwantitatieve risicoanalyses	171
	<i>Carsten Assmann</i>	
4.5.1	Toepassing van kwantitatieve risicoanalyses	171
4.5.2	Overzicht van de stappen van een QRA	172
4.5.2.1	Onderverdeling van installaties in inluitsystemen	173
4.5.2.2	Inventarisatie van apparatuur	174
4.5.2.3	Bepaling van proces- en omgevingsomstandigheden	176
4.5.2.3.1	Procesomstandigheden	176
4.5.2.3.2	Omgevingsomstandigheden	179
4.5.2.4	Bepaling van representatieve kernebeurtenissen (LOC-scenario's)	179
4.5.2.5	Uitwerking van foutenbomen	181
4.5.2.6	Uitwerking van gebeurtenissenbomen	183
4.5.2.6.1	Uitstroom	185

1

WAT IS PROCESVEILIGHEID?



1. WAT IS PROCESVEILIGHEID?

1.1 Introductie

Jaap de Bruin

De chemische- en procesindustrie in Nederland heeft zich vanaf het begin van de twintigste eeuw sterk ontwikkeld en is in te delen in:

- winning van grondstoffen (zoals olie, gas en zout);
- agro-industrie: de grootschalige bewerking van dierlijke en plantaardige producten (zoals zuivel, meel, biomassa, oliën en vetten, suikers en vezels);
- energie-intensieve activiteiten (zoals de productie van staal en aluminium, energiecentrales);
- bulkchemie (zoals het maken van petrochemische producten, chloor en chloorderivaten, kunstmest, plastics);
- chemicaliën voor individueel of kleinschalig gebruik (zoals schoonmaakmiddelen, cosmetica, verven);
- fijnchemie (zoals het maken van *specialty chemicals*, farmaceutische producten, geur- en smaakstoffen);
- biotechnologische productie.

Dit is een breed palet aan activiteiten. De gemeenschappelijke factor is het gebruik van (hulp)stoffen die potentieel schadelijk zijn voor mens en milieu. Denk hierbij aan reactieve chemicaliën en aan oplosmiddelen, maar ook aan 'gewone' hulpstoffen als stoom en stikstof. In elk van de bovengenoemde sectoren is het onderkennen en beheersen van de risico's van hun procesvoering essentieel.

Een betrouwbare en daardoor veilige procesvoering is niet alleen van groot belang voor de bedrijven zelf en hun directe omgeving, maar voor onze hele samenleving. Bescherming van mens en milieu is een belangrijke voorwaarde om te mogen produceren. Zij vormt de basis voor de zogeheten *licence to operate*. Het is maatschappelijk niet (meer) geaccepteerd dat mens en milieu aanzienlijke risico's lopen ten gevolge van blootstelling aan gevaarlijke stoffen.

Vele personen en instanties zijn betrokken bij de veiligheid van procesinstallaties. Dit zijn niet alleen procesoperators en monteurs in de fabriek en degenen die in de omgeving van de fabriek wonen en werken, maar ook ingenieursbureaus en aannemers die installaties ontwerpen en bouwen, leveranciers van apparatuur en automatiseringsdeskundigen. Eveneens betrokken zijn overheidsinstanties die regels uitvaardigen, de benodigde vergunningen verlenen en toezien op de naleving daarvan. En tot slot degenen die in actie komen als er onverhoopt toch iets misgaat: brandweerpersoneel, bedrijfshulpverleners en – op een iets ander vlak – verzekeraars.