

Full paper

Risico- en veiligheidsmanagement in high-tech-high-hazard sectoren, van Clapham Junction tot Macondo, Deepwater Horizon

Een overzicht van Engels- en Nederlandstalige literatuur. Deel 4: de periode 1988-2010 - de industriële high-tech-high-hazard sectoren

Paul Swuste¹, Coen van Gulijk², Jop Groeneweg³, Walter Zwaard⁴ en Saul Lemkowitz⁵

Inhoud

- 1 Introductie
- 2 Methoden en technieken
- 3 Clapham Junction
- 4 *High-tech-high-hazard*-industrieën
 - 4.1 De aantallen
- 5 Het ongevalsproces en metaforen en theorieën voor high-tech-high-risk ongevallen
 - 5.1 Ongevalscondities en domino-effecten
 - 5.2 Ontwerp en 'defence in depth'
 - 5.3 Complexiteit en socio-technische systemen
 - 5.4 De Zwitserse kaas- en de *bowtie*-metafoor
 - 5.5 De *Drift to danger*-metafoor en de socio-technische benadering van risicomanagement
 - 5.6 De theorieën *Disaster Incubation*, *Normal Accidents* en *High Reliability*
 - 5.7 De menselijke fout
 - 5.8 Risico, risico-acceptatie en kwantitatieve risico-analyse
- 6 Risico- en veiligheidsmanagement
 - 6.1 Definities
 - 6.2 Modellen voor en onderzoek naar risico- en veiligheidsmanagement
 - 6.3 Retrospectief onderzoek
 - 6.4 Veldwerk
 - 6.5 Veiligheidscultuur, lerend vermogen en kwaliteit van inspecties
 - 6.6 Management majeure ongevalsproces, risicomanagement, procedures, regels
 - 6.7 Majeure ongevalsproces, wetgeving
- 7 Blue Water Horizon, Macondo-veld
- 8 Discussie
- 9 Conclusie

Nawoord

Literatuur

Bijlage 1: 'Man-made'-storingen en majeure ongevallen in *high-tech-high-hazard*-sectoren

Samenvatting

Vraagstelling: Wat is de invloed geweest van algemene managementstromingen en van onderzoek naar de oorzaken van ongevallen en rampen op het managen van veiligheid? Binnen welke context heeft deze ontwikkeling plaatsgevonden en wat is de invloed geweest op het veiligheidskundige vakgebied?

Methode: Het literatuuronderzoek heeft zich beperkt tot oorspronkelijke Engelstalige en Nederlandstalige artikelen en documenten uit de wetenschappelijke literatuur in de periode 1988-2010.

Resultaten en conclusies: In deze periode worden bekende theorieën, modellen en metaforen ontwikkeld of heruitgegeven; de *High Reliability Theory*, de heruitgave van *Man*

Summary

Objective: What has been the influence of general management trends and research into causes of accidents and disasters on managing safety? In which context these developments have taken place and what has been the influence on the safety domain?

Method: The literature study is limited to original English and Dutch documents and articles in the scientific press in the period 1988-2010.

Results and conclusions: Well-known theories, models and metaphors have been developed or reissued; the High Reliability Theory, a reissue of Man-made Disasters and its Disaster Incubation Theory, and a reissue the Normal Accident Theory. The Swiss cheese metaphor gets its final

¹ Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft, e: p.h.j.j.swuste@tudelft.nl

² University of Huddersfield, West Yorkshire

³ Universiteit Leiden en TNO

⁴ Opleider en adviseur, Delft

⁵ Product & Proces Engineering, Technische Universiteit Delft

Made Disasters met de *Distaster Incubation Theory* en de heruitgave van de *Normal Accident Theory*. Ook krijgt de Zwitserse kaas metafoor zijn definitieve vorm, wordt de bowtie gepubliceerd en de *Drift to danger*-metafoor. Al deze theorieën, modellen en metaforen benadrukken de organisatorische aspecten van majeure ongevallen in de *high-tech high-hazard* sectoren. Algemene managementstromingen benadrukken het belang van externe stakeholders van bedrijven. Die invloed komt alleen in de *Drift to danger*-metafoor tot uiting.

Organisatie/veiligheidscultuur en risico/veiligheidsmanagement nemen in deze periode een vlucht, zowel in onderzoek als in consultancy-activiteiten bij bedrijven. Of dit veel op zal leveren is de vraag, gezien de onduidelijke relatie met het veiligheidsniveau van bedrijven. Verder laat onderzoek bij bedrijven zien dat er vaak sprake is van *sloppy* management, resulterend in een onvoldoende zicht op mogelijke rampscenario's.

De context van de ontwikkelingen is dynamisch. De terugtrekkende overheid valt samen met een markt- en technologie-ontwikkeling die in conflict kan komen met eisen die op grond van de noodzaak van veiligheid aan *high-tech-high-hazard* bedrijven worden gesteld.

1 Introductie

Dit artikel is onderdeel van een reeks artikelen in dit tijdschrift over de kennisontwikkeling binnen het veiligheidskundige domein. Met kennisontwikkeling wordt in dit verband bedoeld op kennis van ongevalsprocessen en van determinanten en factoren die daar invloed op hebben. De reeks begint met vier artikelen over theorieën, modellen en metaforen vanaf de negentiende eeuw tot eind jaren negentig van de vorige eeuw, waaronder de bijdrage van Heinrich gedurende het interbellum en de introductie van het risicobegrip en de discussies rond risicoperceptie in Nederland (Gulijk et al., 2009; Swuste et al., 2009, 2011; Oostendorp et al., 2013).

In de jaren zeventig van de vorige eeuw komen de zogenaamde '*high-tech-high-hazard*'-bedrijven op, waarbij de procesindustrie al eerder, voor de Tweede Wereldoorlog actief was. In die tijd wordt naast arbeidsveiligheid in toenemende mate in de literatuur aandacht besteed aan procesveiligheid in de chemische industrie en aan betrouwbaarheid van processen binnen de nucleaire sector. Vervolgens verschenen drie artikelen over de ontwikkeling van veiligheidsmanagement en -systemen. Deel 1 behandelde de periode van het einde van de negentiende eeuw tot de bijna-ramp met de Amerikaanse kernreactor op *Three Mile Island* in 1979 (Swuste et al., 2014). Deel 2 schetste de ontwikkeling van de daarop volgende tien jaar, vanaf *Three Mile Island* tot de ramp met het booreiland *Piper Alpha* in de Noordzee in 1988 (Swuste et al., 2015). Deel 3 en dit laatste deel beschrijven de trend in veiligheidsmanagement en veiligheidssystemen in de volgende 23 jaar, van 1988-2010. Van de treinramp nabij het *Clapham Junction*-station

form, the bowtie is published as well as the *Drift to danger* metaphor. All these theories, models and metaphors emphasize the organizational aspects of major accidents in the high-tech high-hazard industries. General management trends highlight the importance of external stakeholders for companies. This influence only is reflected in the *Drift to danger* metaphor

Organization/safety culture and risk/safety management systems take a flight during this period, both in research and consultancy activities for companies. Whether this will have an influence is to be seen, given the unclear relationship with the safety levels of companies. Research findings show many companies suffer from a sloppy management, giving a limited insight into possible disaster scenarios.

The context of these developments is dynamic. A withdrawing government coincides with a market and technology development that may conflict with safety requirements for high-tech-high-hazard companies.

in Londen in 1988 tot het majeure ongeval met het olieplatform *Deepwater Horizon* op het Macondo-veld in de Golf van Mexico in 2010. Omdat het aantal relevante artikelen en documenten in deze laatste periode exponentieel steeg, is gekozen voor een tweedeling. Deel drie geeft de ontwikkeling in de arbeidsveiligheid in deze periode weer (Swuste et al., 2016a). Het huidige deel, deel 4, beschouwt de ontwikkeling in de industriële *high-tech-high-hazard* sectoren. Wanneer in dit artikel wordt verwezen naar de periode van voor 1988, dan is nadere informatie in bovengenoemde artikelen te vinden. Na 2010 zijn volgens de auteurs in de kennisontwikkeling van het vakgebied geen nieuwe ontwikkelingen te signaleren. Onderwerpen uit de huidige discussie van 2010-2017 zullen zijdelings besproken worden. Het artikel is geschreven in de zogenaamde 'historische tegenwoordige tijd'.

Net als bij eerdere delen sluit ook dit artikel af met een overzicht van de ontwikkeling in veiligheidsmanagement, geflankeerd door zowel de ontwikkeling van veiligheidskundige theorieën, modellen en metaforen, als de algemene managementstromingen. De auteurs gaan ervan uit dat de kennisontwikkeling binnen het veiligheidskundige domein en de algemene ideeën over het managen van bedrijven en organisaties een invloed hebben en hebben gehad op veiligheidsmanagement. Zoals voor eerdere artikelen zijn ook voor dit artikel de onderstaande vragen leidend geweest:

1. Welke theorieën, modellen en metaforen zijn voor oorzaken van majeure ongevallen ontwikkeld?

2. In welke mate hebben algemene managementstromingen en kennisontwikkelingen een invloed op het managen van veiligheid in bedrijven?
3. Binnen welke context hebben deze ontwikkelingen plaatsgevonden?

2 Methoden en technieken

Een uitgebreid literatuuronderzoek is de basis geweest voor de beantwoording van de onderzoeksvragen. Het onderzoek is beperkt tot de Engelstalige en Nederlandstalige literatuur, waardoor de ontwikkeling van het veiligheidskundige vakgebied in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië en Nederland de nadruk heeft gekregen. De volgende tijdschriften zijn voor de gehele periode geraadpleegd: *Accident Analysis and Prevention*, *Journal of Hazardous Materials*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *Journal of Occupational Accidents*, *Journal of Safety Research*, *Reliability Engineering & System Safety*, *Safety Science*, *Safety Science Monitor* en het Nederlandse *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap*. Behalve deze tijdschriften zijn de bijna jaarlijkse publicaties van de multidisciplinaire studiegroep 'New Technologies and Work (NeTWork)' geraadpleegd. Referenties uit artikelen zijn nagetrokken uit wetenschappelijke tijdschriften uit de domeinen management, bestuurskunde, sociologie, systeembenaderingen, ergonomie, mens-machine-interacties, cybernetica, crisismanagement en risicoanalyse.

Total Quality Management (TQM), het model van het Instituut Nederlandse Kwaliteit (INK), Six Sigma en Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO) zijn belangrijke managementstromingen uit de periode 1988-2010. Deze stromingen zijn beschreven in het derde deel van deze serie en worden in dit deel niet apart behandeld.

Bijlage 1 en de daaruit samengestelde tabel 1 geven een overzicht van ernstige incidenten en majeure ongevallen die zich hebben voorgedaan in de zogenaamde *high-tech-high-hazard*-sectoren in de behandelde periode. Een heldere definitie van ernstige incidenten en majeure ongevallen is moeilijk te geven. Deze benaming wordt gegeven aan incidenten en ongevallen die niet als arbeidsongeval worden gezien. Het zijn gebeurtenissen die in openbaar toegankelijke overzichten verschijnen met danwel een aanzienlijke materiële schade, danwel een geregistreerde ongevalsmortaliteit en/of –morbiditeit, of een combinatie van beide effecten.

De bijlage en de tabel kennen drie beperkingen. Allereerst zijn de overzichten beperkt tot vijf sectoren: de luchtvaart, de transportsector-treinverkeer, de procesindustrie, up- en downstream olie en gas en als laatste de kernenergiesector. De tweede beperking is geografisch. Alleen gegevens uit Westerse landen, alsmede Japan zijn opgenomen. Deze keuze is een praktische geweest. In die landen zijn de *high-tech-high-hazard*-sectoren ontwikkeld en reeds gedurende een lange periode toegepast. Voor kernenergie is een uitzondering gemaakt. Deze technologie is buiten het Westen op grote schaal toegepast en staat, anders dat de

andere sectoren, onder internationale controle. De aantallen uit de tabel zijn gegroepeerd in zevenjaars periodes. De keuze voor zeven jaar is arbitrair. De laatste beperking betreft de bron van de informatie. Alleen openbaar toegankelijke informatie is geraadpleegd. In de tabel valt op dat in een aantal landen veel informatie openbaar gerapporteerd wordt, ondanks de aanvankelijke weerstand van bedrijven en de angst dat de informatie mogelijk voor terroristische doeleinden bruikbaar is (Belke, 2001). De Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk en Nederland zijn daar voorbeelden van. Landen waar kernenergie een groot tot zeer groot deel van de energievoorziening verzorgt, rapporteren wel maar hoeven deze gegevens niet openbaar te maken. Dat geldt ook voor andere *high-tech-high-hazard*-sectoren. Frankrijk is een voorbeeld van een land waar in de openbare literatuur niet wordt gerapporteerd over nucleaire incidenten en majeure ongevallen. De rapportage van majeure ongevallen in de procesindustrie in België is een ander voorbeeld (Swuste en Reniers, 2016). Voor het overzicht zijn de volgende bronnen geraadpleegd: Chemical Safety Board 1988-2010; Lees, 1996; Rasmussen en Gronberg, 1997; Khan en Abbasi, 1999; Office of Nuclear Regulations 2000-2010; HSE, 2003a; Lees, 2005; Kinnersley en Roelen, 2007; OGP, 2010; Clough, 2009; Abdolhamidzadeh et al., 2011; Mihailidou et al., 2012; Thomson, 2013; Dort, 2014; Kraaijvanger, 2014; Wikipedia, 2016; Zwaailichten, 2016). De bias in de tabel zal per land, per periode en per sector verschillen. De tabel kent een onderrapportage die moeilijk is in te schatten.

In dit artikel ligt de nadruk op de analyse van de kennisontwikkeling, van het inzicht in voorkomende ongevalsprocessen. Veiligheidswetgeving kan een stimulerend effect hebben op beleidsondersteunend onderzoek en is leidend voor bedrijven. Echter, voor dit artikel is de aanname dat de basis voor wetgeving mede wordt bepaald door reeds eerder ontwikkelde kennis. Daarom komen de ontwikkelingen in veiligheidswetgeving slechts af en toe aan bod. Dit artikel is immers niet gericht op beleidsondersteuning, maar op kennisontwikkeling.

3 Clapham Junction

Op 12 december 1988 om 8:10 botst een hogesnelheidstrein van *Poole* naar *Waterloo* tegen een lege trein van *Waterloo* naar *Basingstoke* op het spoorwegknooppunt *Clapham Junction* in *London Wandsworth*. De botsing forceert enkele wagons op het naastgelegen spoor waar op dat moment een trein van *Waterloo* naar *Halsemere* rijdt. Eén derde van de *Poole*-trein wordt verwoest (figuur 1). 600 mensen raken gewond en 35 mensen overleven het ongeluk niet. Het ondenkbare is gebeurd: er is een technische fout in het beveiligingssysteem geslopen. De Engelse spoorwettenwet uit 1871 stipuleert dat er een formeel onderzoek moet worden gestart, waarvan de conclusies naar de staatssecretaris van Transport moeten worden gestuurd. Deze taak rust op de dag na het ongeval op de schouders van advocaat Anthony Hidden (1989). Hidden werkt negen maanden aan de zaak.



Figuur 1 Clapham Junction (Wikipedia)

Hij stelt een team samen, twee technische sub-comités, interviewt 122 personen en schrijft zijn 250 pagina's tellende rapport dat hij op 27 september 1989 overhandigt aan de staatssecretaris. Bij zijn beschrijving van het juridische proces stelt hij duidelijk geïrriteerd vast dat er tijdens zijn onderzoek nog twee ongevallen met botsende treinen zijn voorgevallen. Het eerste is in *Purley Station* in *London, Croydon* op 4 maart 1989. Bij die crash sterven zes passagiers en raken er 94 gewond. De treinmachinist wordt veroordeeld voor doodslag. Het tweede ongeval vindt plaats in *Bellgrove, Glasgow* op 6 maart 1989. Eén passagier en één van de treinmachinisten verloren hun leven.

Het rapport is opvallend mild over de monteur Hemingway, die een losse draad achterliet in een seinpost bij *Clapham Junction*. De losse draad veroorzaakt een valse verbinding, zodat de seinen niet in de gewenste stand staan en de treinen onbedoeld in elkaars blok rijden. Hidden wijst naar British Rail, op dat moment nog een nationaal instituut. Dit instituut houdt onvoldoende onafhankelijk toezicht op het handelen van zijn personeel en past geen corrigerende interventies toe op duidelijk foute of verouderde werkwijzen (zie ook Rasmussen, 1994). Hidden laat geen spaan heel van de manier waarop *British Rail* zijn interne processen organiseert. De veiligheid, een belangrijke exponent van de organisatie, is tot een onacceptabel niveau gedaald.

En er is veel mis in de organisatie op het moment van het ongeval (zie ook Maidment, 1997). De afdeling waar het ongeval plaatsvindt, is in de jaren voorafgaand aan het ongeval vier keer gereorganiseerd; in 1982, 1984, 1986 en 1988. Met de laatste organisatie worden belangrijke veiligheidsposities bekleed door mensen met relatief weinig ervaring met het operationeel testen van beveiligingssystemen. De organisatie worstelt met het aantrekken en behouden van gekwalificeerd personeel. Dit is een probleem doordat de automatisering van de spoorwegsystemen onder grote tijdsdruk verloopt. De communicatie tussen management en de werkvloer is onder de maat. En dat tegen de achtergrond van een moeizaam verlopend moderniseringsproject voor deze regio, waarbij prioritering en politieke drijfveren een efficiënt proces verhinderen. De coup-de-grace is de constatering dat veiligheid weliswaar hoog in het vaandel staat van het bedrijf, maar dat er nauwelijks aandacht voor

is. In dit alles ziet Hidden de devaluatie van de organisatielcultuur van *British Rail*. Traditioneel was de railcultuur gestoeld op competentie, professionele trots en veiligheid. Die cultuur is in de afgelopen jaren veranderd naar een harde financiële business-cultuur waarbij automatisering een belangrijke rol speelt. Dit zorgt voor een situatie waarin het personeel minder betrokken raakt bij *British Rail* en de veiligheid van het spoorbedrijf.

Hidden legt de schuld voornamelijk bij de organisatie. De 93 aanbevelingen voor verbetering zijn voor het merendeel aan het moederbedrijf *British Rail* gericht om zijn organisatie intern beter te regelen. Acht van de aanbevelingen zijn gericht op de overheid, opdat deze een betere toezichhoudende rol kan vervullen en 15 aanbevelingen voor de hulpverleners, die een ondermaatse crisisbeheersing hebben getoond.

De drie centrale doelen die de aanbevelingen beschrijven zijn notoir bekend in het moderne veiligheidsdenken: het aanpakken van de directe technische en organisatorische mankementen van *Clapham Junction*, het beheersen van consequenties van botsingen met beter materieel en het promoten van een betere veiligheidscultuur. In zijn rapport meldt Hidden de introductie van Total Quality Management bij British rail. Deze introductie vindt ingang per 1 januari 1988. Dit is waarschijnlijk de reden waarom Hidden aandacht aan de organisatie besteedt.

4 High-tech-high-hazard-industrieën

Alvorens in te gaan op de kennisontwikkeling van het ongevalsproces van majeure ongevallen in de zogenaamde *high-tech-high-hazard*-sector wordt in dit hoofdstuk eerst een kort overzicht gegeven van de aantallen en de incidenties (nieuwe gevallen) van incidenten en majeure ongevallen in Westerse landen. Hoofdstuk 5 behandelt determinanten die een rol spelen in het ongevalsproces en een aantal dominante veiligheidskundige theorieën, modellen en metaforen. Hoofdstuk 6 beschouwt risico- en veiligheidsmanagement en aanverwante onderwerpen uit de beschreven periode.

4.1 De aantallen

Ernstige incidenten en majeure ongevallen worden in de meeste landen gerapporteerd. Deze incidenten en ongevallen komen niet alleen voor in ontwikkelingslanden of in zogenaamde intermediaire landen voor, maar ook in het technologisch georganiseerde Westen (Shrivastava, 1992). Tabel 1 geeft een overzicht van de aantallen uit vijf verschillende *high-tech-high-hazard*-sectoren: de luchtvaart, de transportsector beperkt tot treinverkeer, de procesindustrie, *up*- en *downstream* olie en gas en als laatste de kernenergie-sector. De tabel is samengesteld uit de informatie van bijlage 1.

De aantallen uit tabel 1 en bijlage 1 zijn moeilijk te interpreteren en te vergelijken, zoals aangegeven in de methoden-en-technieken-paragraaf. In de literatuur wordt

Tabel 1 Aantallen majeure ongevallen in high-hazard-high-tech sectoren, afkomstig uit de openbaar toegankelijke literatuur

	Atlantische Oceaan	Australië	België	Canada	Denemarken	Duitsland	Finland	Frankrijk	Griekenland	Hongarije	Ierland	Italië	Japan	Luxemburg	Nederland	Nieuw-Zeeland	Noorwegen	Noorwegen	Oostenrijk	Portugal	Spanje	UK	US	Zweden	Zwitserland	India	Oekraïne	Rusland	Zuid Korea	TOTAAL
'88-'89 luchtvaart				1	1														1	2										6
'90-'96 luchtvaart	1							2	1			1	3		5	1	1	3		1		2	22	1	1					46
'97-'03 luchtvaart				3		1		2	2			2	1	1	1			1	1	2	3	18		2						40
'04-'10 luchtvaart	1	1		1	2			1	1			3	2		2			1		1	4	9								28
totaal luchtvaart	2	1		5	3	1		5	4			6	6	1	8	1	1	5	1	2	3	10	51	1	3				114	
'88-'89 transport (trein)											2										5	2								9
'90-'96 transport (trein)				2	1	3	1	2					1		3					1	8	19		5						46
'97-'03 transport (trein)		5	1	4		5	1	1	1			2	1		5			1	1	1	5	21		6						61
'04-'10 transport (trein)		7	1	5		3	1	1	2		2	7	2	1	15			1	1	2	7	38	2	1						99
totaal transport (trein)		12	2	11	1	11	3	4	3		2	11	4	1	23			2	2	4	25	80	2	12					215	
'88-'89 procesindustrie			1			2							1						1		2	5								12
'90-'96 procesindustrie						2					1	1	1		3						3	8		2						21
'97-'03 procesindustrie		1				1		2					1		3					3	27									39
'04-'10 procesindustrie		2		1		1							1		4						19									28
totaal procesindustrie		3	1	1		6		2			1	1	4		10				1		8	59		2					96	
'88-'89 up-downstream		1		1					1						1			2			1	12								19
'90-'96 up-downstream		4				1		1	1			1	2		3				1	5	20									40
'97-'03 up-downstream		1				4		2	2						5		1			1	3	34								53
'04-'10 up-downstream		1	1												4			5			1	16								28
totaal up-downstream	1	6	1	5		1		3	4		1	2		13	1	8			2	10	82								140	
'88-'89 kernenergie						1															2				1					4
'90-'96 kernenergie				2									3							1	11			2		4				23
'97-'03 kernenergie				1			2		1				5							14	6			1	1	2	1			34
'04-'10 kernenergie				1			3						3							16	7	1								31
totaal kernenergie				4		1		5	1			11								31	26	1		4	1	6	1		89	

aangenomen dat na Chernobyl (1986) het aantal kerncentrales af zal nemen en daarmee de aantallen incidenten. In mindere mate zou dit, na *Piper Alpha* (1988), ook voor de *offshore* olie- en gasexploratie (upstream) gelden. In de procesindustrie is een dergelijk effect niet zichtbaar. Er is een toename van gevaarbronnen en dat geldt ook voor de transportsector (Kirchsteiger, 1999). Er wordt gesteld dat het aantal industriële organisaties die grote aantallen mensen in gevaar kunnen brengen alleen maar is toegenomen (Roberts, 1990; Baram, 2009). Andere bronnen wijzen op een algehele afname van het aantal majeure ongevallen in het Westen (Khan en Abbasi, 1999; Mihailidou et al., 2012), of dat de aantallen explosies, branden en gerelateerde incidenten variëren over de tijd, maar over een langere periode constant lijken te zijn (Bradley en Baxter, 2002). In alle gevallen blijkt, behalve de onzekerheden in de teller, de noemer het grootste obstakel te zijn. Er was en is geen informatie over blootstelling, of een schatting van het aantal actieve installaties of activiteiten in de *high-tech-high-hazard*-sectoren. Er kan dus geen ratio over tijdsperiodes worden berekend (Kirchsteiger, 1999). Hiermee ontbreekt de basis voor conclusies over een toe- of afname van ernstige incidenten of majeure ongevallen.

5 Het ongevalsproces en veiligheidkundige metaforen en theorieën voor high-tech-high-risk-ongevallen

'Onmogelijke ongevallen', deze term die uit de tweede helft van de jaren 80 van de vorige eeuw stamt, verschijnt ook in deze periode in de literatuur (zie bijvoorbeeld Woods, 1990a). Deze onmogelijke ongevallen zijn op detailniveau specifiek voor de sector waarin ze plaatsvinden omdat de

scenario's – de condities waaronder de ongevallen gebeuren – sectorspecifiek zijn.

5.1 Ongevalscondities en domino-effecten

In de procesindustrie heeft de ramp in Flixborough uit 1974 een grote impact. Procesveiligheid en *management of change* krijgen na deze ramp nóg meer aandacht. Het concept van inherent veilig ontwerp wordt ontwikkeld en er komt nader onderzoek naar de verspreiding en explosie van gaswolken, gezien het onbegrepen desastreuze effect van de emissie van cyclohexaan (Helderslot, 2009). Proces-specifieke gevaren, zoals ongewenste toenames van druk, temperatuur, hoeveelheden, verontreinigingen met katalytische effecten en ongewenste reacties kunnen leiden tot processtoringsen en emissies van toxische of brand- en explosiegevaarlijke stoffen (Pasman et al., 1992; Cates, 1992; HSE, 1993b; Khan en Abbasi, 1999; Joseph, 2003; Dechy et al., 2004; Lees, 1996, 2005; Delvosalle et al., 2006; Pasman, 2009; Kidam et al., 2010). Dat gebeurt ook bij bedrijven met een hoog veiligheidsbewustzijn (zie bijlage 1) en in de *offshore* olie- en gaswinning. Additionele gevaren in deze laatste sector zijn verbonden met het helikoptertransport en de serviceboten (Hovden, 2002).

In de procesindustrie wordt reeds begin jaren '60 van de vorige eeuw het *Loss Prevention*-initiatief gestart, geïnitieerd door de Britse en Amerikaanse instituten van chemische ingenieurs, de IChemE en de AIChE, en de Amerikaanse Dow Chemical Company. *Loss Prevention* heeft drie axioma's en streeft naar technische oplossingen en ontwerpopties om emissies en *loss of containment* te voorkomen of te beperken (Pasman et al., 1992):

1. Een bedrijf dat het verleden vergeet, is gedoemd het te herhalen;
2. Succes in het voorkomen van emissies en loss of containment betekent anticiperen op de toekomst;
3. Een bedrijf is niet in controle bij een onverwachte emissies.

In latere jaren wordt in de wetenschappelijke literatuur aandacht gevraagd voor zogenaamde domino-effecten. Deze effecten kunnen optreden als de ene storing de oorzaak wordt van een volgende storing. Het gevaar escaleert over proceseenheden binnen één bedrijf, of over meerdere aangrenzende bedrijven heen. Een kleine *loss of containment* kan leiden tot een brand in een proceseenheid en vervolgens een explosie veroorzaken in een ander proceseenheid of bedrijf. Bij veel grote procesongevallen blijkt achteraf dat er sprake is van dergelijke domino-effecten (Reniers et al., 2005; Abdolhamidzadeh et al., 2011). Dit vereist een collectieve benadering van een cluster van bedrijven met gevaarlijke stoffen en productielijnen met een gezamenlijk operationeel zogenaamd Cluster Safety Management System (CSMS) (Reniers et al., 2009).

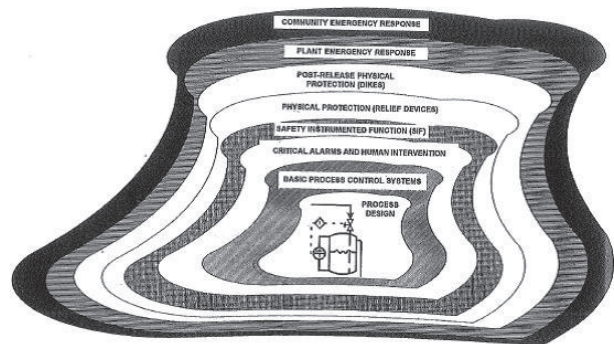
Behalve de sectorspecifieke gevaren duiden analyses van grote incidenten en ongevallen op vergelijkbare typen factoren die in de verschillende sectoren onderdeel zijn van de ongevals- en rampscenario's. Het ontwerp van de technische systemen is daarbij een belangrijke determinant. Andere factoren komen in de volgende paragrafen aan de orde.

5.2 Ontwerp en *defence in depth*

Het ontwerp van een productie- of transportsysteem is regelmatig het startpunt voor een ongevalsproces, waarbij één of meerdere ongevalsscenario's geactiveerd worden. Bij kleinere en minder financieel draagkrachtige bedrijven is er vaak sprake van gemengde technologieën. Het productieproces bestaat deels uit handmatig bestuurde, deels uit afstandsbestuurde en deels uit geautomatiseerde onderdelen. De afstemming tussen deze onderdelen verloopt met horten en stoten en impliceert veelal een eindeloze periode van herontwerp (Poyet en Leplat, 1993). Maar in alle sectoren wordt ook bij grotere bedrijven het ontwerp gezien als een van de mogelijke oorzaken van majeure ongevallen. Aan de andere kant is er vaak een te optimistisch beeld bij ontwerpers van de gebruiksfase en wordt bij ingewikkelde en complexe ontwerpen geen rekening gehouden met menselijke tekortkomingen van werknemers, machinisten, piloten en operators (Roberts en Rousseau, 1989). Bij het onderzoek blijkt dat de ontwerpbijdrage bij majeure ongevallen op kon lopen tot 50-60% (Hale et al., 2007; Kinnarsley en Roelen, 2007; Taylor, 2007; Kidam et al., 2010). Dat kan liggen aan de kwaliteit van het gekozen materiaal of aan slechte ontwerpspecificaties. In de zogenaamde 'slechte jaren' van de luchtvaart (1920-1994) wordt het ontwerp van vliegtuigen überhaupt niet ter discussie gesteld (Amalberti, 2002). De hoge bijdrage van het ontwerp is op zich niet verbazingwekkend. Een ontwerp kan

lang niet alle gevaren in een *high-tech-high-hazard*-bedrijf beperken, daar processtorings soms niet worden voorzien door ontwerpers. Tijdens het ontwerpproces kan de veiligheid in conflict komen met de kwaliteit van het product of de hoge standaarden van de productie (Kjellen, 2002). Verder is veiligheid geen startpunt voor ontwerpers; aan de in wet- en regelgeving geformuleerde veiligheidseisen hoeft pas aan het einde van het ontwerpproces te worden voldaan (Fadier en Garza, 2006; Kjellén, 2007).

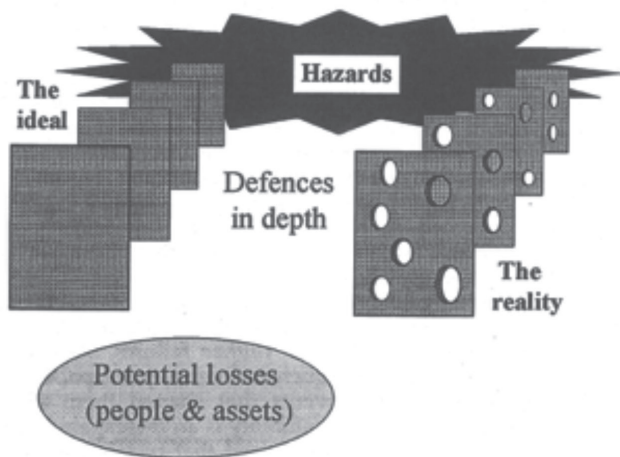
Nauw verbonden aan het ontwerp zijn de zogenaamde '*layers of protection*', of LOPA (figuur 2) uit een ontwerpstrategie in de procesindustrie, gebaseerd op het *defence in depth*-concept. Dit concept is oorspronkelijk uit de militaire sector afkomstig en wordt in de jaren vijftig van de vorige eeuw voor het eerst toegepast in de nucleaire sector en eind jaren tachtig in de procesindustrie (CCPS, 2001; US-NRC, 2016). LOPA bestaat uit meerdere lagen van onafhankelijke veiligheidsbarrières om de mechanische integriteit van de installatie(s) te bewaken en barrières om bij een emissie of loss of containment de consequenties te beperken (Pasman, 2000; Summer, 2003; Dowell, 2011).



Figuur 2 Layers of protection, LOPA (CCPS, 2001)

Op deze wijze kunnen fouten of falen van één laag opgevangen worden door een volgende. Idealiter zijn alle veiligheidsbarrières intact en kunnen scenario's niet tot ontwikkeling komen. In werkelijkheid hebben deze barrières hun zwakheden, weergegeven als gaten in figuur 3. Wanneer het falen van een laag niet wordt opgemerkt door werknemers of operators ontstaat er een probleem: een scenario kan na een processtoring worden geactiveerd, zonder dat het gezien wordt en wordt dan een '*wildness in the wait*'. In de literatuur wordt dit de '*fallacy of defence in depth*' genoemd (Rasmussen, 1988). In de periode van dit artikel worden drie metaforen en drie theorieën van het ongevalsproces in *high-tech-high-hazard*-sectoren uitgebreid in de literatuur besproken.

De definitieve versie van de Zwitsersekaasmetafoor verschijnt in 1997 (Reason, 1997; Reason et al., 2006). In hetzelfde jaar wordt de '*Drift to Danger*'-metafoor, in combinatie met een socio-technisch systeem van het risicomanagement gepubliceerd (Rasmussen, 1997), een jaar later gevolgd door de '*bowtie*', of vlinderdasmafoor (Visser, 1998).



Figuur 3 De ideale en de feitelijke toestand van defence in depth (Reason, 1997)

De belangrijke theorieën zijn de *'Disaster Incubation Theory'* (Turner en Pidgeon, 1997), een heruitgave van *'Man-made disasters'* (Turner, 1978), en een heruitgave in 1999 van de *'Normal Accidents Theory'* (NAT) uit 1984 (Perrow, 1999). Als laatste verschijnt de *'High Reliability Theory'* (HRT) van de Berkeley-groep, waar Roberts al eind jaren zeventig van de vorige eeuw is begonnen was onderzoek naar bijna-ongevalsvrije organisaties (Roberts et al., 1978). Ze wordt wel de moeder van HRT genoemd (Weick en Sutliff, 2001). Voorlopers van deze metaforen en theorieën zijn reeds in eerdere delen van deze serie besproken. In dezelfde tijd verschijnt een aantal spraakmakende boeken, die regelmatig in de wetenschappelijke veiligheidskundige literatuur worden aangehaald. Het betreft de boeken van de politicoloog Sagan (1993) over veiligheidsproblemen met nucleaire wapens tijdens de Koude Oorlog, van de sociologe Vaughan (1996) met een analyse van een ramp met een spaceshuttle en het boek van de bestuurskundige Snook (2000), die een analyse maakt van neergeschoten helikopters. Van de socioloog Hopkins verschijnt een serie boeken over majeure ongevallen: de Moura-mijnramp, de Esso-Longfordexplosie, de BP Texas-ramp en de ramp in de Golf van Mexico (Hopkins, 1999a; 2000; 2008; 2012). Deze laatste ramp wordt aan het einde van dit artikel besproken. Tenslotte is 2004 de start van de tweejaarlijkse workshops van de *Resilience Engineering Association* (REA) (Hollnagel et al., 2006). In al deze publicaties wordt gerefereerd aan de hoge mate van complexiteit binnen de *high-tech-high-hazard*-sectoren.

5.3 Complexiteit en socio-technische systemen

Complexe technologie vereist een complexe besturing waardoor situaties kunnen ontstaan die niet te voorspellen zijn, of indien wel voorspelbaar, niet controleerbaar zijn. Dit is deels het gevolg van het feit dat operators, werknemers of piloten die het proces besturen een grotere afstand staan van het proces zelf. Hun taak wordt door automatisering beperkt tot de diagnose, analyse en beheersing van processtorings bij processen die, bijvoorbeeld in de proces-, nucleaire industrie, of luchtvaart, niet meer direct

zichtbaar zijn of niet meer begrepen worden (Olsen en Rasmussen, 1989; Reason, 1990; Rasmussen, 1991; Hollnagel et al., 1994; Nachreiner et al., 2006; Le Coze, 2011). Dit kan voor een gedeelte het gevolg zijn van de fixatie op arbeidsongevallen, waarbij het management ervan uitgaat dat de trend van dit type ongevallen een indicatie is voor procesveiligheid, daarbij impliciet of expliciet verwijzend naar de veiligheidspiramide of de ijsberg van Heinrich uit 1929. Maar voor een ander gedeelte ligt het aan de automatisering zelf. Automatisering kan knullig zijn uitgevoerd, waarbij onvoldoende rekening wordt gehouden met de uit te voeren taak van machinisten, operators of piloten. Die voorzien de geautomatiseerde functies onvoldoende en onderkennen optredende storingen niet of te laat. Dan worden de zogenaamde automatisering-aangestuurde scenario's actief. (Shepherd, 1989; Amalberti, 1993, 2001; Kirwan, 2001). Automatisering geeft niet zozeer een afname van de incidenties, maar een verandering van het type ongevallen. Een voorbeeld is de ramp met Turkish Airlines bij Schiphol in 2009, die veroorzaakt is door een conflict tussen de geautomatiseerde systemen van het vliegtuig en de piloten (OVV, 2013). Een ander punt is de betrouwbaarheid van werkzaamheden die operators uitvoeren. Bedrijven die hier veel in investeerden, vanuit de gedachte dat een soepel en foutloos verlopen productie tegelijkertijd een veilige productie is, kunnen rampscenario's over het hoofd zien, als hier niet specifiek aandacht voor is geweest (Rasmussen, 1993a).

Complexiteit wordt eveneens veroorzaakt door de verschillende tijdschalen van afdelingen binnen een bedrijf, die essentieel zijn voor het proces, of de productie. Zo hebben werknemers, operators, machinisten en piloten een tijdshorizon van enkele minuten in controlekamers en cockpits. Alle operationele problemen en processtorings op dit niveau moeten binnen die korte tijd opgelost worden, procesparameters moeten worden aangepast en falende procesonderdelen moeten worden opgespoord. Besluiten die over deze onderwerpen worden genomen, kunnen alleen bij de operationele staf liggen en zij moeten op dit niveau alle verantwoordelijkheid hebben. Een ander niveau is het (preventieve) onderhoud van installaties en machines, waar de tijdschaal één of enkele maanden is. Een nog veel langere tijdshorizon heeft een marketingafdeling, die per jaar bepaalt wat en hoeveel er moet worden geproduceerd. Deze verschillen in tijdschaal bemoeilijkt communicatie tussen afdelingen over operationele problemen (Brehmer, 1991; Lees, 2005).

'There ain't a damned thing on this site that cannot hurt you', een uitspraak van een Texaanse *driller* op een olieplatform (Reason, 1997). Het bedrijf heeft een groot bord waar een onwaarschijnlijk hoog aantal ongevals-vrije dagen op staan vermeld. De boodschap is dat het bedrijf veilig is, maar de uitspraak van de *driller* geeft het tegendeel aan. In een technische organisaties binnen de *high-tech-high-hazard*-sectoren is doorgaans weinig aandacht voor de complexe mens-machine-interacties (Kjellén, 2007).

Gevaren van materiaal en installaties zijn met de verschillende veiligheidskundige technieken te achterhalen of te beperken. Daarentegen missen deze technieken organisatorische factoren, zoals zwakke competenties, de leeftijd van installaties, de toenemende wisseling van personeel en de groeiende complexiteit van processen (Knegtering en Pasman, 2009).

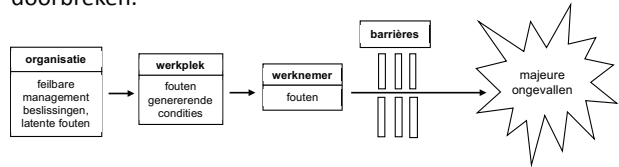
In lijn met de algemene managementstroming worden organisaties opgevat als open systemen die informatie verwerken. Er is in deze periode een toenemende twijfel aan formele rationaliteit van besluitvorming binnen organisaties. Problemen worden nooit uitgediept, acties worden nauwelijks voorafgegaan door een uitgebreide probleemanalyse of een overzicht van mogelijke acties. Rationaliteit is een façade als over doelen, planning, intenties en analyses wordt gepraat en realiteit is een metafoor, een manier hoe mensen in een organisatie een stroom van informatie en ervaringen proberen te begrijpen (Weick en Sutcliffe, 2001). De, tot nu toe slecht begrepen, interacties tussen technische, sociale en organisatorische aspecten van productie- en transportsystemen wordt in de literatuur aangeduid met de term 'socio-technische systemen' (Wilpert, 2002).

De term socio-technische systemen is oorspronkelijk afkomstig uit onderzoek van het fameuze Tavistock-Instituut uit Londen, dat in de jaren vijftig van de vorige eeuw de effecten van automatisering in de Britse kolenmijnen heeft onderzocht (Trist en Bamforth, 1951). De nieuwe technologie verlaagt de productiviteit in plaats van de verwachte toename, doordat de technologie een verandering in de arbeidsorganisatie teweegbrengt. Socio-technische systemen en de daaraan gekoppelde sociotechniek worden in Nederland bekend door socioloog De Sitter, hoogleraar aan de TU Eindhoven en groeit uit tot een beweging die bekend wordt als 'de kwaliteit van de arbeid' in de jaren tachtig van de vorige eeuw (Sitter, 1975). Werknemersparticipatie en het verhogen van de menselijke redundantie, de fourthrestel-capaciteit, in complexe systemen zijn daarbij de speerpunten (Trist, 1981; Clarke, 2005).

5.4 De Zwitsersekaas- en de bowtie-metafoor

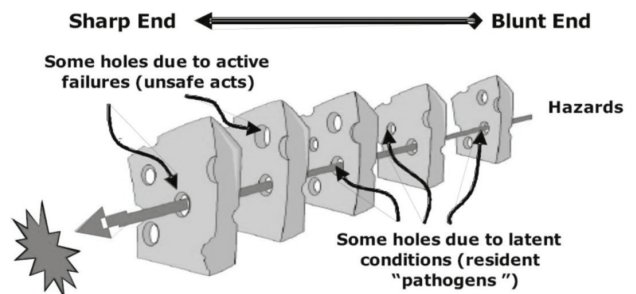
Bij de reconstructie van het proces dat tot een ramp heeft geleid, heeft men enkele typen van fouten ontdekt: grote fouten, kleine fouten en latente fouten. De grote fouten zijn evident, maar vaak hebben grote ongevallen een kleine directe oorzaak (Pasma et al., 1992; Weick en Sutcliffe, 2001), zoals bijvoorbeeld de losse draad bij een seinpost bij Capham Junction (zie hoofdstuk 3), een lekkende pomp bij de Piper Alpha-ramp (Pate-Cornell, 1993), of een verontreiniging die een exotherme reactie start, zoals in de ammoniumnitraatontploffing bij de chemische fabriek AZF in 2001 in Toulouse (Dechy et al., 2004). De latente fouten zijn factoren die foutengenererende condities kunnen scheppen en daarmee kleine directe oorzaken (figuur 4). Hun oorsprong ligt in de bedrijfsorganisatie. Deze latente fouten kunnen lange tijd in een systeem aanwezig zijn zon-

der problemen te veroorzaken, maar worden geactiveerd in combinatie met andere fouten die systeembarrrières doorbreken.



Figuur 4 De route van latente fouten (Wagenaar, 1998; Reason et al., 2006)

Besluitvorming binnen een organisatie wordt bepaald door de context en de beperkingen van besluitvormers, die de neiging hebben om bekende oplossingen voor technische problemen te recyclen (Halpern 1989; Wagenaar et al., 1994; Rosness, 2009). De psycholoog Reason beschrijft ze met de medische metafoor; de residente pathogenen, veroorzaakt door ontwerpers, procedureschrijvers en topmanagers, die de zogenaamde 'blunt end' van een organisatie vertegenwoordigen (figuur 5).



Figuur 5 De Zwitsersekaasmetafoor (Reason et al., 2006; Qureshi, 2007)

Dit is een belangrijke bijdrage van Reason, die de menselijke fout vanuit de Freudiaanse psychologie benadert als onnadenkende vergissingen die iets zeggen over het functioneren van het brein en niet te voorkomen zijn. Hoe complexer een systeem, hoe meer pathogenen (Woods, 1990a; Reason, 1993). In Nederland worden deze latente fouten nader uitgewerkt en samengevat in de bekende basisrisicofactoren van het Tripod-model (Groeneweg, 1992). Reason start zijn onderzoek met een analyse van de onderzoeksrapporten van de brand in het Londense metrostation King's Cross St Pancras (1987) en de roll-on-roll-off-autoveerramp met de Herald of Free Enterprise (1987) in Zeebrugge. Deze majeure ongevallen komen voort uit de slecht begrepen interactie tussen technische en sociale aspecten van de organisatie. Het zijn zogenaamde organisatorische ongevallen. Menselijke en technische fouten alleen zijn niet voldoende om de scenario's in werking te zetten, maar het is een combinatie van meerdere latente factoren die ertoe leidt dat de integriteit van barrières wordt aangetast. De kaasmetafoor is bij veel analyses van ongevallen in de luchtvaart bruikbaar gebleken.

In een review van de metafoor, uitgevoerd in opdracht van Eurocontrol (Reason et al., 2006) wordt het commentaar

erop samengevat. Het betreft de relatie tussen de causale factoren en de positie van de barrières. De gaten zijn nauwelijks gedefinieerd, de barrières zijn onderling afhankelijk en de metafoor legt te veel nadruk op latente factoren binnen de organisatie. Ook manifeste fouten van werknemers of piloten kunnen, volgens de review, dominant zijn voor het ongevalsproces. Hoewel erkend wordt dat de metafoor de complexiteit van het ongevalsproces duidelijk maakt, wordt geconstateerd dat de metafoor het gevaar als zodanig niet expliciet kan maken. De focus op gevaar is een ingenieursonderwerp. Auteurs buiten het technische domein laten de ingenieursaspecten van majeure ongevallen en werkprocessen vaak buiten beschouwing (Rasmussen, 1997). Dat wordt ook duidelijk bij het concept van de barrière. Ingenieurs definiëren barrières als fysieke eenheden die scenario's kunnen stoppen of vertragen. In de metafoor werd het concept barrière opgerekt en omvatte ook immateriële barrières, zoals procedures, menselijke acties, werkvergunningen en andere administratieve routines.

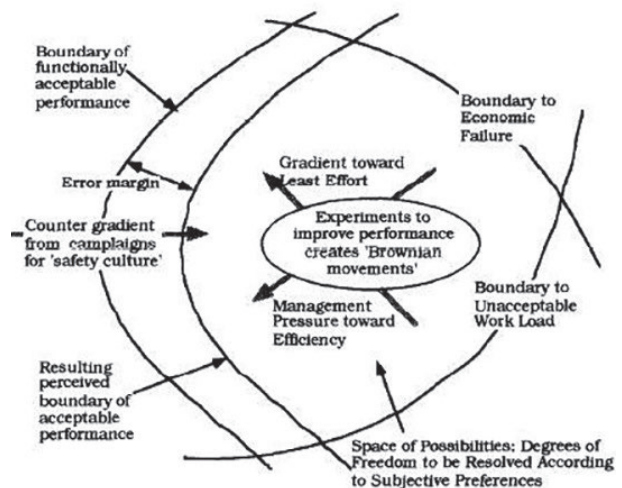
De *bowtie* is een metafoor van het ongevalsproces, gestoeld op een ingenieursbenadering. Behalve in de arbeidsveiligheid (zie deel 3) kent deze metafoor toepassingen binnen de procesveiligheid. Evenals bij de Zwitserse kaas worden barrières gezien als belangrijke elementen die in technische werkprocessen effectief zijn ter voorkoming van explosies en branden. De organisatorische aspecten van majeure ongevallen komen in deze metafoor niet tot uiting in de gaten, zoals bij de Zwitserse kaas, maar in de zogenaamde *'delivery systems'*, de acties van het management om de barrièrekwaliteit te garanderen en te bewaken (Guldenmund et al., 2006). Maar anders dan de Zwitserse kaas gaat de *bowtie* uit van meerdere scenario's die tot consequenties kunnen leiden. En de metafoor introduceert de zogenaamde centrale gebeurtenis, een toestand waarbij het gevaar oncontroleerbaar wordt.

5.5 De *Drift to danger*-metafoor en de socio-technische benadering van risicomangement

In analyses van majeure ongevallen wordt gezocht naar causale factoren, naar scenario's die dominant zijn in ongevalsprocessen. Deze analyses zijn doorgaans zeer lezenswaardig en achterhalen de condities van de ramp of het majeure ongeval. De impliciete aannames van deze analyses, de stopregels van het onderzoek, zijn echter minder duidelijk. Analyses stoppen als een geaccepteerde oorzaak is gevonden en verdere informatie niet meer beschikbaar is. Een andere stopregel is de abnormale, maar bekende omstandigheid die het ongeval redelijkerwijs kan verklaren. Een laatste stopregel is de oplossing: als die wordt gevonden stopt de analyse. De afhankelijkheid van stopregels voor beschikbaarheid, bekendheid en oplossingen maakt de uitkomst van de analyse daardoor sterk afhankelijk van het (voor)oordeel van de onderzoeker en ongevalsanalist. Zeer waarschijnlijk zal een ontwerper, of een operator tot hele andere conclusies komen (Rasmussen, 1991).

In 1997 publiceert de ingenieur Rasmussen de *Drift to*

Danger-metafoor, die nogal afwijkt van de twee eerder besproken metaforen. Zijn benadering van het ongevalsproces is holistisch. Vergelijkbaar met de Zwitserse kaas en de *bowtie* overstijgt ook deze metafoor de klassieke technische en menselijke fouten als oorzaken. Rasmussen staat wantrouwend tegenover de puur psychologische aanpak van de *human reliability assessment*-analisten (HRA), die operators en werknemers als *output devices* zien. Kwantificeren van menselijke fouten is niet zinvol (Le Coze, 2015). Het werkproces met zijn administratieve, functionele en veiligheidsrestricties beperkt het gedrag van de werknemer of operator. Dat gedrag ligt niet vast: er zijn vrijheidsgraden van handelen die variaties mogelijk maken. Die variaties hebben een zekere overeenkomst met de Brownse beweging van gasmoleculen (figuur 6). Een andere factor is de markt, die voor vele sectoren vrij agressief is en door verlies van kennis en procescontrole de kans op majeure ongevallen vergroot.



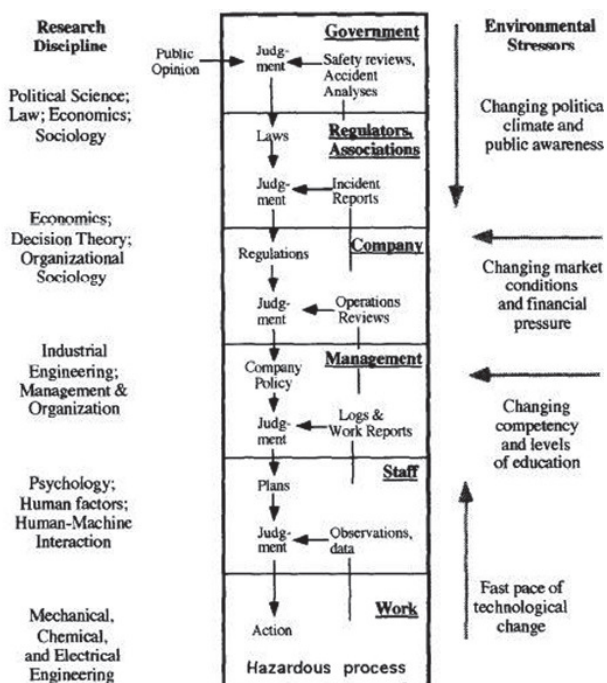
Figuur 6 *Drift to danger* (Rasmussen, 1997)

Met bezuinigingen op het personeel verdwijnt operationele kennis en worden activiteiten als onderhoud en reparaties uitbesteed aan aannemers en onderaannemers (Baram, 1998; Woo en Vincente 2003; Knegtering en Pasman, 2009; Le Coze, 2010). Risico's worden weliswaar zo gespreid voor het bedrijf en economisch kan het voordelig zijn, maar bedrijven kunnen ook de controle over deze werkzaamheden verliezen als er veel verschillende aannemersgroepen op een bedrijf werkzaam zijn. Dit was bijvoorbeeld het geval bij de Toulouse-ramp uit 2001 en heeft ook een rol gespeeld bij het treinongeval bij Clapham Junction (Dechy et al., 2004). Onder druk van de markt waarbinnen een organisatie moet functioneren, zal het management de kosten-efficiëntie van de productie benadrukken en de werkdruk op uitvoerenden vergroten. Dit genereert een negatieve efficiëntie-gradiënt. Het resultaat is een systematische migratie naar de grens van de functioneel acceptabele uitvoering van het werk. Dit leidt tot ongevallen als de grens overschreden wordt. Dit geeft de naam *Drift to Danger* aan de metafoor. De majeure ongevallen van voor 1997 zijn niet door menselijke fouten veroorzaakt, maar door een systematische migratie van

organisatorisch gedrag naar het ongeval onder invloed van kosten-efficiëntie en een agressieve markt (Rasmussen, 1997).

Deze nadruk op de kosten leidt tot onduidelijkheid over de veiligheidsgrens, de grens van de functioneel acceptabele uitvoering van een proces (Svedung en Rasmussen, 1998; Woo en Vicente, 2003). Naast de noodzaak om de grenzen zichtbaar te maken en dan niet alleen van het ontwerp van installaties, maar zeker ook van de mens-machine interacties, kunnen oplossingen gezocht worden door de marges van de normale operatie te vergroten, kan een tegengra diënt ontwikkeld worden en kunnen operators getraind worden in adequaat gedrag wanneer een proces één van de grenzen nadert.

De tweede bijdrage van Rasmussen is de presentatie van het socio-technische systeem waarbinnen risicomangement van een bedrijf moet functioneren (figuur 7). 'Safety science, it's not rocket science, it's much harder'. Dit is de titel van de introereede van Hudson (2010) en figuur 7 laat zien waarom veiligheid in *high-tech-high-hazard*-sectoren zo'n ingewikkeld onderwerp is. Het centrum van de figuur is een actor-analyse van de partijen, betrokken bij de veiligheid van processen en productie, die onderaan in de figuur staan. De wetten, de regels, het bedrijfsbeleid en de veiligheidsplannen die uiteindelijk resulteren in de veiligheidsprocedures en -analyses zijn op alle niveaus onderdeel van onderhandelingen waar juridische argumenten ook bedrijfseconomische en productie-argumenten hun invloed hebben. Aan de linkerkant van de figuur staan de verschillende disciplines en wetenschappelijke domeinen die per actor vat hebben op de output van de actor. Rechts



Figuur 7 het socio-technische systeem voor risicomangement (Rasmussen, 1997)

staan de verschillende factoren die de dynamiek van het socio-technische systeem bepalen. De snelle technologische veranderingen en de wisselende marktcondities zijn factoren die het meest direct op bedrijfsniveau hun invloed laten gelden. Managementstructuren passen zich veel langzamer aan veranderende condities aan en dat geldt helemaal voor wetgeving.

Er wordt wel gesteld dat een tweede-generatie managers een vijfde-generatie technologie moet besturen, refererend aan de eerder genoemde complexiteit. Marktonwikkelingen kunnen tot gevolg hebben dat bijvoorbeeld banken en investeerder(s) bedrijven en organisaties besturen die geen enkele binding met de sector hebben. (Rasmussen, 1997; Le Coze, 2015). Wat figuur 7 eveneens duidelijk laat zien zijn de gescheiden wetenschappelijke disciplines, die onderling slechts beperkt communiceren, of gezamenlijk onderzoek starten. Dat laat zich duidelijk zien in het eerder genoemde verschil in onderzoeksfocus tussen sociologisch, organisatorisch en management- onderzoek aan de ene kant en technisch en ingenieursonderzoek aan de andere kant. In het verlengde hiervan pleitten Rasmussen (1994) en ook Hale en co-auteurs (1997) voor cross-disciplinaire studies om veiligheidsmanagement te modelleren volgens functionele abstracties in plaats van een structurele ontleding, waar de aandacht niet op de menselijke fout ligt, maar op gedragsbepalende mechanismen van beperkingen van het werksysteem en grenzen van een acceptabele uitvoering van processen.

5.6 De theorieën: Disaster Incubation, Normal Accidents en High Reliability

De heruitgave van *Man-made disaster* van de socioloog Turner en de psycholoog Pidgeon (1997) valt, misschien niet toevallig, in dezelfde periode als voorgaande metaforen en de andere theorieën. In de literatuur wordt de theorie aangeduid als de *Disaster Incubation*-theorie, daar het concept van de incubatietijd van een ramp een centraal begrip van het boek is. Deze theorie baseert zich op een meta-analyse van rapportages van de Britse overheid van grote ongevallen in verschillende sectoren, waaronder verschillende industriële sectoren, de transport- en recreatiesector en de medische en publieke sector.

Voorafgaande aan een ramp maken diverse procesverstoringen het productiesysteem kwetsbaar, waarbij aanvankelijk verborgen fouten en slecht begrepen gebeurtenissen zich blijven voordoen en niet overeenkomen met het bestaande geloof in gevaren en wat de organisatie als normaal beschouwt. Deze storingen en fouten zijn niet at random, maar zijn het gevolg van het systeem waar ze deel van uitmaken en openbaren zich als slecht gestructureerde verrassingen (Turner, 1989; Vuuren, 1998). Rampen zijn, volgens de auteurs, een bijproduct van normaal functionerende uitgebreide management- en technische systemen. Sommige rampen zijn het gevolg van slecht management of onprofessioneel gedrag, maar de meest rampen, 70-80%, hebben een sociale, administratieve of managementoor-

sprong; de resterende oorzaken zijn technisch. Het collectief falen van de kennis van de organisatie en de misvattingen over risico's, veroorzaakt door een gebrek aan informatie en onderschatting van gevaren, zijn de ingrediënten van de incubatieperiode van een ramp. Het ongeval zit eraan te komen en het management heeft het contact met de operationele werkelijkheid verloren. 'Sloppy' (slordig) management doet zijn intrede in de literatuur (Turner, 1994; Turner en Pidgeon, 1997).

In drie boeken van Hopkins is de *Disaster Incubation*-theorie met succes gebruikt bij de analyse van rampen. De eerste is de ramp bij de BHP-kolenmijn in Moura, Queensland, Australië in 1994, waar bij een explosie elf mijnwerkers het leven verliezen (Hopkins, 1999a). De tweede ramp is de explosie in een Esso-gasfabriek in Longford, Victoria, Australië, waar twee operators overlijden en acht gewond raken (Hopkins, 2000). Het management van de fabriek met zeer weinig arbeidsongevallen is ervan uitgegaan dat hierdoor de procesveiligheid voldoende is gewaarborgd. De consequentie van Longford is, behalve de slachtoffers, vrij ernstig voor de Melbourne-regio, waar in het najaar de gastoevoer geblokkeerd is. Het onderwerp van het derde boek is de ramp van BP Texas uit 2005 (Hopkins, 2008). Alle rampen zijn onderwerp van uitgebreid overheidsonderzoek en van juridische procedures, informatie die de basis is voor Hopkins' analyse. Hieruit blijkt onder andere dat, naast de invloed van *sloppy* management, de overheidsinspecteurs bij de Moura-mijn ingekapseld zijn door de industrie en bij de ramp in Longford, waar de schuld van de explosie bij de operators wordt gelegd, de inspecteurs geen match zijn voor de experts van Esso.

Het probleem met onverwachte storingen en de verborgen fouten in deze theorie, die veel overeenkomst heeft met de latente factoren uit de Zwitsersekaasmetafoor en de Tripod-analyse, is de zogenaamde '*hindsight bias*', een bekend mechanisme bij retrospectief onderzoek. Achteraf zijn de factoren altijd duidelijk, maar op het moment dat de ramp zich voltrekt, is dat allerm minst het geval: voor de betrokkenen is de ramp een raadsel en heerst de chaos. Zelfs bij de best gerunde organisatie kunnen achteraf beslissingen foutief blijken (Reason, 1990).

De socioloog Perrow (1984) is de vader van de *Normal Accidents*-theorie. Vlak voor de eeuwwisseling verschijnt een herdruk van het boek (Perrow, 1999). De theorie is een technologisch deterministische benadering van majeure ongevallen, waarbij de technologie ontsnapt aan de controle van de organisatie. De theorie is gestoeld op een meta-analyse van een groot aantal ongevalsrapportages uit industriële sectoren, het leger, de transportsector en onderzoeksinstellingen. De naamgeving van de theorie verwijst naar de majeure ongevallen die ontstaan in normale organisaties met normale mensen. Door de complexe, interactieve processen en de strakke koppeling van processtappen zijn deze ongevallen onvermijdelijk geworden en niet meer te voorzien door ontwerpers, of te begrijpen door

operators, werknemers, machinisten, piloten, of managers. Er zijn een paar potentiële conflicten in de besluitvorming en besturing van dergelijke systemen. De complexiteit van de technologie vereist dat werknemers noodzakelijkerwijs het proces moeten leren door fouten te maken. De strakke koppeling van de processtappen, waardoor er geen tijd is om fouten te herstellen, staat op gespannen voet met de *trial & error*-aanpak van bedieners om de technologie te leren begrijpen. Complexiteit vereist een decentrale besturing en besluitvorming om adequaat te kunnen reageren op onverwachte gebeurtenissen. Een strakke koppeling tussen processtappen vereist daarentegen een centrale besturing en besluitvorming en die twee tegengestelde eisen aan besturing veroorzaken een probleem (Perrow, 1994; Rijpma, 1997).

De theorie biedt twee mogelijke routes om normale ongevallen te voorkomen. In beide gevallen is sprake van redundantie. Dat kan zowel gezocht worden in de mate van koppeling, die kan van strak naar los worden getransformeerd, als in de complexiteit van de technologie, door deze minder complex te maken. Dit zijn in vele gevallen slechts theoretische oplossingen en het zal niet voor ieder *high-tech-high-hazard*-proces mogelijk zijn, nog afgezien van het feit dat dergelijke transformaties zeer kostbaar zullen zijn. De *Normal Accidents*-theorie was een reactie op de analyse van de *Presidential Commission* (1979) van de bijna-ramp van de kerncentrale Three Mile Island, waar de menselijke fout als belangrijkste oorzaak wordt aangewezen. Volgens Perrow is de situatie ten tijde van de storing in het koelsysteem van de reactor veel te complex voor de operators. In de eerste helft van de jaren '80 van de vorige eeuw is de aandacht voor veiligheidsmanagement nog vrij rudimentair. Aandacht voor latente factoren en feilbare beslissingen van het management is van latere datum. Vandaar dat de theorie geen uitspraken doet over de kwaliteit van het management. De publicatie van Perrow kan ook opgevat worden als een politiek statement tegen hoogrisico-technologieën (Rijpma, 2003). Door de opkomende aandacht voor veiligheidsmanagementsystemen wordt gaandeweg getwijfeld aan de houdbaarheid van de *Normal Accidents*-theorie en worden oorzaken gezocht in de manier hoe bedrijven en organisaties hun veiligheid hebben georganiseerd (Orton en Weick, 1990; Hopkins, 1999b, 2001; Shrivastava et al., 2009).

Net als de *Disaster Incubation*-theorie is de *High Reliability*-theorie strikt genomen geen ongevalstheorie, maar een theorie over het functioneren van en eigenschappen van *high-tech-high-hazard*-organisaties. Anders dan bij de andere metaforen en theorieën vormen uitgebreide observaties en veldwerk, de zogenaamde etnografische benadering, de basis voor de *High Reliability*-theorie. Hoewel de start van de theorie al in de tweede helft van de jaren '70 van de vorige eeuw lag, verschijnen de publicaties over onderzoek bij de Amerikaanse *Federal Aviation Administration* luchtverkeersleiding, de *Pacific Gas and Electric*, de *Diablo Canyon*-kerncentrale in California en US Navy's vliegdekschepen in de periode van dit artikel. In latere jaren

wordt onderzoek uitgevoerd bij de brandweer, gezondheidszorg, onderzeeërs, de petrochemie, de luchtvaart, het elektriciteitsnetwerk en bij banken (La Porte en Consolini, 1991; La Porte en Thoman, 1995; Roberts, 1989, 1990; Roberts en Rousseau, 1989; Rochlin et al., 1987; Rochlin, 1989; Weick, 1989a,b 1991, 1993; Weick en Roberts, 1993; Halpern, 1989). Het onderzoek is interdisciplinair: Gene Rochlin is natuurkundige, Karlene Roberts psycholoog, Karl Weick sociaal psycholoog en Todd La Porte politicoloog. In deze organisaties worden complexe, inherent gevaarlijke en technisch hoogwaardige taken uitgevoerd met een zeer strakke mens-machine-koppeling onder een zware tijdsdruk. Het werk zit zowel op de grens van het ontwerp als van de menselijke prestaties. De bestaande organisatiethorieën kunnen geen verklaring geven van het feit dat deze organisaties vrijwel ongevals-vrij opereren. Het onderzoek start vanuit de theorie van Perrow, die onder deze condities majeure ongevallen voorspelt. De organisaties doen echter veel meer dan zich richten op de klassieke fixatie op gevaar en op de minimalisatie van risico's (Rochlin, 1999; Swuste en Jongen, 2011). Er is redundantie in meerdere opzichten, zowel organisatorisch, technisch als qua besluitvorming. De organisatorische redundantie impliceert dat als één ploeg dreigt te falen in een veiligheidskritische taak een andere ploeg de taak overneemt, of bij topdrukte worden meerdere ploegen of meerdere experts ingeschakeld, bijvoorbeeld de 'extra ogen' bij de radar van de luchtverkeersleiding tijdens spitsuur. De technische redundantie is het reservemateriaal en -materieel. De organisatie verzamelt een grote hoeveelheid informatie als kritieke besluiten genomen moeten worden en tijdens de besluitvorming geldt een continue cross-check van kritische beslissingen. De organisatie compenseert op deze manier voor de menselijke beperkingen en zit ruim in de financiële middelen. Deze *High Reliability Organizations* (HRO) opereren in onstabiele omgevingen. De Diablo Canyon-kerncentrale staat op een breuklijn, de vliegdekschepen hebben te maken met vijandelijke aanvallen en net als de luchtverkeersleiders met wisselende weersomstandigheden. Een officier van een vliegdekschip formuleert het als volgt:

So you want to understand an aircraft carrier? Well, just imagine that it's a busy day, and you shrink San Francisco Airport to only one short runway and one ramp and gate. Make planes take off and land at the same time, at half the present time interval, rock the runway from side to side, and require that everyone who leaves in the morning returns that same day. Make sure the equipment is so close to the edge of the envelope that it's fragile. Then turn off the radar to avoid detection, impose strict controls on radios, fuel the aircraft in place with their engines running, put an enemy in the air, and scatter live bombs and rockets around. Now wet the whole thing down with salt water and oil, and man it with 20-year-olds, half of whom have never seen an airplane close-up. Oh, and by the way, try not to kill anyone. Senior officer, Air Division (Rochlin et al., 1987)

De belangrijkste dreiging voor HRO's is de klassieke ingenieurshouding, die een hogere waarde hecht aan kwantificeerbare, meetbare, harde, objectieve en formele kennis en een lagere waarde aan kennis op basis van ervaring (Weick en Sutcliffe, 2001). De HRO's hebben een aantal unieke kennis- en gedragselementen: allereerst een onduidelijke en bijna volledige kennis van het technische en organisatorische systeem en consequenties van falen voor het hele systeem door een permanente training van gevaarlijke taken. De complexiteit van de techniek en de organisatie wordt door iedereen begrepen. Dit geeft een bijna foutvrije uitvoering van zowel het personeel als de installaties. Een voorbeeld is de *spotter*, de junior op een vliegdekschip. Deze kan de landing van een vliegtuig afbreken als naar zijn oordeel het risico op een crash te groot is. Een ander voorbeeld zijn operators van de kerncentrale. Als die naar de controleschermen kijken, dan zien zij de fabriek en niet alleen de getallen op het scherm. Ten tweede de foutenregimes, waarbij kleine afwijkingen van de operationele norm van machines en operaties worden herkend. Foutrapportages worden beloond, er is geen schuldvraag voor een operator die een fout maakt en slecht nieuws gaat naar boven. Zonodig wordt bijvoorbeeld de *Standard Operational Procedure* bij vliegdekschepen aangepast. Ten derde de onduidelijke regimes voor de specificatie van systeemfouten. Als er problemen zijn, dan vormen zich organisatorische netwerken die zelf-ontworpen en niet geformaliseerd zijn. Is het probleem opgelost, dan lost het netwerk zich op. Zo kan de organisatie gemakkelijk wisselen tussen een centrale en decentrale besluitvorming. Besluitvorming wordt naar het laagste niveau gebracht waar de problemen zich voordoen.

In de literatuur zijn een paar discussies ontstaan. Eerst rond de vraag of de *Normal Accidents*-theorie na de *High Reliability*-theorie nog wel bestaansrecht had (Sagan, 1993; Vaughan, 1996; Rijpma, 1997, 2003; Shrivastava, 2009). En vrij recent is daar een discussie aan toegevoegd in *Safety Science* over het onderscheid tussen *High Reliability* en *Resilience Engineering* (Haavik et al., 2016; Garbowski en Roberts, 2016; Le Coze, 2016; Pettersen en Schulman, 2016).

In de *Normal Accidents*-theorie spelen acties van het management van de betreffende bedrijven en organisaties geen rol. Of anders gezegd, deze acties zullen geen invloed hebben op het ontstaan van majeure ongevallen. Deze zijn immers onvermijdelijk als in de technologie de complexiteit hoog en de koppeling strak is. De *High Reliability*-theorie gaat uit van het tegendeel en laat zien dat bedrijven en organisaties met voldoende redundantie op verschillende niveaus majeure ongevallen kunnen voorkomen. Het dilemma in de *Normal Accidents*-theorie van een decentrale en centrale besluitvorming is daar een voorbeeld van. Dit wordt in de *High Reliability*-theorie ondervangen door de zelf-ontworpen netwerken, die ten tijde van gevaarlijke situaties decentraal opereren. Omdat lang niet alle *high-tech-high-hazard*-bedrijven als *High Reliability*-organisaties

zijn georganiseerd, is in de literatuur voorgesteld dat beide theorieën als complementair beschouwd moeten worden.

In twee boeken, van Sagan (1993) en Vaughan (1996) worden beide theorieën gebruikt in de analyses. Sagan heeft onderzoek gedaan naar de *near misses* van het Amerikaanse nucleaire wapensysteem tijdens de koude oorlog. Deze *near misses* zouden gemakkelijk kunnen escaleren tot grootschalige nucleaire catastrofes. Het onderzoek is gericht op de Cuba-crisis uit 1962 en op een luchtvaart ongeval nabij Thule, Groenland, waar een B-52 bommenwerper met een waterstofbom aan boord is neergestort in de Baffinbaai. De conclusie van het onderzoek is dat een complex systeem, als dat van nucleaire wapens, het onmogelijk maakt om adequaat te anticiperen op iedere noodsituatie, zowel door de hogere als de lagere niveaus in de organisatorische hiërarchie. Complexiteit ondermijnt de betrouwbaarheid van de beslissing en effectieve correctie van initiële fouten. De *Normal Accidents*-theorie geeft, volgens de auteur, de beste verklaring voor de onderzochte incidenten, ondanks de aanwezigheid van *High Reliability*-strategieën. Het tweede boek, van Vaughan, analyseert de achtergronden van de ramp met de Challenger uit 1986. Iets meer dan een minuut na de lancering desintegreert het ruimteveer (figuur 8). De technische oorzaak is een defecte rubberen O-ring die de buitenste afdichting vormt tussen het onderste deel en de rest van de stuwaket. Deze O-ring is niet bestand tegen de lage temperatuur van 2°C op het moment van de lancering. In de jaren '60 van de vorige eeuw was NASA een cultureel icoon, een machtige organisatie. Tijdens het presidentschap van Reagan wordt deze positie verzwakt, is er veel minder geld beschikbaar en domineren de productiedoelen de ruimtevluchten, die na veel minder tests operationeel moesten zijn. Dit resulteert in de overtreding van regels en procedures. Kritische informatie bereikt niet de hoogste lagen van de hiërarchie en er is sprake van een zogenaamde 'normalisatie van afwijkingen'. Hoewel de NASA oorspronkelijk gekarakteriseerd kon worden als een *High Reliability*-organisatie, is ze dat in de jaren '80 van de vorige eeuw niet meer.



Figuur 8 Het iconische beeld van het desintegrerende ruimteveer Challenger (Wikipedia)

En volgens de auteur is de ramp een *normal accident*, een sociaal georganiseerd risico, gevoed door een omgeving van beperkingen, competitie, een grote productiedruk en bezuinigingen. Een derde boek maakt de vergelijking eveneens. Snook (2000) heeft een majeur ongeval uit 1994 onderzocht, waar twee Black Hawk helikopters in Noord-Irak door eigen F-15 straaljagers worden neergeschoten. In de analyse wordt het begrip '*practical drift*' geïntroduceerd, een concept dat gelijkenis vertoont met de normalisatie van afwijkingen van Vaughan en lijkt op de '*Drift to Danger*' van Rasmussen. Deze *practical drift* ontstaat wanneer opgestelde regels niet meer overeenkomen met de situatie waarop ze van toepassing zijn. Het gedrag van, in dit geval piloten, verandert, past zich aan en de regels worden niet meer van toepassing. Het gevolg is dat de feedback en de coördinatie van deze verandering afwezig zijn tussen een AWACS-vliegtuig, de piloten van de straaljager en van de helikopters, waardoor de helikopters als vijand gezien konden worden. Ook buiten deze casus geldt dat, hoe strakker de regels zijn, hoe groter de kans op een *practical drift* (zie ook Amalberti et al., 2004).

Een andere benadering van veiligheid komt naar voren in de eerste *workshop* van *Resilience Engineering*, die in 2004 in Zweden werd georganiseerd. Terwijl traditioneel veiligheidskundig onderzoek zich richt op de gevaren en de fouten van mensen, installaties en systemen, wordt nu aandacht gevraagd voor herstel mogelijkheden, naar oorzaken waardoor het veel vaker goed afloopt dan slecht. Er wordt van uitgegaan dat de mechanismen achter falen dezelfde zijn als bij succes. Die mechanismen vinden hun oorsprong in de variabiliteit van de uitvoering van taken, processen etc. Mensen handelen nooit constant en die variatie kan een bron zijn van zowel een positieve, geaccepteerde als van een nadelige uitkomst. Later wordt dit beeld in een model verwerkt, met *Safety I* en *Safety II* als de twee tegengestelde benaderingen van veiligheid. *Safety I* correspondeert met de klassieke benadering, de aandacht voor fouten, voor processtoringen of slecht functionerende procesonderdelen. Er wordt gezocht naar afwijkingen van procedures, *work-as-imagined*. *Safety II* is een toestand waarbij een systeem zich weet te herstellen onder wisselende omstandigheden en voor het overgrote deel van de tijd foutloos functioneert. *Work-as-done* is het uitgangspunt. In dat opzicht is de overeenkomst tussen *Resilience - Resilience Engineering* en *High Reliability* groot. Beide theorieën hebben geen aandacht voor fouten of falen, maar voor mechanismen die een werksysteem stabiel houden. De constatering over de overeenkomsten hebben een paar auteurs expliciet geuit (Hale en Heijer, 2006; Hopkins, 2014). Het grote verschil is de herkomst van de concepten. *Reliability* komt uit de hoek van de sociale wetenschappen en *Resilience* en *Resilience Engineering* uit die van de ingenieurs. De onderzoekers publiceren in hun domein-eigen wetenschappelijke tijdschriften.

5.7 De menselijke fout

De menselijke fout, die in eerdere periodes een dominante rol speelt in ongevalsanalyses, is in deze periode naar de

achtergrond verdwenen. In geen van de metaforen en geen van de theorieën worden deze typen fouten als onderdeel van het ongevalsproces expliciet genoemd. Gedrag heeft een andere invulling gekregen. In de *high-tech-high-hazard*-sectoren met geautomatiseerde processen is gedrag in deze dynamische socio-technische omgeving niet te begrijpen uit een taakvolgorde, of aan een correcte of rationele uitvoering van het werk. Het gedrag van uitvoerenden en managers is een resultante van de factoren van de omgevingscontext (Rasmussen, 1990; 1993b, 1997; Wilpert, 2009). Die context is niet altijd stimulerend. Operators zijn door de automatisering van processen verplaatst naar controlekamers op afstand en krijgen meer informatie te verwerken op een hoog of te hoog abstractieniveau. Het werk, het besturen van potentieel gevaarlijke installaties kan zo meer op een computergame gaan lijken, terwijl potentieel gevaarlijke processen moeten worden bestuurd (Mostia, 2010). Aan de andere kant doen operators wat ze altijd doen: ze negeren kleine afwijkingen zonder een volledig overzicht te hebben. Vaak moeten ze reageren op situaties die niet door procedures zijn gedekt, of die sowieso onduidelijk zijn. Automatisering is betrouwbaarder, maar vaak moeilijk te begrijpen en vereist een (te) grote mentale capaciteit van de operator. De tijd om een complex systeem te leren bedienen is altijd veel korter dan de tijd om te begrijpen hoe het systeem functioneert. (Rasmussen en Vincente, 1989; Brehmer, 1993; Hollnagel et al., 1994; Dien, 1998). En wat vroeger fouten worden genoemd, zijn in deze omgeving op te vatten als pogingen van uitvoerenden om het complexe systeem te leren begrijpen.

5.8 *Risico, risico-acceptatie en kwantitatieve risico-analyse*

Een risico is een meetbare onzekerheid van verlies en dat hoeft niet altijd negatief te zijn. Een bepaalde mate van verlies van controle geeft bij gewaagde sporten de beoefenaars een adrenalinekick. En verder leren mensen door risico's te nemen. Dat wordt nog wel eens vergeten. Een mens is niet alleen '*homo prudens*', de voorzichtige mens, strevend naar een zo-laag-mogelijke-*risico* omgeving, maar net zo goed '*homo aleatorius*', de gokker, de dobbelaar, de risiconemer (Breivik, 2010).

In de *high-tech-high-hazard*-sectoren ligt dat anders en zijn risico's verbonden met de verschillende gevaren van productie- of transportprocessen. Die gevaren hebben een zekere waarschijnlijkheid dat ze zich openbaren, dat majeure ongevals-, of rampprocessen worden geactiveerd en dat blootstelling tot consequenties of verlies leidt. Blootstelling en variaties van blootstelling zijn echter concepten die binnen de veiligheidskunde weinig tot ontwikkeling zijn gekomen, in tegenstelling tot in de arbeidshygiëne. In het interbellum wordt het begrip door DeBlois in 1926 in de veiligheidskundige literatuur geïntroduceerd. In navolging van DeBlois stellen zowel Rowe (1988) als Lees (2005), dat reductie van blootstelling aan gevaar één van de mogelijke preventiestrategieën is.

Er zijn zeer veel verschillende definities van risico (Vlek, 1990). Een eenvoudige definitie is die van Rowe (1988):

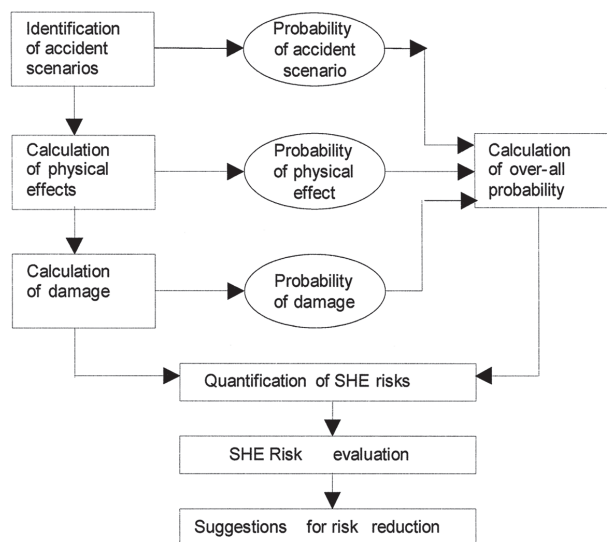
Risk is the potential for realisation of unwanted, negative consequences of an event

Nog los van de waarschijnlijkheid van de gebeurtenis, zijn er veel manieren om de consequentie of het verlies als gevolg van de gebeurtenis te meten (Aven, 2012). Het kan gaan om de kans op mortaliteit (aantallen doden), op de aantallen gewonden door ongevallen of morbiditeit door (beroeps) ziekten, op schade aan eigendommen, op verkorte levensverwachting, op verloren inkomen door verkorte levensverwachting of op schadeclaims van verzekeringsmaatschappijen. Doorgaans worden de berekeningen beperkt tot mortaliteit, soms aangevuld met morbiditeit, zoals in bijlage 1, en soms ook met de kosten van de schade. Ook de mortaliteit kan op veel verschillende manieren worden weergegeven en worden uitgedrukt in aantal doden in vergelijking tot de algemene (nationale, of regionale) bevolking, tot een gedefinieerde risico-populatie, tot per ton geëmitteerde, geabsorbeerde, of geproduceerde gevaarlijke stoffen, of tot per miljoen euro's/dollars geproduceerde producten. Dat levert iedere keer weer andere getallen op (Slovic, 1999). Technische experts drukken een risico het liefst in een getal uit, waardoor het concept een wetenschappelijke en objectieve uitstraling krijgt. De subjectieve risicobeleving van de niet-experts worden daarmee ondergewaardeerd. De Gezondheidsraad waarschuwt hiervoor in haar advies aan de overheid: 'Risico heeft vele dimensies en is niet in één getal te vangen'. 'Een te ver doorgevoerde kwantificering van risicokenmerken tot één risico-expressie is contraproductief en roept veel vragen op' (Gezondheidsraad, 1995, 1996). De technische framing van risico reduceert de rol van de burger tot een van vertrouwen of wantrouwen van experts. Voor experts is risico een technische inschatting van een sterftkans. Voor de niet-experts, de burgers, zijn andere karakteristieken van gevaar en risico relevant. Behalve de onevenredige verdeling van risico's, de voordelen en de mate van controle ervan, spelen ook andere argumenten een rol. Voorbeelden zijn de potentie voor een catastrofe, of de dreiging voor de toekomstige generatie, of de onzekerheden van de berekening. De statistische benadering van risico's is voor de burger niet overtuigend. Voorstanders van de formele risico-benadering zien de intuïtieve reacties van burgers als irrationeel gedrag. Risico wordt beschouwd als een product van het 'gevoel'.

Er komt kritiek, onder ander vanuit Science & Technology Studies op de risicoberekeningen en daarmee op superioriteit van de wetenschappelijke kennis (Rowe, 1988; Sharlin, 1989; Shrader, 1990; Allen et al., 1992; Slovic, 1993, 1998; Slovic et al., 2004; Simpson, 1996; Hermansson, 2005; Hermans et al., 2012; Lidskog en Sundqvist, 2012). Dat is mede gestoeld op de risicovergelijkingen die worden gemaakt om de lagere risico's van industriële activiteiten naast de hogere risico's uit het dagelijkse leven te plaatsen, vergelijkingen die om bovenstaande redenen voor burgers niet

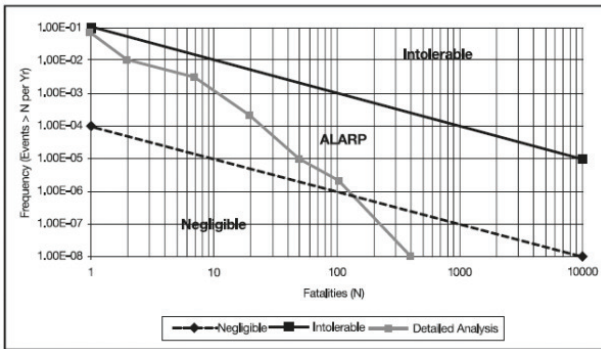
overtuigend blijken te zijn. De strategie van de voorstanders van de formele risicobenadering laat een duidelijke ontwikkeling zien. Bij discussies over de hoogte van een risico wordt allereerst gestart met een inspanning om de getallen correct te krijgen. Vervolgens wordt gecommuniceerd over de getallen en uitgelegd wat deze betekenen. Om dit duidelijk te maken worden de eerder genoemde vergelijkingen met dagelijkse, hogere risico's gemaakt en geaccepteerde risico's uit het verleden. Toen dat mislukte werd ingezet op een respectvolle benadering van burgers en om hen zoveel mogelijk partner te maken (Fischhoff, 1995). Wat uit de discussies duidelijk wordt, was dat risico's waarde bepaald zijn. Gevaren zijn reëel, risico's zijn een construct binnen een sociale en historische context die de betekenis van risico's bepalen. Er bestaat geen universele benadering van risico. Als tegenbeweging komt de aandacht voor het zogenaamde voorzorgsprincipe en –beginsel op, tot ergernis van beleidsmakers die uitkomsten van risicoberekeningen als een standaard voor beslissingen zien (Smallman, 1996; Vlek, 2010 a,b). Het voorzorgsprincipe en –beginsel dateert uit de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw en komt op als een managementbenadering voor serieuze en zeer onzekere milieurisico's en risico's voor de volksgezondheid. Het principe houdt in dat de bewijslast bij de voorstanders van een ingreep ligt, als deze ernstige of onomkeerbare schade kan veroorzaken en als er nog geen wetenschappelijke consensus bestaat over deze toekomstige schade. Een overheid hoefde niet met maatregelen wachten totdat onomstotelijk bewijs van negatieve effecten is geleverd (Brundtland, 1987; Rio Declaration, 1992). Het verzet tegen de formele risico-benadering wordt onder andere duidelijk bij de bezetting van het Brent Spar olieplatform door Greenpeace in 1995. Onderzeese pijpleidingen maken het platform, een olieopslag voor shuttletankers, overbodig. De eigenaren, Shell en Esso, hadden het plan het platform af te laten zinken. Greenpeace kwam hiertegen in het verweer, met als argument dat de zware metalen uit het olieresidue in de opslag van het platform schadelijk zijn voor de zee. In de ontstane discussie gaat Shell uit van een geobjectiverde risicoschatting, die achteraf gezien correct blijkt te zijn. Greenpeace geeft dit later toe. Maar deze organisatie is een consumentenboycot gestart, die in Duitsland, de Scandinavische landen en Nederland effectief blijkt te zijn. Het is een David-Goliath gevecht, met als argument dat de zee geen dumpplaats is (Löfstedt en Renn, 1997, Ravetz, 2001). Dit argument is uiteindelijk overtuigend en het olieplatform wordt niet afgezonken.

De kwantitatieve risico-analyse, de QRA (figuur 9), wordt in de jaren '50 van de vorige eeuw in de nucleaire sector geïntroduceerd onder de naam *Probabilistic Risk Assessment* (PRA) (Keller en Modarres, 2005) en maakt in de jaren '80 van de vorige eeuw een snelle ontwikkeling door. QRA's worden ontwikkeld voor de zeer zeldzame, onacceptabele majeure ongevallen, waarvan de complexiteit dermate groot is, dat deze niet anders kan worden benaderd dan probabilistisch (Pasman, 2000; Rasmussen, 1997; Hudson, 2010).



Figuur 9 Kwantitatieve risico-analyse (Pasman, 2000)

Dat is de gedachte in de periode van de eerste majeure ongevallen waar de media uitgebreid aandacht aan hebben besteed (Kasperson et al., 1990). Overheden, waaronder die in Nederland, zijn belangrijk geweest voor de toepassing van QRA's buiten de nucleaire sector. Ze zien de uitkomsten van risicoberekeningen als een argument bij politieke besluitvorming over ruimtelijke ordeningsonderwerpen. Met behulp van de bekende reeks gekleurde boeken, die vanaf eind jaren zeventig van de vorige eeuw in Nederland verschijnen en internationaal veel aandacht hebben gekregen, kunnen de maten van drie risicovormen voor burgers en omwonenden worden berekend: het individuele risico, het groepsrisico en het collectief risico voor ecosystemen. De eerste twee maten hebben betrekking op gezondheidsschade bij mensen en risico's, verbonden met industriële installaties. Het individueel risico is de kans per jaar dat een persoon nadelig effect ondervindt als gevolg van de blootstelling aan een agens. Het individuele, externe, risico van een locatiegebonden activiteit wordt grafisch weergegeven in zogenaamde isorisicocontouren. Het groepsrisico is de kans dat een groep van tien personen of meer per jaar slachtoffer wordt van een ongeval. Dit groepsrisico wordt weergegeven in een zogenoemde F/N curve, waarin de verwachte frequentie, F, van ongevallen met tenminste N doden staat uitgezet als een functie van N (figuur 10). Bij niet-locatiegebonden activiteiten worden het individuele risico en het groepsrisico op andere manieren bepaald, bijvoorbeeld met behulp van dosis-effectrelaties, of dosis-responsecurves. Het collectieve risico voor ecosystemen is de kans op een nadelig effect voor het ecosysteem door blootstelling gedurende een jaar aan een bepaalde stof. De risicomaten hebben getalsnormen voor een geaccepteerd of verwaarloosbaar risico en voor een onacceptabel, niet toelaatbaar risico. In het tussengebied is het risico niet verwaarloosbaar en is een nadere toetsing vereist. Volgens het ALARA-principe, *As Low as Reasonable Achievable*, wordt gevraagd het risico zozeer te verkleinen als redelijkerwijs mogelijk is.



Figuur 10 F/N curve, groepsrisico (Wikipedia)

Vervolgens wordt er een afweging gemaakt van de voordelen tegenover de blijvende risico's en kan een activiteit met een niet-verwaarloosbaar risico toch worden toegelaten. In Groot-Brittannië wordt het ALARP-principe gebruikt, met de P van Practicable. (Vlek, 1990; Gezondheidsraad, 1995).

Een QRA-benadering heeft een paar belangrijke tekortkomingen. Allereerst wordt de menselijke factor onderschat: de kennis en prestaties van werknemers om fouten tijdens de productie of het transport te herstellen. QRA gebruikt slechts generieke faaldata (Woods, 1990a,b; Pasmaan et al., 1992; Kjellén, 2007). Evenals de menselijke herstelmogelijkheden heeft ook de kwaliteit van het veiligheidsmanagement geen effect op de uitkomst van de QRA (Hale, 2001). Een ander probleem is de betrouwbaarheid van de uitkomst van een QRA. Uit de resultaten van een zogenaamde benchmark-studie van de Europese Commissie, uitgevoerd in de jaren '90 van de vorige eeuw, blijkt een grote variatie in faalkansen van een chemische installatie. Tussen de tien deelnemende landen liep dit op tot 3-5 ordes van grootte, dus een factor 1000-100.000 (Lemkowitz et al., 1995; Pasmaan en Reniers, 2013). De uitkomsten van een QRA worden in een getal weergegeven; de foutmarges van de uitkomst blijven echter helaas vaak achterwege. Een laatste nadeel is het feit dat de berekening geen extra informatie geeft over het ongevalsproces.

6 Risico- en veiligheidsmanagement

De socio-technische benadering heeft haar entree gemaakt in het veiligheidskundige domein en de organisatie kan een veilige bedrijfsvoering garanderen door zowel technische als de menselijke aspecten van (majeure) ongevallen te voorspellen en te beheersen. Dit vereist een robuust ontwerp, gebaseerd op een *defence in depth* en een actief en effectief risico- of veiligheidsmanagement. *Defence in depth* betekent dat de organisatie de kwaliteit van de (im) materiële barrières bewaakt die voorkomen dat gevaren via scenario's tot ontwikkeling komen. Dit is de basis van risico- of veiligheidsmanagement (Hale en Hovden, 1998).

Risico-management en veiligheidsmanagement zijn twee begrippen die allebei gebruikt worden in de veiligheidskundige literatuur over de *high-tech-high-hazard*-bedrijven. De verschillende sectoren en professionele domeinen hebben een voorkeur voor of de ene of de andere term. Bij

risico-management ligt de nadruk op de kwantificering van scenario's en consequenties ervan en vaak zijn de financiële consequenties van een ramp onderdeel van de managementbenadering. Het is overigens de vraag of managers geïnteresseerd zijn in een rationele afweging van kosten. In hun ogen is het vaak een goed-slecht beslissing om veiligheidsmaatregelen in te voeren, zeker als ze getuige zijn geweest van majeure ongevallen (Hale, 2014).

6.1 Definities

Bij zowel risico- als bij veiligheidsmanagement gaat het uiteindelijk om de beheersing en controle over de ongevalsprocessen die tot majeure ongevallen kunnen leiden (Harms-Ringdahl, 2004; Grote, 2012). In dat opzicht verschillen de twee begrippen niet zoveel van elkaar. De literatuur laat veel verschillende definities zien. Enkele zijn hieronder weergegeven:

'Risk management is simply good common sense in coping with possible and actual daily mishaps and occasional major disasters that lead to financial losses and unfulfilled plans for individuals and organisations indeed for our society as a whole' (Kloman, 1992; Smallman, 1996)

'Risk management is a systematic, statistically based, and holistic process that builds a formal risk assessment and management, and addresses the set of four sources of failure within a hierarchical multi-objective framework 1) hardware failures 2) software failures 3) organisational failures 4) human failures' (Haimes, 1991; Smallman, 1996)

'Safety management may be defined as the aspect of the overall management function that determines and implements the safety policy. This will involve a whole range of activities, initiatives, programs, etc., focused on technical, human and organisational aspects and referring to all the individual activities within the organisation, which tend to be formalised as Safety Management Systems (SMS)' (Papadakis en Amendola, 1997; Harms-Ringdahl, 2004)

Safety management are arrangements made by the organization for the management of safety in order to promote a strong safety culture and achieve good safety performance (INSAG, 1999; Grote, 2012)

Bij de definities wordt risico- en veiligheidsmanagement gezien als een middel om een eindpunt te bereiken '*coping with mishaps, disasters*' en '*strong safety culture and good safety performance*', danwel als een beschrijving van de onderdelen van risico- en veiligheidsmanagement, zoals de vier bronnen uit de eerste definitie en de onderdelen van een veiligheidsbeleid in de een na laatste definitie. Een ander verschil in de definities is de manier hoe bedrijven onzekerheden managen: deze kunnen geminimaliseerd worden, zoals in de klassieke veiligheidskundige benade-

ring, of organisaties kunnen leren omgaan met deze onzekerheden. Bij veiligheid in *high-tech-high-hazard*-bedrijven staat het managen van het primaire proces centraal. Bij arbeidsveiligheid hoeft dat niet het geval te zijn. Hier zijn de taken van operators, werknemers, piloten en machinisten de focus, die niet noodzakelijkerwijs gerelateerd zijn aan het primaire proces (Grote, 2012).

De literatuur over risico- en veiligheidsmanagement is in te delen in drie groepen: de ontwikkelde modellen, de kwaliteit op basis van retrospectief onderzoek en als laatste het functioneren van deze systemen op basis van veldwerk bij bedrijven.

6.2 Modellen voor en onderzoek naar risico- en veiligheidsmanagement

De structuur van een managementsysteem is bekend en daar is niet veel discussie meer over. Het startpunt zijn de primaire en ondersteunende processen van het bedrijf met alle mogelijke scenario's die tot majeure ongevallen kunnen leiden en barrières om deze scenario's te managen. Het tweede element is de zogenaamde *life cycle approach*. Dit geeft informatie hoe alle systeemelementen ontworpen zijn, aangekocht zijn, onderhouden, gebruikt en gemodificeerd worden en ontmanteld worden als hun levensduur ten einde is. Het derde element is de probleem-oplossende aanpak om risico's tijdens de normale en de gestoorde procesgang op te lossen, om plannen en procedures te hebben voor een *on-line* risicobeheersing en een beleid om regelmatig de kwaliteit van het managementsysteem te toetsen en zo nodig aan te passen. Als laatste zijn bemsing en middelen nodig om alle elementen adequaat uit te kunnen voeren. Deze elementen van een managementsysteem zijn ontwikkeld uit onderzoek bij grote bedrijven, de zogenaamde professionele bureaucratieën. Majeure ongevallen komen ook voor bij kleinere bedrijven, zoals ook in Nederland het geval was in Enschede en Volendam. Hoe risico- en veiligheidsmanagement voor deze bedrijven vorm en inhoud moet krijgen is nog onduidelijk (Hale, 2003).

Vanuit de Europese Commissie, het Joint Research Center, zijn twee projecten gestart om deze structuur voor de procesindustrie nader uit te werken, ARAMIS, *Accident Risk Assessment Methodology for Industries*, en I-Risk, de ontwikkeling van een geïntegreerde technische en management risico methodologie voor chemische installaties (Kirchsteiner, 2002; Papazoglou ea, 2003; Delvosalle et al., 2006; Dianous en Fiévez, 2006; Guldenmund et al., 2006; Bellamy et al., 2008). Harmonisatie tussen lidstaten is een belangrijk doel van deze projecten geweest als blijkt dat het managen, beoordelen en de rol van uitkomsten van een QRA tussen EU-landen sterk verschillen. Harmonisatie zal de transparantie van beslissingen en de bijbehorende risicocommunicatie ten goede komen. De projecten hebben de *bowtie*-metafoor gebruikt en voor procesinstallaties generieke scenario's bepaald en de daaraan gekoppelde centrale gebeurtenissen. De frequenties van deze centrale gebeurtenissen zijn vastgesteld, gebaseerd op

de faalfrequenties van installatie-onderdelen, barrières en de typering van de materiaalstroom. Tot zover hebben de projecten veel gelijkenis met een QRA-benadering. De meerwaarde van de projecten ligt in de vaststelling van de risiconiveaus per installatie, die via gerichte activiteiten vanuit het risicomanagement beïnvloedbaar zijn. Uit de structuur van de managementsystemen volgen een aantal activiteiten om de kwaliteit van de barrières te garanderen evenals de effectiviteit van het managementsysteem. Deze invloed van managementactiviteiten ontbreekt in de QRA-benadering. Uit de literatuur wordt niet duidelijk of deze twee projecten praktische toepassingen hebben gekregen.

6.3 Retrospectief onderzoek

Retrospectief onderzoek naar majeure ongevallen bij *high-tech-high-hazard*-bedrijven in de verschillende sectoren laten de afgelopen decennia een verontrustende gelijkenis zien in hun oorzaken. In eerder genoemde boeken en rapporten, vaak gebaseerd op uitgebreide dossieronderzoek en informatie van juridische procedures, worden deze ongevallen uitgebreid geanalyseerd. De condities en de context zijn per sector verschillend en daarmee ook de technische oorzaken van de ongevallen. De gelijkenis zit aan de organisatorische kant: het *'sloppy'* management van het betreffende bedrijf. Deze constatering geldt ook voor Nederland, waar de rapporten van de Onderzoeksraad voor Veiligheid meerdere malen hebben gewezen op de gebrekkige aandacht van het management voor veiligheid. De training van werknemers is te globaal en dat geldt ook voor de supervisie van werkzaamheden. Bij de bedrijven is veiligheid op papier meestal goed geregeld; de praktijk van de procesvoering heeft echter slechts een beperkte gelijkenis met de papieren werkelijkheid. Als er maatregelen worden genomen, dan beperken deze zich tot technische aanpassingen. En kennis over effecten van maatregelen is bij bedrijven vrijwel afwezig (Kirwan, 1998; Kirwan et al., 2002; Hovden, 2002; Pasman en Baron, 2002; Grote, 2012; OVV, 2013; Jongen en Swuste, 2014). Vergelijkbare resultaten worden gevonden bij drie grote incidenten in 2002 bij de Schotse petrochemische complex van BP in Grangemouth (HSE, 2003b). Kortom, de latente factoren van het ongevalsproces zijn en waren niet of onvoldoende in beeld. Kritieke gebeurtenissen overvallen dan de organisatie en de werknemers, die dan voor bijna onoplosbare problemen worden gesteld en die een sterke wissel trekken op de kwaliteit van menselijk handelen en het ontwerp van het operationele systeem (Woods, 1990b).

6.4 Veldwerk

Veldwerk bij *high-tech-high-hazard*-bedrijven bevestigt de resultaten van het retrospectief onderzoek. Wat tijdens veldwerk wordt waargenomen is de tijdelijke uitkomst van een interactief *sense-making process*, de manier hoe de organisatie en haar leden betekenis geven aan de dynamische werkelijkheid zoals die zich voordoet (Weick, 1995). De dynamiek wordt gevoed door interne en externe factoren, zoals deze zijn weergegeven in de *Drift to Danger*-metafoor

van Rasmussen (figuren 6 en 7). De huidige modellen van risico- en veiligheidsmanagement zijn gebaseerd op een rationeel beeld van een organisatie en niet op een contextueel beeld van een complex socio-technisch systeem. Dat vereist een begrip van de primaire processen en van de hoofdtak van de organisatie (Reiman en Oedewald, 2007). De managementsystemen dienen de gevaren en risico's te beheersen die voortkomen uit de toegepaste technologie. Het is niet reëel te verwachten dat dezelfde systemen zowel de kwaliteit van het product als de veiligheid van het proces, de gezondheid van uitvoerenden, milieuaspecten, als de productie kunnen managen.

Een ander punt is de rol van de veiligheidsdienst van een bedrijf. Deze heeft tot taak het risico- en veiligheidsmanagementsysteem te coördineren, te bemeten op effectiviteit en te evalueren. Bij veel bedrijven bevindt de veiligheidsdienst zich echter 'aan de rand van de organisatie'. Onderzoek in de petrochemie- en de staalindustrie liet zien hoe gefragmenteerd de organisaties functioneerden, hoe de verschillende afdelingen en de grote groepen van onderaannemers maar beperkt over majeure ongevalsprocessen communiceren. Als er data worden verzameld, dan wordt de invoer beperkt door het gebruikte classificatiesysteem waar alleen technische en mensgerelateerde informatie kan worden opgeslagen. De analyse van ongevallen is daardoor oppervlakkig en de organisaties hebben een waarneembare weerstand tegen ondenkbare procescondities (Woods, 1990b; Brehmer, 1993; Delvosalle, 2006; Bell en Healey, 2006; Guillaume, 2011). Dat is een situatie die sterk doet denken aan de bouw, waar het management geen of beperkte eindverantwoordelijkheid nam voor veiligheid '*crap flows downhill, smell of roses uphill*' (Mostia, 2010; Swuste et al., 2012).

6.5 Veiligheidscultuur, lerend vermogen en kwaliteit van inspecties

In rapportages van de grote majeure incidenten en ongevallen, waaronder de Davis Besse-kerncentrale in Oak Harbor, OH (2002) en de BP-raffinaderij in Texas City, TX (2005) wordt een slechte, of gebrekkige veiligheidscultuur als één van de organisatorische factoren genoemd voor het ontstaan van de ramp. Cultuur is een '*convenient truth*', omdat het een verzamelbegrip is waaraan veel kan worden opgehangen zonder iemand de schuld te geven, maar waarvan het onduidelijk is of het een beter inzicht geeft in het ongevalsproces. In de literatuur zijn verschillende beelden ontstaan van veiligheidscultuur (Guldenmund in Jongen en Swuste, 2014):

- 1 Cultuur als een karakterisering van een stam, een antropologische benadering. Het doel is om de cultuur te begrijpen, zonder deze te beoordelen;
- 2 Veiligheidscultuur als een trap, een moralistisch perspectief, waarmee de niveaus van volwassenheid van een organisatie wordt aangegeven. De bekende veiligheidscultuurladder is daar een voorbeeld van. Het doel is de cultuur te verbeteren, om een tree hoger te komen;

- 3 Veiligheidscultuur als een nummer, een analytisch perspectief. Er wordt niet meer van cultuur gesproken, maar van veiligheidsklimaat. Het doel is om aan de hand van een paar getallen een beschrijving te geven en mogelijk een diagnose;
- 4 Veiligheidscultuur als een proces van betekenisgeving en onderlinge afstemming. Dit beeld sluit aan bij de eerste beschrijving en ziet cultuur als een als een product van een organisatie, of een groep mensen die iets tot stand moeten brengen.

In het vorige deel in deze serie werd het onderwerp cultuur binnen de arbeidsveiligheid in een aparte paragraaf behandeld. In deze periode zijn veel publicaties verschenen over veiligheidscultuur bij *high-tech-high-hazard*-bedrijven. Ondanks al het onderzoek zijn er nog nauwelijks overtuigende studies gepubliceerd die een directe relatie hebben kunnen leggen tussen het veiligheidsniveau van een bedrijf of organisatie en veiligheidscultuur. Alle aanwijzingen komen uit retrospectief onderzoek, waarbij hindsight bias het resultaat onbetrouwbaar maakt. Er zijn maar weinig concepten waar zo naar gezocht wordt en die zo slecht zijn begrepen als organisatie/veiligheidscultuur (Reason, 1997; Hale, 2003).

Toch is er een belangrijke bijdrage verschenen voor het cultuurdebat: een artikel van Schein (1996), die organisatiecultuur onderverdeelt in subculturen en een onderscheid maakt tussen uitvoerenden: de operators, de technici en het management. Schein definieert cultuur analoog aan het hierboven genoemde beeld van betekenisgeving. Cultuur is een verzameling basale stilzwijgende vooronderstellingen over hoe de wereld in elkaar zit of zou moeten zitten, die door een groep mensen worden gedeeld en die hun percepties, gedachten, gevoelens en in zekere mate hun openlijke gedrag bepalen. Volgens de operatorcultuur zijn activiteiten van de mens de basis. Kennis en vaardigheden zijn lokaal georganiseerd. Ondanks het ontwerp van het proces zijn operators nodig om te handelen bij verrassingen en processtoringsen. Dit impliceert een grote onderlinge afhankelijkheid en vertrouwen. De wereld is deels onvoorspelbaar en innovatieve vaardigheden zijn noodzakelijk om een onvoorziene omstandigheid het hoofd te kunnen bieden. Regels en procedures zijn daarbij een sta-in-de-weg. De technicus-cultuur is de cultuur van de groep die de fundamentele ontwerp-elementen vertegenwoordigt van de technologie van het primaire proces van de organisatie. Ze voelen zich aangetrokken tot de techniek omdat deze abstract en onpersoonlijk is. Technici erkennen de menselijke factor en zijn georiënteerd op veiligheid. Ze nemen het onderwerp serieus bij het ontwerp, door zoveel mogelijk functies te automatiseren. Ze hebben het liefst een simpele oorzaak-gevolg-relatie en denken bij voorkeur in kwantitatieve termen. De managementcultuur is doordrongen van de noodzaak de financiële gezondheid van een bedrijf te handhaven en is vooral bezig met besturen, beleggen en kapitaalmarkten. De economische omgeving is in voortdurende concurrentie en is potentieel vijandig.

Managers kunnen van hun ondergeschikten geen betrouwbare gegevens krijgen, dus moeten ze op hun eigen oordeel vertrouwen. De organisatie en management zijn intrinsiek hiërarchisch. De organisatie moet een team vormen, maar verantwoordelijkheid is individueel. Deze verschillen in subculturen maakt de communicatie tussen de drie groepen heel ingewikkeld en daarmee ook de mogelijkheid om van incidenten en ongevallen te leren.

Dat onvermogen van bedrijven en organisaties om te leren komt in bijna alle rapportages van majeure ongevallen terug. Met uitzondering van *High Reliability Organisations* zijn organisaties en bedrijven in het algemeen hardleers. Ze zijn niet gebouwd om te leren, het zijn primair actie-generators. Bedrijven waar de schuldcultuur, waar de vraag naar de verantwoordelijkheid van processtorings, incidenten en ongevallen voorop staat, zullen eerder geneigd zijn om mensen te straffen en mogelijk te ontslaan, dat belemmert een zorgvuldig rapportage en analyse. Leren en schuld gaan niet samen. (Weick, 1991; Pidgeon en O'Leary, 2000; Amalberti, 2002; CSB, 2007; Mostia, 2010; Grote, 2012). Een andere mogelijke verklaring zijn de drie verschillende subculturen die door Schein zijn beschreven. Volgens deze lijn zou het besef in de organisatie, dat de drie verschillende groepen andere talen spreken een eerste stap zijn. De tweede stap is de aanname dat de verschillende vooronderstellingen die uit de subcultuur voortvloeien, gelijkwaardig zijn. Vervolgens zou het proces van het leren onder de loep genomen kunnen worden. De te leren lessen volgen uit de analyses van incidenten en ongevallen, die door de organisatie te vertalen zijn in toekomstige aanpassingen en verbeteringen. Deze vertaling is ingewikkeld en in de literatuur zijn net de eerste stappen gezet (Drupsteen, 2014).

Als de kwaliteit van het risico- en veiligheidsmanagement in bedrijven over het algemeen tegenvalt, dan is de vraag of externe inspecties enig effect hebben. Toezicht en inspectie door de overheid zijn te beschouwen als een tegenkracht in een productiesysteem. Het gaat over beheersen, beïnvloeden, richting geven en staat gemakkelijk op gespannen voet met zelfstandigheid en autonomie van een bedrijf of bedrijfsafdeling (Mertens, 2011). Overheidsinspecties zijn gebaseerd op wetgeving en dat kan een probleem zijn. In het veiligheidskundige domein is er sprake van een zekere mate van overregulering, veroorzaakt door te ijverige politici die na majeure rampen nieuwe wetgeving introduceren (Pidgeon en O'Leary, 2000; Kirwan et al., 2002; WRR, 2008). Daar komt nog bij, dat de politiek in het algemeen niet geïnteresseerd lijkt te zijn in de effecten van haar handelen. Wetten, inspecties, toezicht, certificering, ze ontsnappen aan onafhankelijke toetsing naar de kwaliteit en de effectiviteit (Amalberti, 2002; Hale et al., 2002; Gunlach, 2002; Mertens, 2011). Daarnaast is regulering via inspectie en toezicht een ingewikkeld onderwerp, gezien de grote dynamiek van technologische wijzigingen in veel *high-tech-high-hazard*-sectoren. Overheden kunnen dat nauwelijks bijhouden. Voor inspecteurs is het lastig een oordeel te vellen over het veiligheidsniveau van een

complexe installatie. Welke barrières zijn nodig voor een aanvaardbaar veiligheidsniveau (Larsson, 2002; Kirwan, 2002)? Het effect van toezicht en inspectie kan beperkt zijn, maar volgens enkele prominente auteurs uit het veiligheidskundig domein is het bedrijf weliswaar de eerste aangewezen, maar is het een kerntaak van de overheid om de veiligheid voor haar burgers te garanderen (Vollenhoven, 2008; Dik et al., 2008).

7 Deepwater Horizon, Macondo veld

20 april 2010 ontstaan op het gigantische platform Deepwater Horizon explosies die het platform twee dagen later deden zinken voor de kust van Louisiana (figuur 11). Van de 126 werknemers verliezen 11 hun leven. De zogenaamde *cementing* van de kop van de boorput, een activiteit om een *blowout* te voorkomen, is misgegaan. De boorput ligt meer dan 1500 meter onder zeeniveau. Voor een periode van 10 weken blijft olie uit de bron stromen, 200 miljoen gallons, equivalent aan 20 keer de verontreiniging veroorzaakt door de Exxon Valdez, de olietanker die in 1989 voor de kust van Alaska honderd miljoen liter ruwe olie verliest en een ecologische ramp veroorzaakt. De olieverontreiniging van de Deepwater Horizon bedreigt het ecosysteem van de Golf van Mexico en bereikt kusten van Louisiana, Mississippi, Alabama, Florida en de rivier de Mississippi (Steffy 2011). BP is niet de eigenaar van het platform, maar Transocean. En het bedrijf Halliburton is verantwoordelijk voor de cementering van de bron.

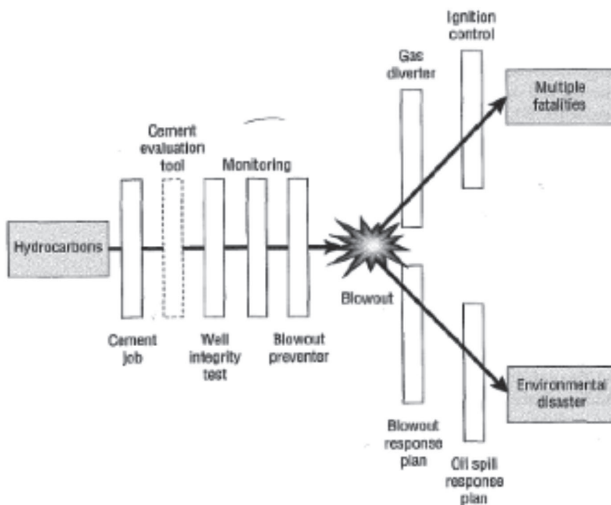


Figuur 11 Deepwater Horizon (Wikipedia)

De Deepwater Horizon exploiteert het Macondo-veld. Ironisch genoeg verwijst Macondo in de roman 'Honderd jaar eenzaamheid' van de Colombiaanse Nobelprijswinnaar Gabriel Garcia Márquez naar een slaperig stadje. Het stadje komt tot bloei en gaat daarna ten onder na een regenperiode van vier jaar.

Bijlage 1, de incidenten en majeure ongevallen up- en downstream, laat zien dat *blowouts* en grote olie-emissies jaarlijks voorkomen en vaak meerdere keren per jaar. Wat dat betreft is BP geen uitzondering, behalve dan dat voorafgaande aan Deepwater Horizon bij het bedrijf een reeks van incidenten en majeure ongevallen zijn voorgekomen, bij de raffinaderij in Grangemouth Schotland (2000), bij de Texas City raffinaderij (2005) en de oliekkages bij de Pruhdoe

Bay pijpleiding in Alaska (2006). BP was een bedrijf waar veiligheid vertaald wordt in arbeidsveiligheid. Lage aantallen persoonlijke ongevallen worden impliciet gezien als indicatoren van een veilige procesgang. Het hoofdkantoor heeft een beleid van minimale inzet, waardoor ploegen en activiteiten vaak onderbezet zijn. Bonussen van ingenieurs zijn direct gekoppeld aan de output en creëren een hoge tijdsdruk op booractiviteiten. Risico's voor het bedrijf zijn primair financiële risico's en het bedrijf schenkt minimale aandacht aan procesveiligheid. Voor de booractiviteiten op de extreme diepte zijn, volgens het *defence in depth*-concept een aantal barrières aanwezig om *blowout*-scenario's te voorkomen, of als deze toch plaatsvinden, de effecten te beperken (figuur 12)



Figuur 12 Falende barrières Deepwater Horizon (Hopkins, 2012)

Dit concept kan alleen effectief zijn als de barrières onafhankelijk van elkaar functioneren. Bij Deepwater Horizon worden de barrières onderling afhankelijk gemaakt, niet zozeer technisch als wel als gevolg van de communicatie over het succes van de eerste barrière. Toen gemeld werd dat de cementering gereed was en succesvol was afgerond, werd de evaluatie van de cementering niet uitgevoerd. De notie van *defence in depth* was onvoldoende duidelijk voor de operators: één werkende barrière was voldoende. Dus ook de volgende twee barrières, de metingen en de integriteitstest van de bron werden niet adequaat uitgevoerd. De laatste barrière, de *blowout preventer* is een grote installatie die om de bron geplaatst wordt en in noodgevallen de boorpijp kan afknippen, zodat de bron afgesloten is. De *blowout preventer* is echter niet ontworpen om een *blowout* te stoppen die zich al ontwikkeld heeft. De barrières na de *blowout* waren weinig effectief, doordat ontwerpers erop hadden vertrouwd dat *pre-blowout*-barrières effectief waren. Er is een situatie ontstaan waardoor alle barrières om een *blowout* te voorkomen als een kaartenhuis omvallen (Hopkins, 2012). Hoewel de treinramp bij Capham Junction en die bij Macondo, Deepwater Horizon verschillen, hebben de organisatorische factoren en de latente fouten veel overeenkomsten: de tijdsdruk, de harde financiële

businesscultuur en geen toezicht op veiligheidskritische activiteiten.

8 Discussie

Geschiedenis van de kennisontwikkeling van een vakgebied is een belangrijk onderwerp. De context van de theorieën, modellen en metaforen maakt duidelijk hoe deze zijn ontwikkeld en hoe ze elkaar hebben beïnvloed. Dit verdiept het inzicht in de kennisontwikkeling en is relevant voor onderwijs en voor onderzoek. Voor onderwijs is dit inzicht belangrijk voor nadere reflectie. En voor onderzoek kan het interdisciplinair onderzoek stimuleren, waar andere auteurs ook op hebben gewezen (Le Coze, 2015).

In de periode tussen Clapham Junction en Macondo, Deepwater Horizon heeft de socio-technische benadering van incidenten en ongevallen in de *high-tech-high-hazard*-sectoren vaste voet gekregen. Dit werd helder verwoord in de titel van één van de artikelen van Wagenaar (1998): *'People make accidents but organisations cause them'*. In datzelfde jaar meldden Hale en Hovden dat voor veiligheidskunde een derde fase was gestart, die van het veiligheidsmanagement en -cultuur.

De Zwitserse kaas- en de *bowtie*metaforen, die met het barrière-concept schatplichtig zijn aan DeBlois (1926), Gibson (1961) en Haddon (1963), laten in hun respectievelijke presentaties de invloed van de organisatie duidelijk zien. Bij de Zwitserse kaas zijn dit de gaten in een aantal barrières, de residente pathogenen of de latente factoren. Bij de *bowtie* zijn de *delivery systems* van het management, die de kwaliteit en effectiviteit van de barrières bepalen, de invloed van de organisatie. Deze twee presentaties van het ongevalsproces, met scenario's en barrières, zijn populair bij de technisch geschoolde veiligheidskundigen. Twee andere presentaties, de *Normal Accident Theory* en de *Drift to Danger*-metafoor, hanteren eveneens een scenariobenadering, maar minder duidelijk. De *Normal Accident Theory* geeft de condities van de technologie aan, de mate van koppeling en complexiteit, alvorens rampsenario's worden geactiveerd. Bij *Drift to Danger* zijn het de negatieve gradiënten die, gevoed door externe oorzaken, naar een rampsценario bewegen. Twee andere theorieën, de *Disaster Incubation Theory* en de *High Reliability Theory* bespreken uitsluitend organisatorische kenmerken, inclusief het proces van besluitvorming. Deze benadering is populair bij sociologen, bestuurskundigen en politicologen en geeft een ander beeld op het ontstaan van majeure ongevallen. In de literatuur wordt erkend dat deze groep het debat in de wetenschappelijke pers hebben verrijkt. Maar ook dat de analytische technische en ontwerp-kennis in hun analyses wordt gemist, evenals een relatie met systeemveiligheid (Saleh et al., 2010). Dat mag zo zijn, maar kennis van organisatiekunde en besluitvorming is een eerste vereiste voor een interdisciplinair onderzoek dat door Rasmussen en Hale is bepleit.

Wat tot nu toe ontbreekt in alle benaderingen is de politieke dimensie van organisaties. Macht heeft immers in alle lagen van de organisatie invloed op de kwaliteit van besluitvorming (Pidgeon en O’Leary, 2000; Perrow, 1994, Antonsen, 2009). De enige die in de buurt komt is de *Drift to Danger*-metafoor, waar agressieve marktcondities onderdeel zijn van het concept.

In de periode van dit artikel is het nog niet gelukt om scenario’s te voorspellen in *high-tech-high-hazard*-sectoren. Ook het onderzoek naar risico- en veiligheidsmanagement stemt niet echt hoopvol. En toch is de frequentie van dit type ongevallen veel lager dan van arbeidsongevallen, al komen deze ongevallen nog steeds voor, ondanks alle inspanningen (bijlage 1, tabel 1). Er gaat dus ook veel (net) goed. Volgens de *High Reliability Theory* zou iedere organisatie die voldoende redundantie inbouwt, vrijwel vrij kunnen zijn van majeure ongevallen. Het kan ook zijn dat de nadruk op menselijke fouten uit het verleden ons tijdelijk blind heeft gemaakt voor herstelcapaciteit van mensen. Zo meldde bijvoorbeeld bij Nævestad (2008) dat kraandrijvers op olieplatformen, die zware en onhandige ladingen moeten hijsen, stoppen met werk als ze zelf ontdekken, of van ploeggenoten te horen krijgen *‘it’s not your day’*. Een andere kraandrijver neemt het werk dan over. Hijswerk-

zaamheden op platforms kunnen immers gevaarlijk zijn. Een ander voorbeeld zijn piloten op vliegdekschepen, die op weg zijn naar de katapult om gelanceerd te worden. *‘Does it feel right’, or is the rythm wrong’* vragen zij zich af. Dit zijn voorbeelden van mechanismen waar uitvoerenden op basis van hun vakmanschap zelfregulerend kunnen reageren op verwachte scenario’s (Weick en Roberts, 1993). Een voorbeeld dat dichterbij in de buurt komt van een predictie is het onderzoek naar procesveiligheidsindicatoren. Door uit onafhankelijke bronnen inzicht te krijgen in mogelijke scenario’s in een *high-tech-high-hazard*-bedrijf kunnen de centrale gebeurtenissen worden vastgesteld, die voorkomen moeten worden. In een project in de omvangrijk ammoniakproducerend bedrijf werden bijna 90 scenario’s en 25 centrale gebeurtenissen vastgesteld. Vervolgens zijn per centrale gebeurtenis de barrières bepaald. Door nu indicatoren te verbinden met de status van de barrière en de noodzakelijke ondersteunende activiteiten van het management, wordt informatie verkregen in de mate waarin een scenario en een centrale gebeurtenis zich ontwikkelt en welke managementactiviteiten nodig zijn om een dergelijke gebeurtenis te voorkomen (Swuste et al., 2016b).

De kennis van risico- en veiligheidsmanagementsystemen voor *high-tech-high-hazard*-bedrijven is bekend: er zijn

Table 2: Process safety, theories, models, metaphors and management approaches in the period 1988–2010

year	theories	models, metaphors	safety management	general management approaches
1988		safety culture, INSAG	socio-technical approach of safety	
1989	high reliability, Berkeley, US	layers of protection analysis, AIChE-US		Angelsaksen and Rhinlands management
1990			3rd phase, safety management, culture, Hale-NI	organisational learning, Senge-US
1991				EFQM/INK management model-NI culture, national, Hofstede-NI
1992		tripod, Groeneweg-NI		organisational culture, Schein-US single-double loop learning, Argyris-US precautionary principle, Rio Declaration
1993				
1994				
1995			sense-making, Weick, US	six sigma, Welch-US
1996		operator, technical, management culture, Schein, US normalisation of deviations, Vaughan, US		
1997	man-made disasters, reprint, Turner, UK	Swiss cheese, final version, Reason, UK drift to danger, Rasmussen, Den		
1998		bowtie, Visser-NI		
1999	normal accidents, reprint, Perrow, US			
2000		practical drift, Snook, US		corporate social responsibility, SER-NI
2001				
2002			ARAMIS, I-risk, EC	
2003				
2004		resilience engineering, Hollnagel, Sw		
2005				
2006				
2007				
2008				
2009				
2010				

Nl: the Netherlands; Sw: Sweden; Den: Denmark

zowel kwalitatieve als kwantitatieve modellen ontwikkeld. Uit retrospectief onderzoek en prospectieve veldstudies blijkt echter dat er vaak sprake is van zogenaamd *sloppy* management. Dat resulteert dan in minder dan de zo zeer nodige aandacht voor veiligheid van primaire processen in deze bedrijven en in situaties waarbij machinisten, operators, piloten en managers nog steeds kunnen worden verrast door gebeurtenissen die ze niet voor mogelijk hadden gehouden. Bedrijven zijn hardleers en lijken alleen de papieren werkelijkheid op orde te hebben. Uit het overzicht van tabel 1 en bijlage 1 blijkt dat majeure ongevallen en incidenten die in openbare bronnen in Westerse landen gerapporteerd worden, nog steeds in ruime mate voorkomen. De tabellen laten een afname zien voor de procesindustrie, *up- en downstream*-activiteiten, en voor de luchtvaart. Voor treintransport en kernenergie nemen de aantallen nog steeds toe of blijven stabiel. Of deze conclusie standhoudt, is niet te zeggen, gegeven het type bronnen en de ontbrekende noemer.

9 Conclusie

Het antwoord op de eerste onderzoeksvraag uit de introductie is samengevat in tabel 2. De tabel geeft een overzicht van de ontwikkeling van theorieën, modellen, metaforen, van veiligheidsmanagement en van dominante managementstromingen. Daaruit blijkt dat er een aantal relatief jonge theorieën, modellen en metaforen is ontwikkeld. Geen ervan heeft een duidelijk leidende rol aangenomen. Er is geen *'unifying theory'* maar er is sprake van een amalgaam van concepten waarbij verschillende onderzoekers, afhankelijk van hun achtergrond, een voorkeur hebben voor één van de theorieën, modellen of metaforen. Het onderwerp 'dominante managementstromingen' is hier niet besproken. De informatie is afkomstig uit het derde deel van deze serie over de ontwikkelingen in arbeidsveiligheid in dezelfde periode als dit artikel.

Een antwoord op de tweede onderzoeksvraag is niet duidelijk te geven. Organisatie- en veiligheidscultuur heeft in deze periode een vlucht genomen, zowel in onderzoek als in consultancy-activiteiten bij bedrijven. Of dit veel op zal leveren is maar de vraag, gezien de onduidelijke relatie tussen cultuur en het veiligheidsniveau van bedrijven. Ook veiligheidsmanagement is in deze periode voor bedrijven een ingeburgerd begrip geworden. Maar ook daar geldt een soortgelijk argument en zowel retro- als prospectief onderzoek laat zien dat veel bedrijven onvoldoende zicht hebben op mogelijke ramp-scenario's.

De derde vraag, de context van de ontwikkelingen op kennis en managementgebied laat een zeer dynamisch beeld zien. De trend van een terugtrekkende overheid, een ontwikkeling die in deel 3 van de serie uitgebreid is besproken, valt samen met een markt- en technologieontwikkeling die in conflict kan komen met eisen die vanuit veiligheid aan *high-tech-high-hazard*-bedrijven worden gesteld. Rasmussen laat dit op een heldere manier zien met zijn Drift to Danger-metafoer.

Literatuur

- Abdolhamidzadeh B, Abbasi T, Raschtchian D, Abbasi S, (2011). Domino effect in process industry accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24:575-593
- Allen F, Garlick A, Hayns M, Taig A (1992). The management of the UKAEA Working Group on the risks to society from potential major accidents with an executive summary. Elsevier Applied Science, London
- Amalberti R (1993). Safety in flight operations. In: Wilpert B & Qvale T (Eds.). Reliability and safety in hazardous work systems. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork). Approaches to analysis and design. Lawrence Erlbaum Associates Publisher, Hove UK
- Amalberti R (2001). The paradox of almost totally safe transportation system. *NeTWork proceedings. Special Issue Safety Science* 37(2-3):109-126
- Amalberti R (2002). Revisiting safety and human factors paradigms to meet the safety challenges of ultra-complex as safe systems. In: Wilpert B Fahlbruch B (Eds.). System safety. Challenges and pitfalls of interventions. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 265-276. Pergamon, Oxford
- Amalberti R, Auroy Y, Aslanides M (2004). Understanding violations and boundaries. *Canadian Healthcare Safety Symp Edmonton AI*
- Antonsen S (2009). Safety culture and the issue of power. *Safety Science* 47(2):183-191
- Aven T (2012). Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risk Analysis* 32(10):1647-1656
- Baram M (1998). Process safety management and the implications of organisational change. In: Hale A Baram M (Eds.). Safety management, the challenge of change. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork). p. 191-205. Pergamon, Oxford
- Baram M (2009). Globalization and workplace hazards in developing nations. *NeTWork proceedings special issue Safety Science* 47(6):756-766
- Belke J (2001). Chemical accident risk US industry. A preliminary analysis of accident risk data from US hazardous chemical facilities. *Proceedings of the Loss Prevention & Safety Promotion in the Process Industries, Stockholm June 19th-21st*, p: 31275-1314
- Bell J, Healey N (2006). The causes of Major Hazards Incidents and how to improve risk control and health and safety management: a review of the existing literature. Reports 2006/117. Health and Safety laboratory, Buxton, Derbyshire
- Bellamy L, Geyer T, Wilkinson J (2008). Development of a functional model which integrates human factors, safety management systems and wider organisational issues. *Safety Science* 46(3):461-492
- Bradley P Baxter (2002). Fires, explosions and related incidents at work in Great Britain in 1998/1999 and 1999/2000. *Journal of Loss Prevention in the Process industries* 15(5):365-372
- Brehmer B (1991). Modern information technology: timescales and distributed decision making. In: Rasmussen J, Brehmer B, Leplat J (Eds.). Distributed decision making. Interdisciplinary study group New Technology and Work

- (NeTWork), p. 193-210. John Wiley & Sons Chichester
- Brehmer B (1993). Cognitive aspects of safety. In: Wilpert B, Qvale T (Eds.). Reliability and safety in hazardous work systems. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 23-42. Approaches to analysis and design. Lawrence Erlbaum Associates-Publishers, Hove UK
- Breivik G (2011). Risk a plague or a joy? Some reflections on the dual nature of risk in present society. *Safety Science Monitor* 15(1):1-8
- Brundtland G (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Co-operation: Environment
- Cates A (1992). Shell Stanlow fluoraromatic explosion -20 March 1990: Assessment of the explosion and of blast damage. *Journal of Hazardous Materials* 32(1):1-38
- CCPS (2001). Center for Chemical Process Safety, simplified process risk assessment. Americal Institute of Chemical Ebgenners, New York
- Chemical Safety Board, afgeronde onderzoeken 1988-2010, geraadpleegd januari 2016
- CSB (2007). Chemical Safety Board, Chemical safety and hazard investigation board investigation report no. 2005-04-i-tx Refinery explosion and fire, 15 Killed, 180 Injured
- Clarke D (2005). Human redundancy in complex hazardous systems. A theoretical framework. *Safety Science* 43(9):655-677
- Clough I (2009). 100 Largest Losses 1972-2009 Marsh1
- DeBlois L (1926). Industrial safety organisation for executives and safety engineer. McGraw-Hill Book Company, New York
- Dechy N, Bourdeaux T, Ayrault N, Kordek M, Le Coze J (2004). First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21 September 2001, AZF plant France. *Journal of Hazardous Materials* 111(1-3):131-138
- Delvosalle C, Fievez C, Pipart A, Debray B (2006). ARAMIS project. A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Hazardous Materials* 130(3):200-219
- Dianous V, de Fiévez C (2006). ARAMIS project: a more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazardous Materials* 130(3):220-233
- Dien Y (1998). Safety and application of procedures, or 'how do they' have to use operating procedures in nuclear power plants. NeTWork proceedings. Special issue *Safety Science* 29(3):179-187
- Dik J, Hale A, Poort R, Roden N, van Roggeveen V, Schaar-denburgh K, van Swuste P, Veld R in t, Verwer C (2008). De onbalans in verantwoordelijkheid voor de veiligheid in Nederland. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap* 21(2):55-60
- Dort R van (2014). 50 jaar gasexplosies in de Nederlandse industrie. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap* 27(2):36-49
- Drupsteen L (2014). Improving organisational safety through better learning from incidents and accidents. PhD thesis Aalborg University, Denmark
- Dowell III A (2012). Is it really an independent protection layer? *Process Safety Progress* 30(2):126-131
- Fadier E, Garza C de la (2006). Safety design: Towards a new philosophy. *Safety Science* 44(1):55-73
- Fischhoff B (1995). From risk perception to risk communication: Risk perception and communication unplugged: 20 years of process. *Risk Analysis* 15(2):137-145
- Garbowski M, Roberts K (2016). Reliability seeking virtual organisations: challenges for high reliability organisations and resilience engineering. *Safety Science* (in press) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.02.016>
- Gezondheidsraad (1995). Niet alle risico's zijn gelijk. Kantekeningen bij de grondslag van de risicobenadering in het milieubeleid. Den Haag, Gezondheidsraad, publicatie nr. 1995/06
- Gezondheidsraad (1996). Risico, meer dan een getal. Handreiking voor een verdere ontwikkeling van de risicobenadering in het milieubeleid. Den Haag, Gezondheidsraad; publicatie 1996/03
- Gibson J (1961). The contribution of experimental psychology to the formulation of the problem of safety - a letter for basic research. *Behavioural Approaches to Accident Research*. Association for the Aid of Crippled Children, New York, 77-89, included in: Haddon W Suchman E, Klein D (Eds) (1964). *Accident research, methods and approaches*. Harper & Row, New York
- Groeneweg J (1992). Controlling the controllable, the management of safety. Proefschrift Rijksuniversiteit Leiden, DSWO Press, Leiden
- Grote G (2012). Safety management in different high-risk domains - all the same? *Safety Science* 50:1983-1992
- Guillaume E (2011). Identifying and responding to weak signals to improve learning from experiences in high-risk industry. Doctoral thesis, Delft University of Technology
- Gulijk C van, Swuste P, Zwaard W (2009). Ontwikkeling van veiligheidskunde in het interbellum en de bijdrage van Heinrich. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap* 22(3):80-95
- Guldenmund F, Hale A, Goossens L, Betten J, Duijn N (2006). The development of an audit technique to assess the quality of safety barrier management. *Journal of Hazardous Materials* 130(3):234-241
- Gunlach H (2002). Certification, a tool for safety regulation? In: Kirwan B Hale A Hopkins A (Eds.). *Changing regulations, controlling risk in society*. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 232-252. Pregamon, Oxford
- Haavik T, Antonsen S, Rosness R, Hale A (2016). HRO and RE: A pragmatic perspective. *Safety Science* (in press) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.010>
- Haddon W (1963). A note concerning accident theory and research with special reference to motor vehicle accidents. *Annals New York Accamy of Science* 107:635-646
- Hale A (2001). Regulating airport safety the case of Schiphol. NeTWork proceedings. Special issue *Safety Science* 37(2-3):127-149

- Hale A (2003). Safety Management in Production. *Human Factors & Ergonomics* 13(3):185-201
- Hale A (2014). Editorial. Foundation of safety science: a postscript. *Safety Science* 67:64-69
- Hale A, Heming B, Carthey J, Kirwan B (1997). Modelling of safety management systems. *Safety Science* 26(1/2):121-140
- Hale A, Hovden J (1998). Management and culture third age of safety. A review of approaches to organizational aspects of safety, health and environment. In: Feyer A Williamson A. Occupational injury, risk, prevention and intervention, p. 129-165. Taylor & Francis, London
- Hale A, Goossens L, Poel I van der (2002). Oil and gas industry regulation: from detailed technical inspection to assessment of safety management. In: Kirwan B, Hale A, Hopkins A (Eds.) Changing regulations, controlling risk in society. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 79-106. Pregamon, Oxford
- Hale A, Heijer T (2006). Defining resilience (p.35-40), Is resilience really necessary? The case of railways (p. 125-148). In Hollnagel E Woods, D Leveson, N (Eds).. Resilience engineering, concepts and precepts. Ashgate, Aldershot
- Hale A, Kirwan B, Kjellén U (2007). Editorial. In: Hale A, Kirwan B, Kjellén U (2007). Safety by design. NeTWork proceedings special issue *Safety Science* 45(1-2):3-327; Safety by design where are we now. NeTWork proceedings Special issue *Safety Science* 45(1-2):305-327
- Halpern J (1989). Cognitive factors influencing decision making in a highly reliable organization. *Industrial Crisis Quarterly* 3:143-158
- Haimes Y (1991). Total risk management. *Risk Analysis*, 11(2):169-171
- Harms-Ringdahl L (2004). Relationship between accident investigation risk analysis and safety management. *Journal of Hazardous Materials* 111(1-3):13-19
- Helderslot D (2009). Remembering Flixborough. *Journal of Chemical Safety* 46-47
- Hermans M, Fox T, Asselt M van (2012). In: Roeser S, Hillerbrand R, Sandin P, Petersen M (Eds.). Handbook of risk theory, volume 2, p. 1094-1117. Springer, Dordrecht
- Hermansson H (2005). Consistent risk management: three models outlined. *Journal of Risk Research* 8(7-8):557-568
- Hidden A (1989). Investigation into the Clapham Junction Railway accident. Her Majesty's Stationary Office, London
- Hollnagel E, Cacciabue P, Bagnara S (1994). The limits of automation in air traffic control and aviation Bulletin International. *Journal of Human-Computer Studies* 40:561-566
- Hollnagel E, Woods D, Leveson N (2006). Resilience engineering, concepts and precepts. Ashgate, Aldershot
- Hopkins A (1999a). Managing major disasters. Allen & Unwin St Leonards NSW
- Hopkins A (1999b). The limits of normal accidents theory. *Safety Science* 32(2-3):93-102
- Hopkins A (2000). Lessons from Longford: The Esso Gas Plant Explosion. CCH Australia Limited, Sydney
- Hopkins A (2001). Was 3 Mile Island a normal accident? *Journal of Contingencies and Crisis Management* 9(2):65-72
- Hopkins A (2008). Failure to learn: the BP Texas City Refinery disaster. CCH Australia Limited, Sydney
- Hopkins A (2012). Disastrous decisions. The human and organisational causes of the Gulf of Mexico blowout. CCH Australia Limited, Sydney
- Hopkins A (2014). Issues in safety science. *Safety Science* 67:6-14
- Hovden J (2002). The development of new safety regulations in the Norwegian oil and gas industry. In: Kirwan B, Hale A, Hopkins A (Eds.) (2002). Changing regulations, controlling risk in society. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p.57-77. Pregamon, Oxford
- HSE (Health and Safety Executive) (2003a). Out of control, why control systems go wrong and how to prevent failure. HMSO, London
- HSE (Health and Safety Executive) (2003b). Major Investigation report BP Grangemouth 29th May-10th June 2000. A public report prepared by the HSE on behalf of the competent authority, HSE, SEPA, HMSO, Colegate, Norwich
- Hudson P (2010). Safety science. It's not rocket science, it's much harder. Inaugural address Delft University of Technology, September 24th
- INSAG (1999). International Nuclear Safety Advisory Group. Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants (INSAG-13). International Atomic Energy Agency, Vienna
- Jongen M Swuste P (2014). Regelt veiligheidscultuur procesveiligheid? *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 27(1):22-25
- Joseph G (2003). Recent reactive incidents and fundamental concepts. *Journal of Hazardous Materials* 104(1-3):65-73
- Kasperson R, Renn O, Slovic P, Brown H, Emel J, Goble R, Karperson J, Ratick S (1990). The importance of the media and the social amplification of risk: The social amplification of risk; a conceptual framework. *Risk Analysis* 8(2):177-178
- Keller W, Modarres M (2005). A historical overview of probabilistic risk assessment developments and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen. *Reliability Engineering and System Safety* 89(3):271-285
- Khan F, Abbasi S (1999). Major accidents in process industries *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 12:361-378
- Kidam K, Hurme M, Hassin M (2010). Technical analysis of accidents in chemical process industry. *Chemical Engineering Transactions* 19:451-456
- Kinnersley S, Roelen A (2007). The contribution of design to accidents. NeTWork proceedings Special issue *Safety Science* 45(1-2):31-60
- Kirchsteiger C (1999). Trends in accidents disasters and risk sources in Europe. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 12:7-17
- Kirchsteiger C (2002). Towards harmonising risk-informed decision making: the ARAMIS and compass projects. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15(3):199-203

- Kirwan B (1998). Safety management assessment and task analysis – a missing link? In: Hale A Baram M (Eds.). Safety management, the challenge of change. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p.67-91. Pregamon, Oxford
- Kirwan B (2001). The role of the controller in the accelerating industry of air traffic management. NeTWork proceedings. Special issue Safety Science 37(2-3):151-185
- Kirwan B, Hale A, Hopkins A (2002). Insight into safety regulation. In: Kirwan B, Hale A, Hopkins A (Eds.). Changing regulations, controlling risk in society. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 1-12. Pregamon, Oxford
- Kjellén U (2002). Transfer of experience from users to design to improve safety in offshore oil and gas production. In: Wilpert B Fahlbruch B (Eds.). System safety. Challenges and pitfalls of interventions. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 207-224. Pregamon, Oxford
- Kjellén U (2007). Safety in the design of offshore platforms. Integrated safety versus safety as add-on characteristic. Safety Science 45(1-2):107-127
- Kloman H (1992). Rethinking risk management. The Geneva Papers on Risk and Insurance, 17(64):299-313
- Knegtering B, Pasman H (2009). Safety of the process industries in the 21st century: a changing need of process safety management for a changing industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22:162-168
- Kraaijvanger T (2014). De grootste kernrampen ooit Scientias.nl geraadpleegd januari 2016
- La Porte T, Consolini P (1991). Working in Practice but Not in Theory. Journal of Public Administration Research and Theory, 1(1):19-47
- La Porte T Thomas C (1995). Regulatory compliance and the ethics of quality enhancement: Surprises in Nuclear Power Plant operation. Journal of Public Administration Research and Theory 5(1):109-137
- Larsson T (2002). Pulverization of risk, privatization of trauma. In: Kirwan B, Hale A, Hopkins A (Eds.). Changing regulations, controlling risk in society. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 15-28. Pregamon, Oxford
- Le Coze J (2010). Accident in a French dynamite factory: an example of organisational investigation. Safety Science 48:80-90
- Le Coze J (2011). A study about changes and their impact on industrial safety. Safety Science Monitor 15(2):1-17
- Le Coze J (2015). Reflecting on Jens Rasmussen's legacy. A strong problem for a hard problem. Safety Science 71:123-141
- Le Coze J (2016). Vive la diversité! High Reliability Organisations (HRO) and Resilience Engineering (RE). Safety Science (in press) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.006>
- Lees F (1996). Loss Prevention in the Process Industries. Butterworth Heinemann, Oxford
- Lees F (2005). Loss Prevention in the Process Industries by Dr Sam Mannan. Butterworth Heinemann, Oxford
- Lemkowitz S, Wilde J de, Bibo B (1995). Use and misuse of science in predictive safety and environmental studies. In: Bishop P (Ed.). Proceedings Environmental training in engineering education, October 16-19, Ispra, Italy
- Lidskog R, Sundqvist G (2012). In: Roeser S, Hliierbrand R, Sandin P, Petersen M (Eds.). Handbook of risk theory, volume 2, p. 1001-1027. Springer, Dordrecht
- Löfstedt R, Renn O (1997). Examples of what social scientists can do: The Brent Spar controversy, an example of risk communication gone wrong. Risk Analysis 17(2): 131-136
- Maidment D (1997). Responding to public criticism of safety management systems. Is the response always effective and appropriate? In: Hale A, Wilpert B, Freitag M (Eds.) (1997). After the event, from accident to organisational learning. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 66-74. Pregamon, Oxford
- Mertens F (2011). Inspecteren, toezicht door inspecties. Sdu Uitgevers bv Den Haag
- Mihailidou E, Antoniadis K, Assael M (2012). The 319 major industrial accidents since 1917. International Review of Chemical Engineering 4(6):529-540;
- Mostia W (2010). Why bad things happen to good people. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 23(6):799-805
- Nachreiner F, Nickel P, Meyer I (2006). Human factors in process control systems: The design of human-machine interface. Safety Science 44(1):5-26
- Naevestad T (2008). Safety understanding among crane operators and process operators on a Norwegian offshore platform. Safety Science 46:520-534
- Office of Nuclear Regulations (UK) 2000-2010 <http://www.onr.org.uk/>, geraadpleegd januari 2016
- OGP (2010). International Association of Oil and Gas Producers. Risk assessment data directory Report 434-17 major industrial accidents. OGP, London
- Olsen S, Rasmussen J (1989). In: Bainbridge L, Ruiz S (Eds.). Developing skills with information technology. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork). Wiley Chichester
- Oostendorp Y Zwaard W Lemkowitz S Gulijk C van Swuste P (2013). Introductie van het begrip risico binnen de veiligheidskunde in Nederland. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 26(3-4):75-91
- Orton J, Weick K (1990). Coupled systems a reconceptualization. The Academy of Management review 15(2):203-223
- OVV (2013). Veiligheid in perspectief. Acht jaar ongevals-onderzoek door de Onderzoeksraad voor Veiligheid 2005-2012. Grapefish, Voorschoten
- Papadakis G Amendola A (Eds.) (1997). Guidance on the Preparation of a Safety Report to Meet the Requirements of Council Directive 96/82/EC (Seveso II), Joint Research Centre, European Commission, Luxembourg
- Papazoglou I Bellamy L Hale A Aneziris O Ale B Post J Oh J (2003). I-risk: development of an integrated technical and management risk methodology for chemical installations. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 16(6):575-591
- Pasman H (2000). Risk informed resource allocation policy: safety can safe costs. Journal of Hazardous Materials 71(1-3):375-394
- Pasman H (2009). Learning from the past and knowledge management: are we making progress? Journal of Loss Prevention 22(6):672-679

- Pasman H Duxbury H Bjordal E (1992). Major hazards in the process industry. *Journal of Hazardous Materials* 30(1):1-38
- Pasman H Baron R (2002). How is it possible? Why didn't we do anything? A case history! *Journal of Hazardous Materials* 93(1):147-154
- Pasman H Reniers G (2013). Past, present and future of quantitative risk assessment (QRA) and the incentive it obtained from Land-use Planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 28(1):2-9
- Paté-Cornell M (1993). Learning from the Piper Alpha accident: A post-mortem analysis of technical and organizational factors. *Risk Analysis* 13(2):215-232
- Perrow C (1984). *Normal accidents. Living with high-risk technologies.* BasicBooks, US
- Perrow C (1994). The limits of safety: the enhancement of a theory of accidents. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 2(4):212-220
- Perrow C (1999). *Normal accidents. Living with high-risk technologies.* Princeton University Press, Princeton NJ
- Pettersen K Schulman P (2016). Drift, adaptation and reliability: Towards an empirical clarification. *Safety Science* (in press) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.004>
- Pidgeon N O'Leary M (2000). Man-made disasters why technology and organizations (sometimes) fail. *Safety Science* 34(1):15-30
- Poyet C Leplat C (1993). Mixed technologies and management of reliability. In: Wilpert B Qvale T (Eds.). *Reliability and safety in hazardous work systems. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork). Approaches to analysis and design*, p.131-156. Lawrence Erlbaum Associates Publisher, Hove UK
- President's Commission (1979). *On the accident of Three Mile Island, The need for change: the legacy of TMI.* Washington DC
- Qureshi Z (2007). A review of accident modelling approaches for complex socio-technical systems. 12th Australian Workshop on safety (SCS'07), Adelaide
- Rasmussen J (1988). Human error mechanisms in complex working environments. *Reliability Engineering and System Safety* 22:155-167
- Rasmussen J (1990). The role of error in organising behaviour. *Ergonomics* 33(10-11):1185-1199
- Rasmussen J (1991). Modelling distributed decision making. In: Rasmussen J Brehmer B Leplat J (Eds.) *Distributed decision making. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork)*, p. 111-142. John Wiley & Sons Chichester
- Rasmussen J (1993a). Learning from the experience? How? Some research issues in industrial risk management. In: Wilpert, B. & T. Qvale (Eds.) *Reliability and safety in hazardous work systems. Approaches to analysis and design. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork)*, p. 43-66. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hove UK
- Rasmussen J (1993b). Diagnostic reasoning in action. *IEE Transactions on Systems* 23(4):981-992
- Rasmussen J (1994). Risk management, adaptation, and design for safety. In: Sahlin N Brehmer B (Eds.), *Future Risks and Risk Management*, Kluwer, Dordrecht
- Rasmussen J (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science* 27(2-3):183-213
- Rasmussen J Vicente K (1989). Coping with human errors through system design: implications for ecological interface design. *International Journal of Man Machine Studies* 31:517-534
- Rasmussen B Gronberg C (1997). Accidents and risk control. *Journal of Loss Prevention* 10(5-6):325-332
- Ravetz J (2001). Safety in a globalising knowledge economy: an analysis by paradoxes. *Journal of Hazardous Materials* 86(1):1-16
- Reason J (1990). *Human error.* Cambridge University Press, Cambridge
- Reason J (1993). Managing the management risk: new approaches to organisational safety. In: Wilpert B Qvale T (Eds.). *Reliability and safety in hazardous work systems. Approaches to analysis and design. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork)*, p. 7-22. Lawrence Erlbaum Associates-Publishers, Hove UK
- Reason J (1997). *Manging the risks of organizational accidents.* Ashgate, Aldershot
- Reason J Hollnagel E Paries J (2006). Revisiting the Swiss cheese model – Eurocontrol EEC Note No. 13/06. European organisation for the safety of air navigation. Centre de Bois des Bordes
- Reiman T Oedewald P (2007). Assessment of complex sociotechnical systems – theoretical issues concerning the use of organizational culture and organizational core task concepts. *Safety Science* 45(7):745-768
- Reniers G Dullaet W Ale B Soudan K (2005). Developing an external domino accident prevention. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18(3):127-138
- Reniers G Ale B Dullaert W Soudan K (2009). Designing continuous safety improvement within chemical industrial areas. *Safety Science* 47(5):578-590
- Rijpma J (1997). Complexity, tight coupling and reliability: connecting normal accidents theory and high reliability theory. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 5(1):15-23
- Rijpma J (2003). From dedlock to dead end: the normal accidents-high reliability debate revisited. Book review essay. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 11(1):37-45
- Rio Declaration (1992). Report of the United Nations conference on environment and development, Rio de Janeiro, 3-14 June. Annex I Rio declaration on environment and development
- Roberts K (1989). New challenges in organizational research: high reliability organizations. *Industrial Crisis Quarterly* 3:111-125
- Roberts K (1990). Some characteristics of one type of high reliability organisation. *Organization Science* 1(2):160-177
- Roberts K, Hulin C, Rousseau D (1978). *Developing an Interdisciplinary Science of Organizations.* Jossey-Bass, San Francisco.
- Roberts K, Rousseau D (1989). Research in nearly failure-free, high reliability organizations: having the bubble. *IEE Transactions on Engineering Management* 36(2):132-139

- Rochlin G (1999). Safe operation as a social construct. *Ergonomics* 42(11):1549-1560
- Rochlin G, La Porte T, Roberts K (1987). The self-designing high reliability organization: aircraft carrier flight operation at set al. *Naval War College Review* 40:76-90
- Rochlin G (1989). Informal organisational networking as a crisis avoidance strategy US naval flight operation. *Industrial Crisis Quarterly* 3:159-176
- Rosness R (2009). Classifying the cases. *NeTWork proceedings special issue Safety Science* 47(6):899-901
- Rowe W (1988). *An anatomy of risk*. Robert Krieger Publishing Company, Malabar FL
- Sagan S (1993). *The Limits of Safety: Organizations, Accidents, and Nuclear Weapons*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Saleh J, Marais K, Bakolas E, Cowlagi R (2010). Highlights from the literature on accident causation and system safety. *Reliability Engineering & System Safety* 95:1105-1116
- Schein E (1996). Three cultures of management. The key to organisational learning. *Sloan Management Review* 38(1):9-20
- Sharlin H (1989). Risk perception, changing the terms of the debate. *Journal of Hazardous Materials* 21(3):261-272
- Shepherd A (1989). Training issues in information technology tasks. In: Bainbridge L, Ruiz S (Eds.) (1989). *Developing skills with information technology*. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 191-201. Wiley Chichester
- Shrader K (1990). The social construction of risk: Scientific method, anti-foundationalism and public decision making. *Risk Health Safety and Environment* 1(1):23-41
- Shrivastava P (1992). *Bhopal, anatomy of a crisis*. Paul Chapman Publishing, London
- Shrivastava S, Sonpar K, Pazzaglia F (2009). Normal accident theory versus high reliability theory. *Human relations* 62(9):1357-1390
- Simpson R (1996). Neither Clear Nor Present: The Social Construction of Safety and Danger. *Sociological Forum* 11(3):549-562
- Sitter L de (1975). *Werkoverleg en werkstructurering in Zweden: een verslag van 500 bedrijfsexperimenten op de werkvloer*. Den Haag: Nederlandse Vereniging voor Management – NNE, no. 604
- Slovic P (1993). Trust: perceived risk, trust and democracy. *Risk Analysis* 13(6):675-682
- Slovic P (1998). The risk game. *Reliability Engineering & System Safety* 59(1):73-77
- Slovic P (1999). Trust, emotion, sex politics, and science: surveying the risk-assessment battlefield. *Risk Analysis* 19(4):689-701
- Slovic P, Finucane M, Peters E, MacGregor D (2004). Risk as analysis and risk as feelings: some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. *Risk Analysis* 24(2):311-322
- Smallman C (1996). Challenging the orthodoxy in risk management. *Safety Science* 22(1-3):245-262
- Snook S (2000). *Friendly fire, the accidental shoot down of US black hawks over northern Iraq*. Princeton University Press, Princeton NJ
- Steffy L (2011). *Drowning in oil, BP and the reckless pursuit of profit*. McGraw-Hill, New York
- Summers A (2003). Introduction to layers of protection analysis. *Journal of Hazardous Materials* 104:163-168
- Svedung I, Rasmussen J (1998). Organisational decision making and risk management under pressure from fast technological change. In: Hale A, Baram M (Eds.) (1998). *Safety management, the challenge of change*. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p. 249-264. Pergamon, Oxford
- Swuste P, Gulijk C van, Zwaard W (2009). Ongevalscausaliteit in de negentiende en in de eerste helft van de twintigste eeuw, de opkomst van de brokkenmakers-theorie in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië en Nederland. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 22(2):46-63
- Swuste P, Gulijk C van, Zwaard W, Oostendorp Y (2011). Veiligheidstheorieën, -modellen en metaforen in de drie decennia na de Tweede Wereldoorlog, in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië en Nederland. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 24(3):79-91
- Swuste P, Jongen M (2011). Resilience, wat wordt ermee bedoeld? *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 24(2):68-70
- Swuste P, Frijters A, Guldenmund F (2012). Is it possible to influence safety in the building sector? A literature review extending from 1980 until the present. *Safety Science* 50:1333-1343
- Swuste P, Gulijk C van, Zwaard W, Oostendorp Y, Groeneweg J (2014). *Veiligheidsmanagement en -systemen vanaf de 19e eeuw tot heden, een overzicht van Engels- en Nederlandstalige literatuur, deel 1: 19e eeuw tot 1979*. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 27(3):84-105
- Swuste G, Groeneweg J, Gulijk C van, Zwaard W, Lemkowitz S (2015). *Van Three Mile Island tot Piper Alpha. Veiligheidsmanagement en veiligheidssystemen, een overzicht van Engels- en Nederlandstalige literatuur, Deel 2, de periode 1979-1988*. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 28(4):131-158
- Swuste G, Groeneweg J, Gulijk C van, Zwaard W, Lemkowitz S (2016a). *Veiligheidsmanagement en veiligheidssystemen voor arbeidsveiligheid, een overzicht van Engels- en Nederlandstalige literatuur. Deel 3, de periode 1988-2010 – Arbeidsveiligheid*. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 29(4):130-162
- Swuste P, Theunissen J, Schmitz P, Reniers G, Blokland P (2016b) *Process safety indicators, a review of literature*. *Journal of Loss Prevention in Process Industries* 40:162-173
- Swuste P, Reniers G (2016). *Seveso inspections in the European low countries. History, implementation, and effectiveness of the European Seveso Directives in Belgium and the Netherlands*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (in press)
- Taylor R (2007). Statistics of design error in the process industries. *NeTWork proceedings Special issue Safety Science* 45(1-2):61-73
- Thomson J (2013). *Refinery major accident losses 1972-2011*. Safety in Engineering Ltd
- Trist E, Bamforth K (1951). Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting. *Human Relation* 4:3-38

- Trist E (1981). The evolution of socio-technical systems, a conceptual framework and an action research program. York University, Toronto
- Turner B (1978). Man-made disasters. Butterworth-Heinemann Oxford
- Turner B (1989). Accidents and non-random error propagation. *Risk Analysis* 9(4):437-444
- Turner B (1994). Causes of disaster, sloppy management. *British Journal of Management* 5(3):215-219
- Turner B, Pidgeon N (1997). Man-made disasters. 2e editie Butterworth-Heinemann, Oxford UK
- US-NRC United States Nuclear Regulatory Commission (2016). Historical Review and observations of Defence in Depth. Brookhaven National Laboratory, Upton NY
- Vaughan D (1996). The Challenger launch decision. Risky technology, culture, and deviance at NASA. The University of Chicago Press, Chicago
- Visser K (1998). Developments in HSE Management in Oil and Gas Exploration and Production. In: Hale A Baram M (Eds) Safety management, the challenge of change, p. 43-66. Pergamon, Amsterdam
- Vlek C (1990). Beslissen over risico-acceptatie, rapport A90/10, Gezondheidsraad Den Haag
- Vlek C (2010a). Judicious management of uncertain risks I Developments and criticisms of risk analysis and precautionary reasoning. *Journal of Risk Research* 13(4):517-543
- Vlek C (2010b). Judicious management of uncertain risks II Simple rules and more intricate models for precautionary decision making. *Journal of Risk Research* 13(4):545-569
- Vollenhoven P (2008). Maatschappelijk debat over de essentiële veiligheidsrelatie tussen overheid en samenleving. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 21(2):51-54
- Vuuren W van (1998). Organisational failure, an exploratory study in the steel industry and the medical domain. PhD thesis Institute for Business Engineering and Technology Application Technical University Eindhoven
- Wagenaar W, Groeneweg J, Hudson P, Reason J (1994). Promoting safety in the oil industry. The Ergonomics Society Lecture Presented at the Ergonomics Society Annual Conference, Edinburgh, 13-16 April. *Ergonomics* 37(12):1999-2013
- Wagenaar W (1998). People make accidents but organisations cause them. In: Feyer A Williamson A. Occupational injury, risk, prevention and intervention, p. 121-128. Taylor & Francis, London
- Weick K (1989a). Mental models of high reliability systems. *Industrial Crisis Quarterly* 3:127-142
- Weick K (1989b). Theory construction as disciplined imagination. *The Academy of Management Review* 14(4):516-531
- Weick K (1991). The nontraditional quality of organisational learning. *Organisation Science* 2(1):116-124
- Weick K (1995). Sensemaking in organisations. Sage Publications Inc. Thousand Oaks CA
- Weick K, Roberts K (1993). Collective mind in organisations. *Administrative Science Quarterly* 38(3):357-381
- Weick K, Sutcliff K (2001). Manging the unexpected. Resilience performance in the age of uncertainty. John Wiley & Sons, Inc (2e editie 2007)
- Wikipedia (2016). Ontsporingen 2015 oil rig fires 2015; 50 major engineering failures 1989-2001; major industrial accidents 1989-2006; List of aircraft accidents resulting in at least 50 fatalities (alleen commerciële ongevallen meegenomen); List of accidents and incidents involving commercial aircraft List of accidents and disasters by death toll, geraadpleegd januari 2016
- Wilpert B (2002). Foreword. In: Wilpert B, Fahlbruch B (Eds.). System safety. Challenges and pitfalls of interventions. Interdisciplinary study group New Technology and Work (NeTWork), p vii-ix. Pregamon, Oxford
- Wilpert B (2009). Impact of globalization on human work. NeTWork proceedings special issue *Safety Science* 47(6):727-732
- Woo D, Vincente K (2003). Sociotechnical systems, risk management, and public health: comparing the North Battleford and Walkerton outbreaks. *Reliability Engineering & System Safety* 80(3):253-269
- Woods D (1990a). Risk and Human Performance Measuring the potential for disaster. *Reliability Engineering & System Safety* 29(3):387-405
- Woods D (1990b). On taking human performance seriously in risk analysis. Comment on Dougherty. *Reliability Engineering & System Safety* 29(3):375-381
- Zwaailichten.org (2016). Overzicht van rampen en ernstige incidenten na 1945, geraadpleegd januari 2016

Bijlage 1: 'Man-made'-storingen en majeure ongevallen in high-tech-high-hazard-sectoren, gerapporteerd uit openbaar toegankelijke literatuur.

(Lees, 1996, 2005; Rasmussen en Gronberg, 1997; Khan en Abassi, 1999; Chemical Safety Board 1988-2010; Office of Nuclear Regulations 2000-2010; HSE, 2003a; Kinnersley en Roelen, 2007; Clough, 2009; OGP, 2010; Abdolhamidzadeh et al., 2011; Mihailidou et al., 2012; Thomson 2013; Dort, 2014; Kraaijvanger, 2014; Wikipedia, 2016; Zwaailichten, 2016)

datum	LUCHTVAART land – locatie, bedrijf (als bekend)	type	directe oorzaak	gebeurtenis	doden †; gewonden (gew)
1989					
10 mrt	Canada – Dryden Ont Air Ontario	Fokker	ijsvorming	verongelukt	24†
8 sep	Denemarken – Skagerrak Hirtshals Partnair	Convair		verongelukt	55†
8 feb	Portugal – Pico Alto Azoren Independent Air	Boeing		verongelukt	144†
8 jan	UK – Kegworth	Boeing	afbreken rotorblad	verongelukt	47†, 74 gew
19 jul	US – Sioux City IA United Airlines	DC	motor	verongelukt	111†
15 dec	US – Anchorage AK KLM	Boeing	vulkaan as	veilige landing	
1990					
	Noordzee – Brent Spar Helideck	helicopter	botsing	verongelukt	6†
10 jun	UK – Didcot Oxfordshire British Airways	BAC	decompressie	veilige landing	
4 jan	US – Madison FL NorthWest Airlines	Boeing	verlies motor	veilige landing	
25 jan	US – Cove Neck NY Avianca	Boeing		verongelukt	73†
25 nov	US – Denver CO	opslag vliegveld	jet brandstof	brand	
3 dec	US – Detroit MI NW Airlines	DC-Boeing		botsing vliegveld	8†
14 nov	Zwitserland – Zürich Alitalia	DC		verongelukt	46†
1991					
5 feb	Griekenland – Mount Othrys Elleniki Polemiki	Lockheed		verongelukt	63†
	Noorwegen – Noo Ekofisk veld	helicopter			3†
1 feb	US – Los Angeles USAir	Boeing-Fairchild		botsing vliegveld	
3 mrt	US – Colorado Springs CO United Airlines	Boeing		verongelukt	25†
5 apr	US – Brunswick GA Atlantic Set	Embraer		verongelukt	23†
11 sep	US – Eagle lake TX Continental Expr	Embraer		verongelukt	14†
27 dec	Zweden – Stockholm Scandinavian Airline	MD		noodlanding	25 gew
1992					
20 jan	Frankrijk – Barr Air Inter	Airbus		verongelukt	87†
4 okt	Nederland – Amsterdam Bijlmer EI AI	Boeing	verlies motoren	verongelukt	43† 25 gew
21 dec	Portugal – Faro Martinair	DC	windsheer	verongelukt	56† 106 gew
22 mrt	US – New York USAir	Fokker	ijsvorming	verongelukt	27†
30 jul	US – New York NY TWA	Lockheed		brand op vliegveld	
1993					
6 jan	Frankrijk – Parijs Lufthansa City Line	Havilland		verongelukt	4†
18 apr	Japan – Hanamaki Jap Air	DC	windsheer		-
4 apr	Nederland – Schiphol	cityhopper	oliedruk motor	verongelukt	3† 9 gew
27 okt	Noorwegen – Overhalla Widerøe	Havilland		verongelukt	6†
6 apr	US – Aleutian Eilanden AK Chi E-Airl.	MD		verongelukt	2†
1 dec	US – Hibbing MA Northwest airlines	Jetstream		verongelukt	18†
1994					
26 apr	Japan – Nagoya Chi Airlines	Airbus	bedieningsfout	verongelukt	264†
4 apr	Nederland – Amsterdam KLM Cityhopper	Saab		verongelukt	2† 9 gew
21 dec	UK – Coventry	Boeing		verongelukt	5†
2 jul	US – Charlotte NC USAir	DC	storm	verongelukt	37†
8 sep	US – Aliquippa PA US Air	Boeing		verongelukt	132†
31 okt	US – Roselawn IN American Eagle	ATR		verongelukt	68†
22 nov	US – St Louis MO TWA	MD-Cessna		botsing vliegveld	2†
1995					
13 dec	Italië – Verona Banat Air	Antonov		verongelukt	49†
9 jun	Nieuw Zeeland – Tararua Ranges Ansett NwZ	Havilland		verongelukt	4†
21 aug	US – Carrollton GA Atlantic Southeast	Embraer		verongelukt	9†

datum	LUCHTVAART land – locatie, bedrijf (als bekend)	type	directe oorzaak	gebeurtenis	doden †; gewonden (gew)
1996					
6 feb	Atlantische Oceaan – Puerto Plata Birgenair	Boeing		verongelukt	189†
13 jun	Japan – Fukuoka Garuda Indonesia	DC	tart motor	ongeluk startbaan	3†
15 jul	Nederland – Eindhoven	Hercules	vogelzwerm	verongelukt	34† 7 gew
25 sep	Nederland – Den Helder	Dakota	mechanisch falen	verongelukt	32†
29 aug	Noorwegen – Svalbard Vnukovo Airlines	Tupolev		verongelukt	153†
11 mei	US – Florida Everglades ValuJet	DC		verongelukt	110†
9 jun	US – Richmond VA Eastwind Airlines	Boeing		noodlanding	-
6 jul	US – Pensacola FL Delta Air Lines	MD	motor falen	verongelukt	2† 1 gew
17 jul	US – East Moriches NY TWA	Boeing		verongelukt	230†
22 dec	US – Narrows VA Airborne Express	DC		verongelukt	
1997					
17 dec	Griekenland – Tessaloniki Aerovit	Yakovlev		verongelukt	70†
28 dec	Japan – Tokyo United Airlines		weer		-
8 sep	Noorwegen – Noo Norne FPU	helicopter		verongelukt	12†
9 jan	US – Ida MI Comair	Embraer		verongelukt	29†
31 jul	US – Newark NJ FedEx Express	MD		verongelukt	5†
6 aug	US – Asan Guam Stille Oceaan Kor Air	Boeing		verongelukt	228†
7 aug	US – Miami FL Fine Airlines	DC		verongelukt	
1998					
2 sep	Canada – Halifax Swissair	MD		verongelukt	229†
25 sep	Spanje – Malaga PaukAir	Bae		verongelukt	38†
1999					
2 sep	Canada – Peggys Cove NS Swissair	DC		verongelukt	229†
25 nov	Italië – Adriatische zee	helicopter		verongelukt	13†
12 jan	Kanaaleiland – Guernsey	fokker		verongelukt	
13 jan	Nederland – Schinveld		mechanisch falen	verongelukt	4†
14 sep	Spanje – Girona Britannia Airways	Boeing	storm	verongelukt	1† 42 gew
22 dec	UK – Great Hallingbury Kor Air Cargo	Boeing		verongelukt	4†
1 jun	US – Little Rock AR American Airlines	MD		verongelukt	11† 86 gew
21 okt	US – Nantucket MA Egypt Airlines	Boeing		verongelukt	
31 okt	US – Nantucket MA Egypt Air	Boeing		verongelukt	217†
2000					
25 mei	Frankrijk – Parijs Air Liberté	MD	botsing startbaan	verongelukt	1† 1 gew
25 jul	Frankrijk – Parijs Air France	Concorde		verongelukt	104†
4 jul	Griekenland – Tessaloniki Malév	Tupolev		verongelukt	-
12 jul	Oostenrijk – Wenen Hapag-Lloyd	Airbus		verongelukt	-
31 jan	US – Anacapa Islands CA Alaska Airl	DC		verongelukt	88†
16 feb	US – Rancho Cordova CA Emery Worldwide Air	MD	botsing	verongelukt	3†
5 mrt	US – Burbank CA Southwest Airlines	MD		verongelukt	43 gew
10 jan	Zwitserland – Niederhasli Crossair	Saab		verongelukt	10†
2001					
8 okt	Italië – Milaan SAS privaat	DC-Cessna		mid-air botsing	118†
12 nov	US – New York NY Am Airlines Boeing	Airbus	turbulentie	verongelukt	265†
2002					
1 juli	Duitsland – Überlingen Bashkirian – DHLB	Tupolev Boeing	controller-systeem	mid-air botsing	71†
6 nov	Luxemburg – Luxembourg	Fokker	mist	verongelukt	20†
16 jul	UK – Noo Leman veld	helicopter		verongelukt	11†
10 jul	Zwitserland – Werneuchen Swiss International	Saab	storm		-
2003					
14 okt	Canada – Halifax	Boeing		verongelukt	7†
8 jan	US – Charlotte Air Midwest	Beechcraft		verongelukt	21†
24 mrt	US – Golf van Mexico	helicopter		verongelukt	11†
13 aug	US – Covington KY	Convair		verongelukt	1†
19 okt	US – Kirksville Mo	Jetstream		verongelukt	13†
18 dec	US – Memphis TN FedEx Express	MD		verongelukt	-

datum	LUCHTVAART land – locatie, bedrijf (als bekend)	type	directe oorzaak	gebeurtenis	doden †; gewonden (gew)
2005					
14 aug	Griekenland – Grammatiko Helios Airways	Boeing		verongelukt	121†
6 aug	Italië – Palermo Tuninter	ATR		verongelukt	16†
20 feb	UK – Manchester British Airways	Boeing	motor	noodlanding	-
9 jun	US – Boston US Airways	Airbus	brand	verongelukt	-
21 sep	US – Los Angeles CA JetBlue Airways	Airbus	landingsgestel	noodlanding	-
8 dec	US – Chicago IL Southwest Airlines	Boeing	sneeuw	verongelukt	1†
19 dec	US – Miami FL Chalk's Ocean Airways	Grumman		verongelukt	20†
2006					
13 aug	Italië – (tart) Air Algérie	Lockheed		verongelukt	3†
10 okt	Noorwegen – Stord Atlantic Airways	Bae		verongelukt	4†
28 dec	UK – Noo Morecambe baai	helicopter		verongelukt	7†
2007					
9 sep	Denemarken – Aalborg Scandinavian Airlines	Havilland	landingsgestel	verongelukt	-
27 okt	Denemarken – Kopenhagen Scandinavian A	Havilland	landingsgestel	verongelukt	-
9 aug	Frankrijk – Polynesië Air Moorea	Havilland		verongelukt	11†
20 aug	Japan – Naha China Airlines	Boeing	brand	verongelukt	165 gew
2008					
7 okt	Australië – Exmouth Quantas	Airbus		verongelukt	70 gew
10 nov	Italië – Rome Ryanair	Boeing	vogels	noodlanding	10 gew
20 aug	Spanje – Madrid Spanair	DC		verongelukt	154†
17 jan	UK – London British Airways	Boeing	brandstof	verongelukt	-
20 dec	US – Denver Continental Airlines	Boeing	storing motor	noodlanding	38 gew
2009					
1 jul	Atlantische Oceaan St Peter-Paul Air France	Airbus		verongelukt	228†
20 mrt	Australië – Melbourne Emiratens	Airbus	start raakt grond		-
12 mrt	Canada – Newfoundland Atlantic Cougar Heli	heli Sikorsky	storing motor	verongelukt	17†
23 mrt	Japan – Narita FedEx Express			verongelukt	2†
25 feb	Nederland – Haarlemmermeer Turkish Boeing			verongelukt	9† 121 gew
22 okt	Nederland – Bonaire Divi Air	Britten-Norman	motor	verongelukt	1†
1 apr	UK – Aberdeen Bond Eurocopter	helicopter	motor	verongelukt	16†
15 jan	US – New York US Airways	Airbus	vogels	noodlanding Hudson	-
12 feb	US – Clarence Center NY Colgan Air	Bombardier		verongelukt	50†
30 jun	US – Charleston WV SW Airl	Boeing	decompressie	noodlanding	-

datum	TRANSPORT (trein) land locatie (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
1988				
12 dec	UK – Londen Clapham Junction	botsing	ontsporing	35† 100 gew
1989				
3 apr	Italië – San Severo		ontsporing	
16 nov	Italië – Crotone	trein-trein botsing		12† 32 gew
4 mrt	UK – Purley	trein-trein botsing		6† 94 gew
6 mrt	UK – Glasgow	trein-trein botsing		2†
22 mrt	UK – Peterborough	explosieven	explosie	1† 107 gew
6 nov	UK – Huddersfield	trein-trein botsing		17 gew
2 feb	US – Helena MT	gevaarlijke stoffen	LOC	
12 mei	US – San Bernardino	ontsporing pijpleiding	brand	4†
1990				
5 aug	Canada – Kinsella Alberta		olietruck-trein botsing brand	3†
2 feb	Duitsland – Rüsselsheim		trein-trein botsing	17† 80 gew
7 mrt	US – Philadelphia PA		ontsporing	3† 150 gew
12 dec	US – Boston MA		trein-trein botsing	453 gew
1991				
16 okt	Frankrijk – Melun		trein-trein botsing	16†

datum	TRANSPORT (trein) land locatie (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
14 mei	Japan – Shigaraki Shiga			42†
16 mei	UK – Bradford-on-Tone Somerset		ontsporing brand	
21 jul	UK – Glasgow			4† 22 gew
12 nov	UK – Stanedge West Yorkshire		ontsporing tunnelbrand	
7 dec	UK – Newport Severn Tunnel	botsing		185 gew
15 jul	US – Dunsmuir CA	herbiciden	herbiciden LOC	
29 jul	US – Ventura CA	chemicaliën	chemicaliën LOC	
31 jul	US – Lugoff SC		trein-trein botsing	8† 76 gew
28 aug	US – New York NY		ontsporing	5† 200 gew
16 feb	Zwitserland – Saxon		kraan-trein botsing	
1992				
25 sep	Denemarken – Naestved	botsing	Emissive CH ₂ N	
15 nov	Duitsland – Northeim		trein-trein botsing	11† 52 gew
31 okt	Nederland – Eindhoven		trein-trein botsing	11 gew
30 nov	Nederland – Hoofddorp		ontsporing	5† 33 gew
29 apr	US – Newport News VA		truck-trein botsing	1† 54 gew
12 aug	US – Newport News			12 gew
8 aug	Zwitserland – Zurich		tram-trein botsing	1† 9 gew
1993				
5 feb	Nederland – Den Haag		trein-trein botsing	21 gew
22 sep	US – Mobile AL	brug	ontsporing	47†
11 nov	US – Kelso WA		trein-trein botsing	5†
1994				
29 sep	Duitsland – Bad Bramstedt		trein-trein botsing	6† 67 gew
25 jun	UK – Greenock Schotland		ontsporing	2†
15 okt	UK – Cowden		trein-trein botsing	5† 12 gew
16 mei	US – Selma AL		container-trein botsing	1† 100 gew
3 aug	US – Batavia NY		ontsporing	108 gew
14 dec	US – Alray CA		trein-trein botsing	
8 mrt	Zwitserland – Zurich		ontsporing	3 gew
21 mrt	Zwitserland – Däniken		kraan-trein botsing	9†
1995				
11 aug	Canada – Toronto Ont		metro-trein botsing	3† 30 gew
25 dec	Spanje – Jaèn	brug	ontsporing	2†
31 jan	UK – Ais Gill Cumbria		ontsporing	1† 30 gew
26 mei	US – Flomaton AL		trein-trein botsing LOC C ₂ H ₃ Cl	
16 jun	US – Gettysburg PA	boiler	explosie	3 gew
9 okt	US – Palo Verde AZ		ontsporing	1† 78 gew
25 okt	US – Fox River Grove IL		bus-trein botsing	7†
1996				
21 apr	Finland – Joleka		trein-trein botsing	4† 75 gew
18 nov	Frankrijk-UK – kanaaltunnel		tunnelbrand	34 gew
8 mrt	UK – Watford		trein-trein botsing	1† 22 gew
1 feb	US – San Bernardino CA	ontsporing	LOC gevaarlijke chemicaliën	2† 12 gew
16 feb	US – Silver Spring MD		trein-trein botsing	11†
4 mrt	US – Weyauwega WI		ontsporing C ₃ H ₈ brand	
16 sep	Zwitserland – Courfaivre		trein-trein botsing	30 gew
1997				
23 okt	Australië – Beresfield NSW		trein-trein botsing	
9 dec	Duitsland – Hanover		trein-trein botsing	90 gew
19 sep	Italië – Piacenza		trein-trein botsing	8† 29 gew
13 nov	Zwitserland – Appenzell		trein-trein botsing	17 gew
1998				
3 jun	Duitsland – Eschede		ontsporing	101†
6 mrt	Finland – Jyväskylä		ontsporing	10† 94 gew
13 jul	Nederland – Weert		tractor-trein botsing	1† 4 gew

datum	TRANSPORT (trein) land locatie (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
10 mrt	US – Buffalo MT		bus-trein botsing	2† 4 gew
15 mrt	US – Bourbonnais IL		truck-trein botsing	11† 100 gew
2 okt	US – Hinesville GA		truck-trein botsing	2†
1 nov	Zwitserland – Bern		trein-trein botsing	2† >> gew
1999				
3 dec	Australië – Glenbrook NSW		ontsporing	7†
30 dec	Canada – Mount St Hilaire Quebec		trein-trein botsing oliebrand	2†
2 mrt	Duitsland – Göttingen		brand	-
5 okt	UK – Paddington London		trein-trein botsing	31† 400 gew
28 mrt	US – Tennga GA		bus-trein botsing	>>† gew
20 aug	US – Brookings SD		ontsporing	1† 1 gew
2000				
13 jul	Canada – Wainwright Alberta		truck-trein botsing	2 gew
8 mrt	Japan – Tokyp Naka Megurp		trein-trein botsing	5† 63 gew
4 jan	Noorwegen – Asta Amot		trein-trein botsing	19†
11 nov	Oostenrijk – Kaprun		tunnelbrand	155†
17 okt	UK – Hatfield Hertfordshire	verbrijzelde rails	ontsporing	4† 102 gew
1 nov	UK – Bristol		trein-trein botsing	
6 jun	Zwitserland – Hüs wil		trein-trein botsing	1†
2001				
27 mrt	België – Pécrot	taal	trein-trein botsing	8† 12 gew
7 feb	Canada – Toronto Ontario		ontsporing	2 gew
12 apr	Canada – Stewiacke Nova Scotia		ontsporing	22 gew
18 dec	Griekenland – Orestiada		ontsporing	1†
2 jul	Nederland – Eindhoven	gas vullen	explosie	10 gew
15 mei	UK – Great Heck North Yorkshire		auto-trein-trein botsing	10† 80 gew
15 mei	US – Toledo OH	runaway		
18 jul	US – Balitmore MD		ontsporing tunnelbrand	
11 sep	US – Marshall TX		trein-trein botsing	
13 sep	US – Wendover UT		trein-trein botsing	meerdere gew
2002				
13 okt	Australië – Benalla Victoria		truck-trein botsing	3† 1 gew
9 sep	Duitsland – Bad Münder		ontsporing LOC C ₃ H ₅ ClO	
6 nov	Frankrijk – Nabcy	brand		12† 9 gew
20 jul	Italië – Rometta Marea		ontsporing	8†
20 aug	Nederland – Amersfoort	lek CH ₂ HCN	LOC acrylonitril	
10 mei	UK – Potters bar London		ontsporing	7† 11 gew
24 nov	UK – Southall	ontsporing		geen gew
18 jan	US – Minot SD		ontsporing LOC NH ₃	1† > gew
18 apr	US – Cresent City Fl		ontsporing	4† 142 gew
23 apr	US – Placentia CA		trein-trein botsing	2† 22 gew
30 mei	US – Hempfield Townshio PA		auto-trein botsing	2† 2 gew
29 jul	US – Kensington MD		ontsporing	95 gew
15 sep	US – Farragut TN		ontsporing LOC H ₂ SO ₄	
27 sep	US – Jamaica NY		ontsporing	1†
21 feb	Zwitserland – Chiasso		trein-trein botsing	2† 3 gew
2003				
31 jan	Australië – Waterfall NSW		ontsporing	7†
3 feb	Australië – Melbourne Victoria	runaway		
11 jun	Duitsland – Schrozberg		trein-trein botsing	6† 25 gew
20 mrt	Nederland – Roermond		trein-trein botsing	1† 7 gew
15 jul	Nederland – Eindhoven	LPG	brand	1†
3 jun	Spanje – Albacete Valencia		trein-trein botsing	19†
7 jul	UK – Evesham Worcestershire		bus-trein botsing	3†
3 aug	UK – Romney		bus-trein botsing	1† 4 gew
20 jun	US – Commerce CA	runaway		

datum	TRANSPORT (trein) land locatie (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
12 okt	US – Chicago IL		ontsporing	45 gew
18 dec	US – Alexandria VA		ontsporing	
14 okt	Zwitserland – Zurich		trein-trein botsing	1† 45 gew
7 aug	Zwitserland – Gsteigwiller		trein-trein botsing	1† 63 gew
2004				
15 nov	Australië – Berajondo Queensland		ontsporing	
21 mei	Nederland – Amsterdam		trein-trein botsing	20 gew
11 jun	Nederland – Terneuzen	mobiele kraan	omgevalen	geen gew
30 sep	Nederland – Roosendaal		trein-trein botsing	20 gew
22 nov	Nederland – Arnhem	lek (CH ₃) ₃ OCH ₃	LOC	25 gew
15 feb	UK – Tebay Cumbria	runaway		4†
6 nov	UK – Ufton Nervet Berkshire		auto-trein botsing	7† 100 gew
28 jun	US – Macdona TX		trein-trein botsing LOC Cl ₂	6† 51 gew
11 nov	US – San Antonio TX		ontsporing	1†
29 nov	US – Richland FL		trein-trein botsing	1† 3 gew
10 sep	Zweden – Nosaby		truck-trein botsing	2† 47 gew
2005				
5 aug	Australië – Cheakamus British Col		ontsporing LOC NaOH	
1 aug	Griekenland – Kilkis		truck-trein botsing	1†
7 jan	Italië – Crevalcore		trein-trein botsing	17†
23 okt	Italië – Apulia Bari		ontsporing	
25 apr	Japan – Amagasaki Hyōgo		ontsporing	107† 549 gew
25 dec	Japan – Shonai Yamagata		ontsporing	5† 32 gew
5 sep	Nederland – Amersfoort		trein-trein botsing	10 gew
3 nov	Nederland – Wijhe		truck-trein botsing	1† 31 gew
26 jul	Oostenrijk – Gramatneusiedl		trein-trein botsing	13 gew
6 jan	US – Granitville SC		trein-trein botsing	9† 250 gew
26 jan	US – Glendale CA		auto-trein-trein botsing	11† 100 gew
5 mei	US – Galt IL		ontsporing	
10 jul	US – Anding MS		trein-trein botsing	2†
2 aug	US – Raleigh NC		truck-trein botsing	2†
17 sep	US – Chicago IL		ontsporing	83†
15 okt	US – Texarkana AR		trein-trein botsing LOC C ₃ H ₈ O ₂	1†
28 feb	Zweden – Ledsgard		ontsporing LOC Cl ₂	
2006				
28 apr	Australië – Victoria		truck-trein botsing	2† 28 gew
25 mei	Australië – Lismore Victoria		truck-trein botsing	
17 feb	Canada – Montreal	brug	ontsporing	
22 sep	Duitsland – Lathem Emsland		botsing	22†
11 okt	Frankrijk – Zoufftgen Metz		trein-trein botsing	5† 20 gew
17 okt	Italië – Rome		metro-metro botsing	1† 50 gew
13 dec	Italië – Avio		trein-trein botsing	2†
14 jul	Luxemburg		brand	31 gew
3 jan	Nederland – Voorst	scheurende tank	LOC C ₂ H ₅ OH	7 gew
24 jun	Nederland – Maastricht		trein-trein botsing	41 gew
20 nov	Nederland – Rotterdam		trein-trein botsing	
21 nov	Nederland – Arnhem		trein-trein botsing	31 gew
3 jul	Spanje – Valencia		ontsporing	41† 47 gew
21 aug	Spanje – Villada		ontsporing	6† 36 gew
6 jan	US – Possum Point VA		ontsporing	
16 jan	US – Brooks KY			
14 jun	US – Madera CA		trein-trein botsing	
1 jul	US – Abington PA		trein-trein botsing	36 gew
20 okt	US – New Brighton PA	brug	ontsporing C ₂ H ₅ OH brand	
9 nov	US – Baxter CA	runaway		2†
30 nov	US – North Baltimore OH		ontsporing	3 gew

datum	TRANSPORT (trein) land locatie (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
17 mei	Zwitserland – Thun		ontsporing	3†
2007				
5 jun	Australië – Kerang		truck-trein botsing	11† 23 gew
15 jun	Italië – Sardinië		trein-trein botsing	3†
13 mrt	Nederland – Amsterdam		trein-trein botsing	1 gew
23 feb	UK – Grayrigg Cumbria		ontsporing	1†
16 jul	US – Lakeland FL		auto-trein botsing	4†
17 jul	US – Plant City FL		auto-trein botsing	1†
3 okt	US – Port Wentworth GA		tractor-trein botsing	
9 nov	US – Anacostia rivier	brug	ontsporing	
30 nov	US – Chicago		trein-trein botsing	> gew
2008				
27 nov	Australië – Cardwell Queensland		truck-trein botsing	2† > gew
31 dec	Canada – Villeroy Quebec		ontsporing LOC C3H8	
26 apr	Duitsland – Landrückentunnel		schaap-trein contact	17 gew
7 mrt	Griekenland – Larissa		ontsporing	28 gew
11 okt	Nederland – Gouda		trein-trein botsing	
1 feb	UK – Barrow-on-Soar	brug	ontsporing	1 gew
1 mrt	UK – Tring	verlies container		
6 okt	UK – Whatley Quarry Somerset	runaway		
5 feb	US – Boswell IN		auto-trein botsing	2† 1 gewonde
17 mrt	US – Marysville WA		ontsporing	
25 mrt	US – Canton Junction MA	runaway		150 gew
28 mei	US – Woodland MA		trein-trein botsing	1† 12 gew
12 sep	US – Chatworth CA		trein-trein botsing	25† 135 gew
14 okt	US – Decator AL		ontsporing	1†
20 nov	US – Kent OH	brug	ontsporing	
22 nov	US – Clarendon TX		ontsporing	
15 dec	US – Marysville WA		auto-trein botsing	1 gewonde
2009				
1 jan	Australië – Innisfall Queensland		truck-trein botsing	1† 6 gew
5 jun	Canada – Oshawa ON		ontsporing	
12 sep	Duitsland – Lösnitzgrundbahn		trein-trein botsing	
16 sep	Ierland – Dublin	bus-tram botsing		21 gew
16 nov	Ierland – Wicklow		ontsporing	
29 jun	Italië – Viareggio		ontsporing explosie gas	32†
29 mei	Nederland – Zwolle		trein-trein botsing	1 gew
28 jun	Nederland – Halfweg		bus-trein botsing	7 gew
24 sep	Nederland – Barendrecht		trein-trein botsing	1† 1 gew
7 jan	US – Cincinnati OH		ontsporing LOC C ₃ H ₈	
19 jun	US – Rockford IL		ontsporing brand C ₂ H ₅ OH	1† > gew
22 jun	US – Washington WA		metro-metro botsing	9†
9 jul	US – Canton Township MI		auto-trein botsing	5†
24 nov	US – Houston TX		ontsporing	
2010				
15 feb	België – Buizingen		trein-trein botsing	18†
25 feb	Canada – St Charles d Bellechasse		ontsporing	4 gew
30 mrt	Canada – Pickering Ontario		ontsporing	
4 jan	Finland – Helsinki		ontsporing	
12 apr	Italië – Merano Zuid Tirool	landverschuiving		9† 28 gew
24 mrt	Noorwegen – Alnabu Oslo	runaway		3† 4 gew
4 jan	UK – Carrbridge		ontsporing	
12 feb	US – Farragut WA		ontsporing	1 gew
15 mrt	US – HoustonTX		bus-metro botsing	20 gew

datum	PROCESINDUSTRIE land locatie/bedrijf (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
1989				
7 mrt	België – Antwerpen BASF	(CH ₂) ₂ O	explosie	5 gew
	Duitsland – Worms	CO ₂	explosie	3† 25 gew
14 feb	Duitsland – Urdingen	reactiemengsel	gaswolk explosie	
5 jan	US – Los Angeles	Cl ₂	emissie	
7 jun	US – Morris IL	C ₃ H ₆	gaswolk brand	
23 okt	US – Pasadena TX Phillips	C ₄ H ₁₀ (iso)	gaswolk explosie	24† 314 gew
1990				
	Japan – Sodegraura	H ₂	explosie	10† 7 gew
15 nov	Portugal – Porto de Leixhos	C ₃ H ₈	gaswolk explosie	14† 76 gew
20 mrt	UK – Stanlow Shell	C ₆ H ₃ Cl ₂ NO ₂	interne explosie	1† 5 gew
25 jul	UK – Birmingham	Cl ₂ CO	emissie	60 gew
5 jul	US – Channelview TX Arco	brandbare stoffen	explosive vuurbal	17† 5 gew
19 jul	US – Cincinnati OH	C ₈ H ₁₀	gaswolk explosie	
1991				
13 dec	Nederland – Botlek DSM	onderhoud opslagtank	C ₆ H ₅ CO ₂ H	7† 3 gew
12 mrt	US – Seadrift TX	(CH ₂) ₂ O	gaswolk explosie	1†
1 mei	US – Serlington LA		explosie	8† 120 gew
17 jun	US – Charleston SC	reactor mengsel	interne explosie	
14 jul	US – Kensington GA	C ₄ H ₆	gaswolk explosie	
5 jan	Zwitserland – Nyon	Cl ₂	emissie	
1992				
23 jan	Duitsland – Schkopau	Cl ₂	emissie	186 gew
8 jul	Nederland – Uithoorn Cindu	oplopende temperatuur	explosie	3† 11 gew
21 jul	UK – Bradford Allied Colloids	opslag chemicaliën	brand	33 gew
sep	UK – Castleford Hickson & Welch	opslagtank	brand	5†
28 jul	US – Westlake LA	lasfout	explosie	32 gew
1993				
2 feb	Duisland – Giesheim	reactor mengsel	toxische LOC	
	Ierland – Ringskiddy	chemicaliën	explosie	
1994				
8 apr	Nederland – Zaandam Eurofill		explosie	1† 7 gew
27 mei	US – Bel Pre OH	CH's	explosie	3†
13 dec	US – Port Neal IA	NH ₄ NO ₃	explosie	4† 18 gew
1995				
9 okt	UK – Wilton Teeside BASF	CH ₂ CHCH ₃	brand	-
10 apr	US – Savannah GA Powell Duffryn	H ₂ S	brand	300 gew
1996				
	US – Martinez CA	H ₂ plant	brand	2 gew
1997				
2 mei	Japan – Yokkaichi Mie	erosie corrosie	C ₂ H ₄ explosie	
28 jan	Nederland – Botlek Kemira	schoonmaak	explosie TiCl ₄	1† 3 gew
22 jun	US – Deer Park TX		brand explosie	30 gew
	US – Burnside	droger	LPG	2† 2 gew
1998				
25 sep	Australië – Longford Vic	gas	brand explosie	2† 8 gew
21 sep	Frankrijk – Toulouse	NH ₄ NO ₃	explosie	29†2500gew
7 jan	US – Mustang NV Sierra Chemical Co		2 explosies	4† 6 gew
4 mrt	US – Pitkin LA Sdonat Exploration Co	overdruk vat	brand	4†
27 mrt	US – Hansville LA Union Carbide	O ₂ deficiëntie	verstikking	1† 1 gew
8 apr	US – Pattersen NJ Morton International	runaway	explosie	9 gew
1999				
8 jun	Duitsland – Wuppertal	NaOH	explosie	91 gew
okt	Nederland – Geleen DSM	HCN	emissie	-
19 feb	US – Allentown PA Concept Sciences	NH ₂ OH hoge T hoge c	explosie	5† 4 gew

datum	PROCESINDUSTRIE land locatie/bedrijf (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
2000				
29 mei	UK – Grangemouth BP	stroomstoring		
7 jun	UK – Grangemouth BP	Storing in stoomsysteem		
10 jun	UK – Grangemouth BP	Lekkage katalytische kraker	CH emissie	
27 mrt	US – Pasadena TX Phillips	CH ₂ (CH) ₂ CH ₂	explosie	1† 69 gew
2001				
21 sep	Frankrijk – Toulouse	NH ₄ NO ₃	explosie	30†5000gew
11 feb	US – St James	C ₆ H ₅ C ₂ H ₃	brand	-
13 mrt	US – Augusta GA BP Amaco	overdruk reactor	LOC heet plastic	3†
7 jul	US – Tusla OK	As	emissie	138 gew
1 mei	US – Brazoria County TX 3rd Coast Ind		brand	
14 aug	US – Festus MO DRC Enterprises	slangbreuk belading	LOC Cl ₂	66 gew
11 sep	US – Dayton OH	falende koeling	explosie	-
13 okt	US – Pascagoula MS First Chemical Co	destillatie kolom	explosie brand	
13 okt	US – Cincinnati OH Envirionmental	destillatie kolom	explosie brand	
	US – OH	chemicaliën	explosie	17 gew
	US – PA	dynamiet	explosie	1† 3 gew
	US – NV		brand, explosie	5 gew
2002				
	US – MS	droger, rubber	stofexplosie	4† 8 gew
	US – Austin TX	voeding	explosie	5 gew
2003				
1 apr	Nederland – Geleen DSM	opstart		3† 2 gew
2 jan	US – Gnadenhutten OH Catalyst Sys	vacuümdroger	explosie (C ₆ H ₅) ₂ C ₂ O ₄	1 gew
13 jan	US – Rosharon TX BLSR Operating Ltd	lozen afvalcondensaat	gaswolk explosie	3† 4 gew
29 jan	US – Kinston NC West Pharmaceutical	fijnstof onder dak	stofexplosie	6† 12 gew
11 apr	US – Louisville KY DD Williamson	overdruk vat	LOC NH ₃	1†
20 jul	US – Baton Rouge LA Honeywell	lek	LOC SbCl ₅ Cl ₂	4 gew
21 sep	US – Miami Township OH Isotech/Sigma	destillatie toren NO	Explosie LOC CO	1 gew
17 nov	US – Glendale AZ DPC Enterprises	belading	LOC Cl ₂	
2004				
1 jan	Australië – Moomba	broshheid metaal	gaswolk explosie	
12 apr	US – Dalton GA MFG Chemical	triallyl cyanurate	emissie	154 gew
23 apr	US – Illiopolis IL Formosa Plastic	oververhitting reactor	LOC C ₃ H ₅ OH	154 gew
23 apr	US – Illiopolis IL Formosa Plastic co		explosie	5† 2 gew
19 aug	US – Ontario CA Sterigenics	sterilisatiekamer	(CH ₂) ₂ O explosie	
1 okt	US – Washington DC	stof	stofexplosies	14†
3 dec	US – Houston TX Marcus Oil & Chemical	tank	explosie	1 gew
2005				
10 dec	Duitsland – Münchsmünster	C ₆ H ₁₄	gaswolk explosie	20 gew
15 mrt	Nederland – Groningen Perkinelmer	NaBH ₄	explosie	1† 1 gew
26 jan	US – Perth Amboy NJ Acetylene Service		explosie	3†
20 jun	US – Point Comfort TX Formosa Plastics		botsing gaswolk explosie	16 gew
24 jun	US – St Louis MO Praxair	gascylinders	brand	-
	US – Forth Worth TX	oplosmiddelen	explosie	4 gew
2006				
20 mrt	Japan – Nigata	methylcellulose	explosie	17 gew
8 mrt	Nederland – Rotterdam Nerefco		explosie	1 gew
31 jan	US – Morgantown NC Synthron Inc	batch proces	emissie CH ₂ COO(CH ₂) ₃ CH ₃	1† 12 gew
29 apr	US – TX	Ethyleen eenheid	brand explosie	
5 mei	US – Raleigh MS Partridge Raleigh	lassen productietank	explosie brand	3† 1 gew
14 jun	US – Bellwood IL Universal Form Co	mengafdeling	explosie brand	1† 5 gew
17 jul	US – Valley Center KS Barton Solvents	oplosmiddelen	brand explosie	
29 okt	US – Des Moines IA Barton Solvents	vullen tank	explosie CH ₃ COOC ₂ H ₅	
22 nov	US – Danvers MA CAI/Arnel Chemical	inkt verf	explosie	
19 dec	US – Jacksonville FL T2 Laboratorys Inc	runaway reactie	explosie (CH ₃ C ₅ H ₄)Mn(CO) ₃	4† 13 gew

datum	PROCESINDUSTRIE land locatie/bedrijf (als bekend)	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)	
2008					
3 jul	Australië – Varanus Eiland	gas	explosie	-	
	Canada – Toronto Sunrise Propane		explosie	2† 54 gew	
28 nov	Nederland – Rotterdam – Vopak		explosie	2 gew	
7 feb	US – Port Wentworth GA Imperial Sugar	verpakkingsafdeling	stofexplosie	14† 38gew	
11 jun	US – Houston TX Goodyear Tire-Rubber	onderhoud	warmtewisselaarNH ₃	1† 7 gew	
29 jul	US – Tomahawk WI Packaging Co	lassen tank	explosie H ₂	3† 1 gew	
11 okt	US – Petrolia PA INDSPEC Chemical Co	overslag rokend H ₂ SO ₄	emissie H ₂ SO ₄		
12 nov	US – Cheseapeake VA Allied terminals		tankbreuk	4 gew	
2009					
11 jul	Nederland – Nijmegen Kelco	carboxylmethylcellulose	brand	1†	
4 mei	US – West Carrollton OH Veolia Env.	dampen	brand explosie	22 gew	
9 jun	US – Garner NC ConAgra Foods		explosie	4† 12 gew	
7 dec	US – Belvidere IL NDK Crystal Inc		explosie	2 gew	
	US – Columbus WI Columbus Chem Ind		explosie	3 gew	
2010					
23 jan	US – Belle WV DuPont Co	lekkende slang	emissie CCl ₂ O	1†	
30 jan	US – Belle WV DuPont co		emissie CH ₃ Cl		
datum	UP-DOWNSTREAM land locatie – bedrijf (als bekend)	installatie	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
1988					
17 dec	Canada – Rowan Gorilla 1 Noordzee	platform	falende apparatuur	gezonken platform	-
1989					
7 aug	Griekenland – Aspropyrgos Attica	raffinaderij	pijpleiding	brand	
17 okt	Nederland – Botlek Paktank	tank	CH ₂ CHCN	explosie	3† 3gew
	Noorwegen – Noordzee Ekofisk P	platform		brand	-
20 jan	Noorwegen – Noordzee Saga 2/4-14	platform	blow-out		
18 apr	UK – Noordzee Cormorant A	platform		explosie	
8 jan	US – Golf v Mexico Teledyne Moble16	platform	blow-out	gezonken	
19 mrt	US – Golf v Mexico block 60	platform		brand explosie	7†
21 mrt	US – Golf v Mexico Arco Oli & Gas	platform	gas	explosie	7/24
24 mrt	US – Pr William AK Exxon Valdez	olietanker	olie	LOC	
25 mrt	US – San Bernadino CA	pijpleiding	benzine	brand	2† 3 gew
10 apr	US – Richmond CA Chevron	raffinaderij	H ₂	brand	8 gew
mei	US – Anchorage Cook Inlet Union	platform		explosie brand	3 gew
5 sep	US – Martinez CA Tosco Avon	raffinaderij	H ₂ CH's	brand of explosie	1† 44 gew
3 okt	US – Sabine Pass TX	pijpleiding	gas	LOC	
3 okt	US – Golf v Mexico	pijpleiding		botsing explosie	11†
nov	US – Golf v Mexico Penrod Drilling	platform		explosie	13 gew
24 dec	US – Baton Rouge LA Exxon	raffinaderij	C ₂ H ₆ C ₃ H ₈	gaswolk explosie	1†
1990					
1 apr	Australië – Sydney BORAL	LPG opslag	LPG	bleve	
	Australië – St Peters	LPG opslag	LPG	explosie	-
14 mei	Nederland – Botlek Esso	raffinaderij	coating tank	explosie	1†
aug	Noordzee – Fulmar Alpha Shell	platform		explosie	3 gew
24 jan	US – Golf v Mexico	pijpleiding		condensaat-LOC	
3 mrt	US – North Blenheim NY	pijpleiding	C ₃ H ₈	gaswolk brand	2† 7 gew
1 apr	US – Warren PA	raffinaderij	LPG	explosie brand	
6 mei	US – Golf v Mexico	pijpleiding		grote olie-LOC	
30 mei	US – Golf v Mex Keyes Marine 303	platform	blow-out		
16 sep	US – Bay City TX	tanker	benzine	explosie	1†
3 nov	US – CJacksonhalmette LA	raffinaderij	CH's	gaswolk explosie	
1991					
21 aug	Australië – Coode Island	opslagtanks	C ₃ H ₃ N	interne explosie	
10 dec	Duitsland – Noord Rijn	raffinaderij	corrosie – erosie	explosie	

datum	UP-DOWNSTREAM land locatie – bedrijf (als bekend)	installatie	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
11 apr	Italië – Genua Haven	tanker		grote olie-LOC	
23 aug	Noorwegen – Noordzee Sleipner veld	platform	structurele fouten	platform zinkt	
aug	UK – Noordzee Fumar A	platform		explosie	3 gew
12 jan	US – Port Arthur	raffinaderij		brand	2 gew
3 mrt	US – Lake Charles LA	raffinaderij	hete olie-water	interne explosie	
13 apr	US – Sweeny TX	raffinaderij	CH's	explosie	
3 nov	US – Beaumont TX	raffinaderij		brand	
1992					
1 nov	Aus – North West Shelf	platform	stabiliteitspalen		
9 nov	Fra – La Mede	raffinaderij	CH's	gaswolk explosie	-
1 sep	Gri – Elefsina	raffinaderij	LPG	explosie emissie	21† 20 gew
16 okt	Japan – Sodegaura	raffinaderij	CH's	gaswolk explosie	10† 7 gew
30 jun	Nederland – Lijnden	LPG opslag		brand	
3 dec	Spanje – La Coruna Aegean Sea	tanker		grote olie-LOC	
29 aug	US – Golf of Mexico Blake IV	platform	blow-out	brand	1 gew
31 aug	US – Golf v Mexico	pijpleiding		grote olie-LOC	
8 okt	US – Wilmington CA		erosie-corrosie	H2 explosie	
1993					
5 jan	UK – Shetland Ijlanden Braer	tanker		grote olie-LOC	
2 aug	US – Baton Rouge LA	raffinaderij	kruip	HC brand	
	US – Jacksonville	terminal	tank overflow	brand	1†
1994					
25 feb	Japan – Kawasaki	raffinaderij		brand	
	Japan – Ueda	tank		explosie	1† 3 gew
4 jul	UK – Pembroke	raffinaderij		brand	
24 jul	UK – Milford Haven Texaco	raffinaderij	CH's	explosie	26 gew
12 jan	US – Golf v Mexico Rowan Odessa	platform		brand	1†
1995					
16 okt	US – Rouseville	raffinaderij	CH's	brand	
1996					
16 nov	Australië – Golf v St Vincent Maersk	platform	falende platformpoot	gezonken	
	Italië – Paese	terminal	LPG	BLEVE	-
28 feb	Nederland – Rotterdam CMI	opslagbedrijf	chemicaliën	brand	
15 feb	UK – Milford haven Sea Empress	tanker		grote olie-LOC	
24 jan	US – Golf of Mexico Sundowner 15	platform	blow-out	brand	
6 jun	US – Simpsonville Sacramento CA	pijpleiding	corrosie	emissie diesel	
1997					
	US – Golf v Mexico Pool Ranger 4	platform		gezonken	
4 jan	US – Golf v Mexico Pride 1001E	platform	blow-out	brand	
27 jan	US – Martinez CA	raffinaderij	pijpbreuk CH's	brand explosie	1† 46 gew
2 dec	US – St Helena CA	pijpleiding	corrosie	emissie benzine	
1998					
	Atlantische Oceaan West Rigmar 151	platform		gezonken	
9 jun	Canada – St John	raffinaderij		explosie brand	1†
10 nov	Canada Nova Scotia Odyssey	tanker		grote olie-LOC	
6 okt	Fra – Berre l'Etang	raffinaderij	corrosie CH's	brand	
3 jul	Nederland – Pernis Shell	raffinaderij		(CH ₃) ₃ OCH ₃	1† 14 gew
jul	UK – Noordzee Glomar Artic IV	platform		explosie	2†
26 jan	US – Golf v Mexico	pijpleiding		condensaat LOC	
9 apr	US – Albert City IA	opslagtank		bleve C ₃ H ₈	2† 7 gew
17 jul	US – Golf v Mex Nabors Rig 269	platform	blow-out		3† 13 gew
29 sep	US – Golf v Mexico	pijpleiding		grote olie-LOC	
3 dec	US – Golf v Mexico Petronius A	hijns module	lading valt	explosie	
1999					
11 dec	Frankrijk – Golf v Biscaje Erika	tanker		grote olie-LOC	
19 feb	Gri – Tessaloniki	raffinaderij	HC's	explosie brand	-

datum	UP-DOWNSTREAM land locatie – bedrijf (als bekend)	installatie	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
27 jan	US – Winchester KY	pijpleiding	materiaalmoetheid	emissie olie	
9 feb	US – Knoxville TN	pijpleiding	materiaalmoetheid	diesel emissie	
23 feb	US – Martinez CA Tosco Avon	raffinaderij	onderhoud LOC	brand	4† 1 gew
3 mrt	US – Hunt TX	pijpleiding	corrosie	emissie benzine	
24 mrt	US – Prince Wbaai Exxon Valdez	tanker		grote olie-LOC	
25 mrt	US – Richmond CA	raffinaderij	CH's	gaswolk explosie	
7 apr	US – Prince Georges	pijpleiding	corrosie	emissie petroleum	
23 jul	US – Golf v Mexico	pijpleiding		grote olie-LOC	
9 sep	US – Golf v Mexico NFX A	platform		blow-out brand	
2000					
31 dec	Noorwegen – Noordzee	platform	geen details	geen details	
19 jan	US – Golf v Mexico	platform		grote LOC	
21 jan	US – Golf v Mexico	pijpleiding		grote olie-LOC	
19 aug	US – Carlsbad NM El Paso pipeline	pijpleiding	corrosie	explosie	10†
	US – Douglas WY		C ₃ H ₈ lek	BLEVE	-
	US – TX	truck	C ₃ H ₈	explosie	2† 1 gew
2001					
9 apr	Nederland – Aruba	raffinaderij	olie	brand	
16 apr	UK – Humber Estuary Killingholme	raffinaderij	erosie corrosie gas	explosie brand	185 gew
1 mrt	US – Golf v Mexico EnSCO 51	platform	blow-out		
23 apr	US – Carson City CA	raffinaderij	lekkage	brand	
28 apr	US – Lemont	raffinaderij	CH's	brand	
13 jul	US – Golf v Mexico Marine VI	platform	blow-out		
17 jul	US – Delaware City DE Motiva	raffinaderij	onderhoud tank	brand	1† 8 gew
14 aug	US – Lemont IL	raffinaderij	CH's	brand	
21 sep	US – Lake Charles	raffinaderij	CH's	brand	3 gew
	US – LA	raffinaderij	lek	explosie	2 gew
2002					
14 apr	Canada – Brookdale Manitoba	pijpleiding	corrosie	brand	
1 sep	Gri – Eleusis	pijpleiding	olie	explosie brand	14† 30 gew
7 nov	Nederland – Vlissingen Total	raffinaderij		brand	3 gew
12 dec	Nederland – Europoort Kuwait Petrol	raffinaderij	lek ontzwaveling	gaswolkexplosie	1† 1 gew
13 nov	Spanje – Galicia Prestige	tanker		grote olie-LOC	
22 feb	UK – Dundee Glomar Artic IV	platform	onderhoud	explosie	3†
9 aug	US – Golf v Mexico Ocean King	platform	blow-out	brand	
2003					
6 jan	Can – Fort McMurray Alberta	raffinaderij	CH's	explosie brand	1 gew
28 sep	Nederland – Geertruidenberg Amer	energiecentrale	steiger	onderhoud	5†
1 mrt	US – Golf v Mexico	platform		grote LOC	
8 apr	US – Gallup NM Giant Industries	raffinaderij	onderhoud	LOC/brand	4 gew
21 mei	US – Golf v Mexico	platform		grote LOC	
11 sep	US – Golf v Mexico Parker 14-J	platform		falende hefinstallatie	>> gew
2004					
30 jul	België – Gellingen	pijpleiding	gas	explosie	24† 132 gew
4 mei	Nederland – Vlissingen Total	raffinaderij		explosie	3 gew
5 aug	Nederland – Bergeijk Diffutherm	opslag	bitumen teerplasma	explosie	4 gew
28 nov	Noorwegen – Snorre A	platform	gas blow-out		
8 apr	US – Gallup NM Giant Industries	raffinaderij	onderhoud	LOC gas brand	4 gew
11 apr	US – Golf v Mexico	platform		grote LOC	
2005					
31 mei	Nederland – Warfum NAM	CH ₄	onderhoud	gaswolkexplosie	3† 2 gew
11 dec	UK – Buncefield Hertfordshire Oil	tankopslag	olie overvullen	gaswolk explosie	60 gew
23 mrt	US – Texas City TX BP	raffinaderij	opstart CH's	explosie brand	15† 180 gew
10 jul	US – Golf v Mex BP Thunderhose	platform	ballastsysteem		
24 sep	US – Golf v Mexico	platform		LOC condensaat-	
5 nov	US – Delaware City DE Valero	raffinaderij	onderhoud reactor	N ₂ verstikking	2†

datum	UP-DOWNSTREAM land locatie – bedrijf (als bekend)	installatie	directe oorzaak	gebeurtenis	doden-†; gewonden (gew)
2006					
23 apr	Noorwegen – Noordzee Maersk Giant	platform	blow-out		
5 nov	Noorwegen – Noordzee	platform		LOC	
2007					
12 apr	Noorwegen - Noordzee Bourbon Dolphin	bevoorrading	gekapseid		8†
16 feb	US – Sunray TX Valero Refinery	raffinaderij	lek	brand C ₃ H ₈	
16 aug	US – Pascagoula MS	raffinaderij	olie	brand	
	US – Amarillo CO Valero McKee	raffinaderij			
2008					
18 feb	US – Big Spring TX Refinery	start-up	C ₃ H ₈	explosie	2 gew
zomer	US – Corpus Christi TX CITGO	raffinaderij		brand emissie HF	1 gew
2009					
21 aug	Australië – Montara Timorzee	platform	H ₂ S condensaat	LOC	
	Frankrijk – Duinkerken	raffinaderij	brand		1† 5 gew
13 feb	Nederland – Botlek Kuwait Petroleum	raffinaderij		brand	
4 jun	Noorwegen – Noordzee Ekofisk	platform		schip/platform	
12 jan	US – Woods Cross UT Silver Eagle	raffinaderij	lekkende tank	gaswolk explosie	
31 okt	US – Carnes MS	tankopslag		explosie	1†
4 nov	US – Woods Cross UT Silver Eagle	raffinaderij	falende pijp	explosie	
2010					
2 apr	US – Anacortes WA Tesoro	raffinaderij	falende warmtewisselaar		
20 apr	US – Golf v Mex Deepwater Hor	platform	falende centralisatie	explosie	11† 17 gew

datum	NUCLEAIRE SECTOR land – locatie	directe oorzaak	gebeurtenis
1989			
24 nov	Duitsland – Greifewald	afgesloten koeling	bijna melt down
5 mrt	US – Tonopah AZ	falende klep	brand shut down
17 mrt	US – Lusby MD	scheuren	stillegging
1991			
8 feb	Japan – Mihama	lek	LOC radioactiviteit
17 nov	US – Scriba		brand stillegging
1992			
2 aug	Canada – Pickering reactor 1	zwaar water lek	LOC H ³
22 feb	Japan – Fukushima		hogedruk stoom LOC
mrt	Rusland – Leningrad	lekkage	LOC radioactiviteit
3 feb	US – Bay City TX	pomp	shutdown
27 feb	US – Buchanan NY	falend systeem	shutdown
2 mrt	US – Soddy-Daisy TN	falende inrichting	shutdown
21 apr	US – Southport	falende generator	shutdown
25 dec	US – Newport MI	onderhoud turbine	shutdown
1994			
10 dec	Canada – Pickering reactor 2	lek koelwater	LOC zwaar water
1995			
dec	Japan – Tsuruga	schade reactor	LOC Na ²²
14 jan	US – Wiscasset ME	gebarsten stoombuis	stillegging
1996			
	UK – Schotland	lek	LOC afvalwater
22 feb	US – Millstone 1 2 CT	lekkende pompen	stillegging
2 sep	US – Crystal River 3 FL	falende apparatuur	stillegging
5 sep	US – Clinton IL	falende pomp	stillegging
20 sep	US – Seneca 1 2 IL	falend watersysteem	stillegging
1997			
11 mrt	Japan – Tokaimura		brand explosie
9 sep	US – Bridgman 1 2 MI	condenser systeem	

datum	NUCLEAIRE SECTOR land – locatie	directe oorzaak	gebeurtenis
1998			
feb	UK – Sellafield	lek nucleaire filter	blootstelling straling
1999			
27 dec	Frankrijk – Blayais	overstroming	stillegging
18 jun	Japan – Shiga	runaway kernreactie	explosie
30 sep	Japan – Ibaraki Prefectuur	toevoegen te verrijkt U	nucleaire reactie
30 sep	Japan – Tokai Mura	teveel U in tank	kettingreactie besmetting
okt	Oekraïne – Pripjat	onderhoud	blootstelling straling
25 mei	US – Waterford CT	stoomlekkage	stillegging
29 sep	US – Lower Alloways Creek NJ	lekkage	LOC toxisch gas
2000			
9 okt	UK – Sellafield	schakelapparatuur	stroomstoring
2001			
	UK – Glasgow Hunterston B	LOC	radioactieve grondwater
	UK – Dumfries Chapelcross	vallende reactorstaven	blootstelling operator
	UK – Sellafield	lekkende tank	Tc ⁹⁹ LOC grondwater
6 mrt	UK – Sellafield	lek	Pu ²³⁹ contaminatie werkplek
6 mei	UK – Sellafield	lek	Pu ²³⁹ contaminatie werkplek
6 jul	UK – Sellafield	overstroming	Pu ²³⁹ contaminatie werkplek
sep	UK – Lancaster Heysham 1	scheuren reactor-coating	
2002			
11 jun	Canada – Bruce reactor 6	onderhoud	gebarsten reactorstaaf
21 jan	Frankrijk – Manche	falende veiligheid	stillegging
	Japan – Onagawa	lek	blootstelling radioactiviteit
jan	UK – Dungeness	lek	
11 mrt	UK – Lancaster Heysham 1	falende installatie	vallende staaf
mei	UK – Dunbar Torness	metaalmoetheid pomp	falende gascirculatie
6 nov	UK – Didcot Harwell	lek	Am ²⁴¹ contaminatie werkplek
12 nov	UK – Caithness Dounreay	lek	contaminatie handen schoenen
16 feb	US – Davis Besse NNP, Oak Harbor OH	corrosie aan pijpen	stillegging
15 jan	US – Bridgman MI		brand
5 mrt	US – Davis Besse NNP, Oak Harbor OH	corrosie reactorvat	stillegging
2004			
16 mei	Frankrijk – Lorraine Cattenom-2	elektrische kabels	brand stillegging
9 aug	Japan – Mihama 3	falende inspectie	niet radioactie stoomexplosie
14 apr	UK – Bradwell	openen verkeerde klep	LOC radioactiviteit
9 jun	UK – Harlepool	lek	LOC H ³
2005			
	Japan – Fukushima	lek	LOC radioactieve stoom
	UK – Sellafield	handmatig manipuleren	zwaar ongeval
	UK – Sellafield	onderhoud	zwaar ongeval
13 feb	UK – Sellafield	onderhoud	contaminatie hoofd handen
20 apr	UK – Sellafield	lek	LOC radioactiviteit
16 jun	US – Braidwood IL	lekkage H ³	contaminatie grondwater
nov	US – Braidwood IL	lekkage H ³	contaminatie grondwater
6 mrt	US – Erwin TN	lekkage U ²³⁵	stillegging
25 jul	Zweden – Forsmark	kortsluiting koelsysteem	bijna melt down
2007			
7 jan	UK – Sizewell	lek	contaminatie
10 jan	UK – Sellafield	lek	contaminatie
20 mei	UK – Caithness Dounreay	lek	Pu ²³⁹ Tc ⁹⁹ contaminatie
2008			
21 dec	Canada – Darlington Clarington	klep opslagtank	LOC H ³
13 jul	Frankrijk – Tricastin	lek	LOC radioactief afvalwater
dec	Japan – Hamaoka	lek	LOC radioactief water

datum	NUCLEAIRE SECTOR land – locatie	directe oorzaak	gebeurtenis
19 sep	UK – Sellafield	lek	LOC radioactiviteit werkplek
	UK – Dungeness B	kritische kernreactie	plaatsing brandstofstaven
	UK – Sellafield	lek	contaminatie
	UK – Sellafield	lek	contaminatie
1 apr	UK – Sellafield	LOC koelwater	
28 mei	UK – Sellafield	lek	contaminatie
24 jul	UK – Sellafield	lek	LOC radioactief materiaal
23 nov	UK – Dungeness B	brand	sluiten reactor
17 dec	UK – Capenhurst Urenco	afwezige veiligheid	buiten veiligheidsenvelop
21 nov	US – 3 Mile Island Harrisburg PA	onderhoud	besmetting radioactief stof
2010			
9 aug	Frankrijk – Gravelines	fout ophalen staven	reactorstaven chaos
7 jan	US – Buchanan NY	automatische stillegging	LOC H ³ stoom
1 feb	US – Montpelier VT	lek	LOC H ³