

## Visuele presentaties in veiligheidkunde

Swuste, Paul; Schmitz, Peter; van Nunen, Karolien

**Publication date**

2019

**Document Version**

Final published version

**Published in**

Tijdschrift voor Toegepaste Arbowetenschap

**Citation (APA)**

Swuste, P., Schmitz, P., & van Nunen, K. (2019). Visuele presentaties in veiligheidkunde. *Tijdschrift voor Toegepaste Arbowetenschap*, 32(4).

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Full paper

## Visuele presentaties in veiligheidkunde

Paul Swuste<sup>1</sup>, Peter Schmitz<sup>1,2</sup>, Karolien van Nunen<sup>3</sup> en Genserik Reniers<sup>1,4</sup>

### Samenvatting

Dit artikel laat ontwikkelingen en beperkingen zien van grafische presentaties van veiligheidsconcepten. Veiligheidsposters zijn krachtig en overtuigend met een duidelijke boodschap. De vroege posters spelen in op angst, schaamte en schuldgevoelens. Vanaf de jaren zeventig in een veranderend politiek en sociaal klimaat wijzigt de boodschap en wordt de boodschap neutraal, zonder morele ondertoon.

Presentaties van de ontwikkelingen van het veiligheidsdomein geven verschillende beelden. Er zijn auteurs met een nadruk op organisatorische factoren, of op gedrag. Dit hangt samen met een verschil in de interpretatie van het concept van veiligheidscultuur. De kosten-batenanalyse, een derde ontwikkeling, genereert rationele argumenten voor de besluitvorming over veiligheidsinvesteringen.

Visualisaties van modellen en metaforen laten een groeiend begrip zien van latente factoren van organisaties, als beslissende elementen van ongevalsprocessen. Met één van de metaforen is de ontwikkeling van majeure ongevalsscenario's te volgen, waardoor vroegtijdige preventie mogelijk wordt.

### Inleiding

Er zijn enkele zeer vroege visuele presentaties van veiligheid. Agricola's standaardwerk 'De Re Metallica' over geologie, mineralogie en mijnbouw besteedt een paar pagina's aan gevaren voor mijnwerkers. Net als nu vormen water, vuur en onstabiele tunnels de grootste gevaren in de mijn- en tunnelbouw. De ondersteuning van de tunnelgangen is duidelijk zichtbaar in de figuur. Vuur en brand zijn rechtsonder in de figuur weergegeven (Figuur 1). Deze visualisatie van gevaar en preventie is uniek. De Westerse kunst en dan vooral de teken- en schilderkunst wordt gedomineerd door de kerk en de aristocratie. Tot en met begin 20e eeuw zijn bij de auteurs geen visualisaties bekend met een vergelijkbare boodschap als Agricola. Wel hebben vanaf eind 19e eeuw een aantal sociaal betrokken tekenaars en schilders, ongevallen als onderwerp. Deze visualisaties beperken tot afbeeldingen van slachtoffers. Posters uit het begin van de 20e eeuw brengen daar verandering in.

### Abstract

This article shows developments and characterisation of safety visualisations. Safety posters contain a powerful and convincing message. The early posters are based on fear, shame and guilt. The message of these posters changes in the 1970s. In a changing political and social climate the message of posters become more neutral without moral undertones.

Presentation of developments of the safety domain show a difference between authors stressing organisational, or behavioural factors as important present trends. The difference is related to an interpretation of the concept of safety culture. A third type of visualisations, cost-benefit analysis, generates rational arguments for decision making on safety investments.

In visualisations of models and metaphors there is a growing understanding, and specification of latent factors in organisations, as decisive elements of an accident process. One of the metaphors allows following the development of major accident scenarios, which makes early prevention possible.

*"Soms vallen mijnwerkers van ladders en breken armen, benen of hun nek, of vallen ze in een gootsteen en verdrinken. Dit is vaak de fout van de voorman, omdat hij ladders moet verankeren zodat ze niet weg kunnen glijden en de putten in de mijnschacht moet afschermen met planken, zodat de planken niet verschuiven en mijnwerkers niet in het water vallen. Bovendien moet de voorman de ingang van de mijn niet op het noorden plaatsen. De winterse koude noordenwind bevriest ladders en handen van mijnwerkers, zodat ze hun grip verliezen" (Agricola, 1556).*

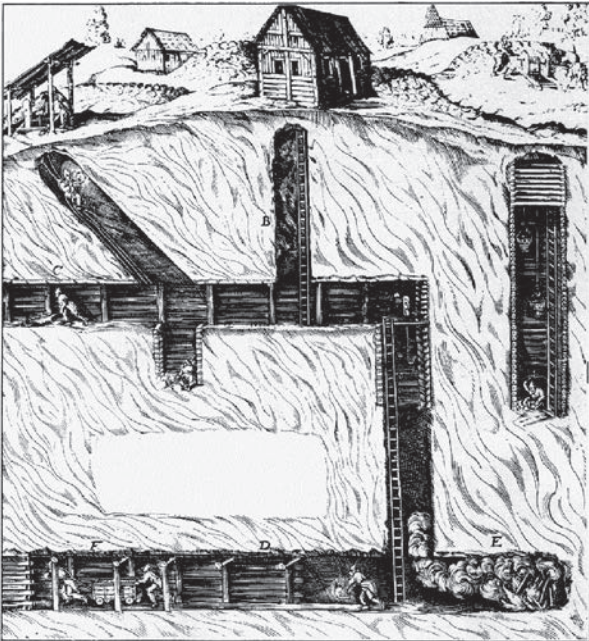
De poster als blikvanger stamt uit de 'Belle Époque', de periode in Europa vanaf het einde van de 19e eeuw tot de Eerste Wereldoorlog. Dit is een tweede gouden eeuw met een toenemende algemene welvaart en vrede en een sterke ontwikkeling van de kunsten, wetenschappen en techniek. Posters ondersteunen de volksgezondheid en keren zich tegen overmatig alcoholgebruik, tegen tuberculose, syfilis en kwakzalverij. Met mechanische

<sup>1</sup> Safety Science Group, Delft University of Technology, the Netherlands

<sup>2</sup> OCI Nitrogen Geleen, the Netherlands

<sup>3</sup> Research Chair Vandeputte, University of Antwerp, Belgium

<sup>4</sup> Antwerp Research Group on Safety and Security (ARGoSS), University of Antwerp, Belgium



Figuur 1 16e eeuwse mijn (Agricola, 1556)

drukpersen zijn posters in grote hoeveelheden en relatief goedkoop te produceren. De productie van veiligheidsposters in westerse landen start na de Eerste Wereldoorlog. Het veiligheidsdomein kent veel grafische presentaties, niet alleen posters, maar ook presentaties van resultaten van veiligheidsonderzoeken, van concepten, modellen en metaforen. Dit artikel streeft niet naar volledigheid, maar geeft slechts enkele voorbeelden, gebaseerd op bestaande historische overzichten van ontwikkelingen van veiligheidsprofessionals en van kennis van het veiligheidsdomein (Zwaard, 2007, 2009; van Gulijk et al., 2009; Swuste et al., 2009, 2011, 2014, 2015a, 2016, 2017, 2019a, 2019b; Oostendorp et al., 2013). Om een frequente herhaling van literatuurverwijzingen in de tekst te voorkomen, zijn deze referenties hier gepresenteerd. Het artikel is geschreven in het 'historische heden' om de dynamiek van het ontwikkelingsproces te benadrukken.

Deze bijdrage volgt de volgende vragen:

- Welke visuele presentaties zijn er ontwikkeld in de loop van de tijd? Hoe zijn deze presentaties te karakteriseren en zijn ze succesvol?
- Wat zijn beperkingen van visuele presentaties?
- Zijn scenario's visueel te volgen?

### Veiligheidsposters

Figuur 2 toont de eerste Amerikaanse veiligheidsposters, geproduceerd door individuele bedrijven. De poster uit 1916 (mechanische beveiligingen) en de poster uit 1919 (gokken met noodlot) verwijzen naar veilig gedrag en naar gevaren van draaiende en bewegende delen van machines. Ingenieurs schermen gevaren en hoogten af en geven zo vorm aan de toenmalige veiligheidstechniek.

Veiligheidstechniek start in Groot-Brittannië in 1844 en verspreidt zich later over Europa en de Verenigde Staten



Figuur 2 Amerikaanse veiligheidsposters uit 1916 (links) en 1919 (rechts)

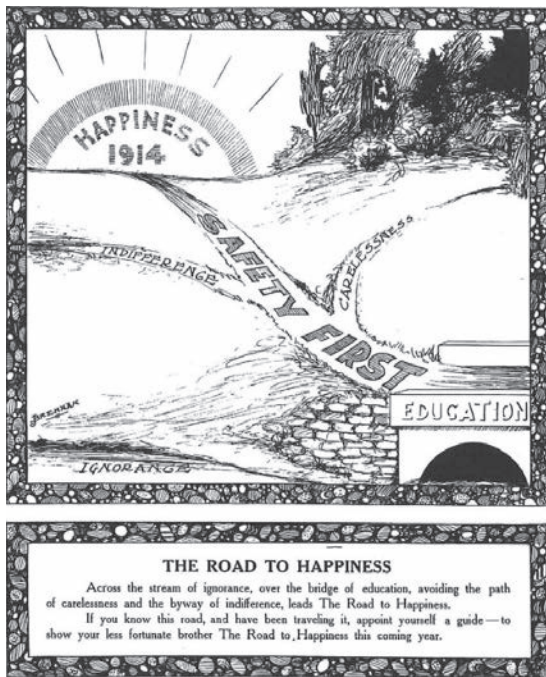
(VS), waar, meer dan in Europa, verschillende auteurs actief voorbeelden van veiligheidstechniek in verschillende industrieën publiceren. De posters bevatten veel tekst, zoals ook de eerste Nederlandse posters van het Veiligheidsmuseum laat zien (Figuur 3).



Figuur 3 Veiligheidsposter uit 1922

De VS publiceert in 1907 voor het eerst nationale bedrijfsongevallencijfers. Een vergelijking met Duitsland, een land dat net als de VS toonaangevend is in de laatste fase van de industriële revolutie, laat een groot verschil zien in de frequentie van dodelijke ongevallen in de staalindustrie. De VS scoort drie tot vier keer hoger dan Duitsland (0,2 dodelijke ongevallen per 100 manuur) (Anoniem, 1915, 1926; Aldrich, 1997). De betrouwbaarheid van deze cijfers is niet bekend, maar het verschil wordt regelmatig aangehaald in Amerikaanse publicaties. US Steel is het grootste staalbedrijf en in 1906 de initiator van deze 'Safety First Movement' (Palmer, 1926). Een illustratieve poster uit 1913 met een verwijzing naar het gedrag van werknemers toont een landweg als metafoor voor arbeidsveiligheid (Figuur 4).

Het Nederlandse Veiligheidsmuseum is in 1893 een van de eerste veiligheidsmusea van Europa. In de jaren twintig start het museum met een veiligheidsoffensief, met een maandelijks tijdschrift 'De Veiligheid', een wekelijkse radiopresentatie over veiligheidskwesities, de organisatie



Figuur 4 Een Amerikaans 'Safety First Movement' poster uit 1913

van nationale veiligheidsconferenties en in 1922 met de productie van veiligheidsposters. Deze posters zijn zeer succesvol, gezien de almaar groeiende vraag (Figuur 5). De directeur van het Veiligheidsmuseum vraagt Herman Heijenbrock (1871-1948), een Nederlandse industriële schilder, deze posters te ontwerpen (Spaan, 2018). 'Hij is de enige kunstenaar die ooit een fabriek van binnen heeft gezien', is het argument. Het beeld wordt dominant in posters en de tekst is een eenvoudige boodschap van gevaren, gezinswaarden en de dreiging van een (dodelijk) ongeluk is ondubbelzinnig neergezet (Hermans, 2007). In deze periode zijn christelijke partijen aan de macht in Nederland. Ook zijn vanaf het einde van de 19e eeuw vakbonden actief, maar hun focus ligt op lonen, werktijden en algemene arbeidsomstandigheden, en niet specifiek op arbeidsveiligheid. In deze politieke constellatie bevatten posters geen enkele politieke boodschap. Elke link naar klassenverschillen wordt vermeden en tekortkomingen van het management komen niet aan bod, uit angst voor spanningen in bedrijven. In het politieke klimaat in de

jaren zeventig ontstaat een breed gedragen beweging van overheid en vakbonden naar een 'humanisering van de arbeid'.

Samenwerking en overleg ademen de sfeer deze periode. Welzijn van werknemers is opgenomen in de Nederlandse Arbeidsomstandighedenwet van 1933. De beelden zijn neutraal zonder een morele ondertoon (Figuur 6). Ook het ergonomische adagio 'pas de machine aan bij de mens' komt op veiligheidsposters. Ondanks de populariteit van veiligheidsposters, gezien de grote vraag is er geen onderzoek opgezet naar het effect op bedrijfsveiligheid. De invloed van posters op de het gedrag van werknemers en op de frequentie van arbeidsongevallen blijft onduidelijk.

### Belangrijkste ontwikkelingen in het veiligheidsdomein

Sommige auteurs presenteren een meta-analyse van ontwikkelingen van het veiligheidsdomein. Hale & Hovden (1998) verdelen deze evolutie in drie perioden. In de eerste periode is veiligheidstechniek dominant; technische maatregelen om machines te bewaken, explosies te stoppen en te voorkomen dat structuren instorten. Deze periode loopt van de 19e eeuw tot de dag van vandaag. Vanaf het interbellum, de periode tussen de twee wereldoorlogen, start de tweede periode met een focus op gedrag, persoonlijke selectie, training en motivatie om arbeidsongevallen te voorkomen, voornamelijk gebaseerd op de brokkenmakerstheorie van Greenwood & Wood (1919). De technische benadering van veiligheid (externe factoren) en psychologische (gedrag) blijven naast elkaar bestaan. Dat verandert pas in de jaren zestig en zeventig, als de probabilistische risicoanalyse opkomt en de invloed van de ergonomie op veiligheid toeneemt. Een puur technische benadering van veiligheid en preventie, zoals bij risicoanalyses, wordt verlaten en onderzoek start naar menselijke fouten en herstel en naar technieken voor de beoordeling van menselijke betrouwbaarheid (Kirwan, 1994). Vanaf de jaren tachtig komt de socio-technische benadering van veiligheid op, geleid door Scandinavische onderzoekers. Ongevalseprocessen worden dan begrepen uit een combinatie van technische en organisatorische factoren. De derde periode begint eind jaren tachtig en is gericht op veiligheidsmanagement en -audits. Er is veel



Figuur 5 Veiligheidsposters uit (van links naar rechts) 1922, 1927, 1927 en 1929



Figuur 6 Veiligheidsposters uit (van links naar rechts) 1971, 1978, 1980, 1981 en 2000

geschreven over deze laatste onderwerpen, alleen is de wetenschappelijke basis erg smal. De auteurs hebben geen visualisatie gegeven van hun drie perioden. Een mogelijke presentatie staat in Figuur 7.

Ook andere auteurs gebruiken een driedeling voor de ontwikkelingen van het vakgebied, zoals in de figuren 8 en 9. Deze presentaties zijn eenvoudig en worden vaak door managers gebruikt. Cooper (Figuur 8) benadrukt de aandacht voor gedrag en veiligheidscultuur (Cooper, 2000). Deze psychologische interpretatie van cultuur benadrukt de manier waarop mensen in bedrijven en organisaties denken of zich gedragen.

Behavioral Based Safety-technieken, waar werknemers elkaar aanspreken op (on)veilig gedrag, zijn hierop gebaseerd. Deze verklaring van veiligheidscultuur staat in contrast met een meer sociologische, antropologische benadering, waarbij cultuur de manier is hoe organisaties reageren in tijden van tegenspoed (Westrum, 2004). In deze academische interpretatie van cultuur zijn basisaannames van een organisatie de kern van cultuur. Deze aannames vormen zich in een periode waarin een organisatie met succes de eerste overlevingscrisis overwint. Dit creëert waarden en attitudes van de organisatie, die impliciet zijn (Schein, 1992). Groeneweg maakt ook gebruik van een drievoudige indeling, inclusief een Murphy-marge (Figuur 9) (Groeneweg, 1992). Deze Murphy marge is de zone van 'kruipende entropie', die buiten de controle van het management en werknemers ligt om de incidentie van ongevallen te beïnvloeden. Dit is een argument waarom

ongevallencijfers zich altijd zullen stabiliseren, onafhankelijk van de inspanningen van het bedrijf op het gebied van preventie.

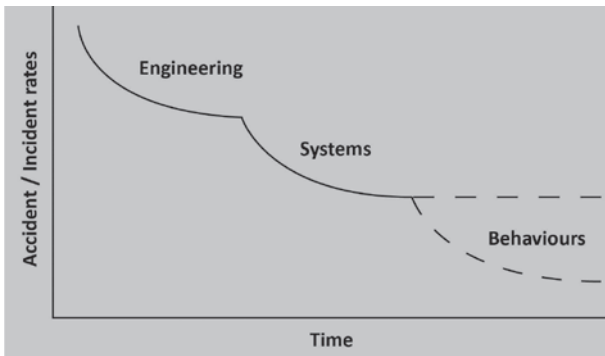
Een Nederlandse presentatie gebruikt een continuüm voor de historische veranderingen met posities van veiligheidsexperts van de jaren twintig tot het begin van de 21<sup>e</sup> eeuw en de manier waarop de veiligheid in de loop van de tijd wordt beheerd (Figuur 10). Deze presentatie komt dicht in de buurt van Figuur 9. De karakterisering van de ontwikkelingen van Groeneweg en Cooper geeft de ongevallencijfers weer op de y-as. De Nederlandse presentatie van Figuur 10 is eendimensionaal en geeft de belangrijkste veiligheidskundige benaderingen weer.

Naast weergaves van ontwikkelingen in het veiligheidskundige domein doen onderzoekers met een economische achtergrond onderzoek naar de kosten effectiviteit van maatregelen. Ze gaan uit van een optimum en van een acceptabel veiligheidsniveau van een organisatie, of bedrijf (Reniers & van Erp, 2016) (Figuur 11). Voor risicoanalisten is een acceptabel risiconiveau betrekkelijk eenvoudig. Het is de uitkomst van een risicoanalyse en ligt tussen de  $10^{-4}$  of  $10^{-6}$ .

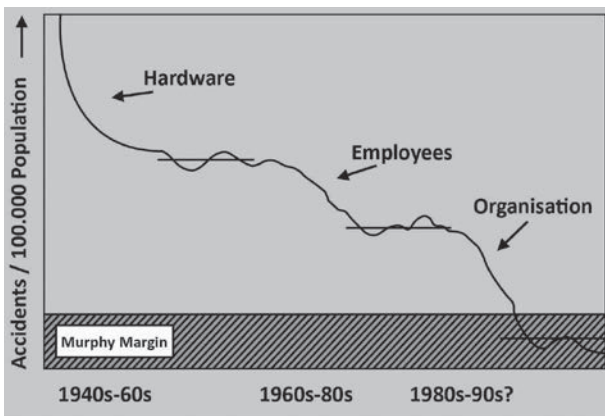
Maar in termen van ongevalsprocessen en scenario's is het antwoord plotseling veel vager. Voor arbeidsongevallen kan men denken aan blootstelling aan gevaren. De Amerikaanse arts Haddon heeft in de jaren zestig iets vergelijkbaars gedaan, door niet het gevaar, maar door tolerantieniveaus van menselijke lichamen voor gevaren



Figuur 7 Periodes in de ontwikkeling van het veiligheidsdomein (naar Hale & Hovden, 1998) sms: safety management systems



Figuur 8 Periodes in de ontwikkeling van het veiligheidsdomein (Cooper, 2000)



Figuur 9 Periodes in de ontwikkeling van het veiligheidsdomein (Groeneweg 1992)

te bepalen (Haddon, 1963). Dat is echter bij een idee gebleven. Het concept van blootstelling is niet verder ontwikkeld binnen de veiligheidskunde, in tegenstelling tot de arbeidshygiëne, waar het een centraal begrip is. Voor ongevallen in high-tech-high-hazard sectoren, wordt een acceptabel niveau nog gecompliceerder. Is het een niveau waarop een onstabiel productieproces, of installatie niet tot consequenties leidt?

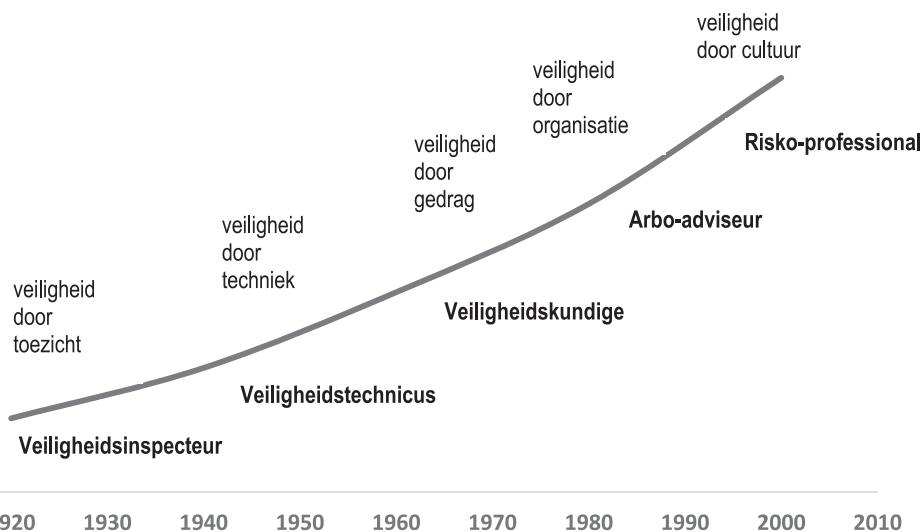
Of zijn het barrières die een geactiveerd ongevalsscenario afremmen of stoppen? In een socio-technische benadering van veiligheid zijn oorzaken van majeure ongevallen de combinatie van organisatorisch functioneren en de aansturing van technologie. De zogenaamde 'latente factoren' worden belangrijk. Nu wordt het wel erg moeilijk een acceptabel niveau vast te stellen.

De bovengenoemde onderzoekers ontkennen niet dat een acceptabel niveau moeilijk te bepalen is. Voor optimale veiligheidsinvesteringen dient een aanvaardbaar veiligheidsniveau voor beslissingen gedefinieerd te worden, gebaseerd op relatieve ordening van risico's. Het is de beste toewijzing van een veiligheidsbudget dat een hoog niveau van veiligheid in een organisatie garandeert. Voor arbeidsongevallen zijn technieken beschikbaar voor berekeningen. Voor majeure ongevallen is de 'Cost-Efficient Safety for Major Accidents' (CESMA) beschikbaar (Reniers & Brijs, 2014; Talarico & Reniers, 2016). Deze kosten-batenanalyse is gebaseerd op:

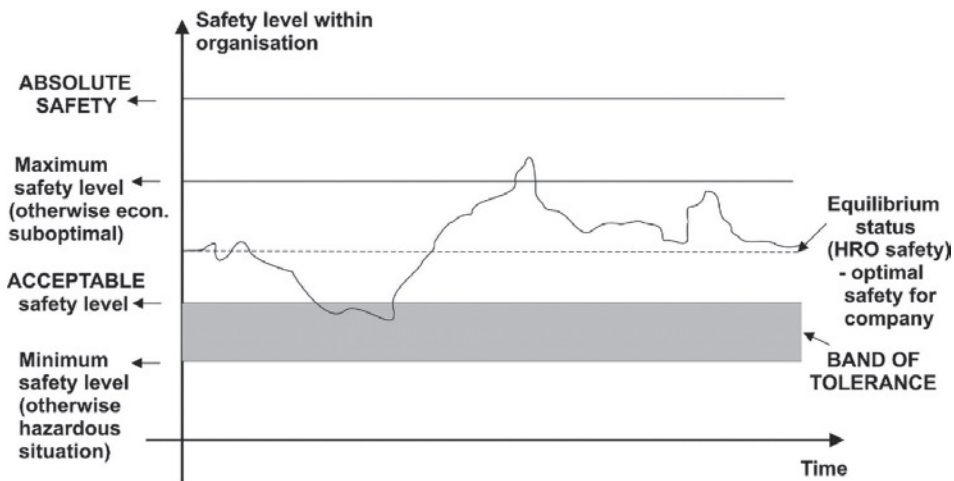
1. identificatie van kosten van preventie en bespaarde kosten van afgewende ongevallen,
2. berekening van de huidige waarden van alle kosten en baten en
3. vergelijking van de totale kosten en totale baten. Een verdisconteringspercentage corrigeert voor de berekening van de totale kosten en voordelen, die zich op verschillende tijdstippen voordoen. Samen met multi-criteria analyses, of Bayesiaanse netwerken, met veiligheidswaarderingfuncties en investeringsanalyse, zijn optimale beslissingen mogelijk over veiligheidsmaatregelen en veiligheidsbarrières (Reniers & van Erp, 2016; Khakzad & Reniers, 2017). Dit economische model zit in een testfase.

### Veiligheidsconcepten; modellen en metaforen

Het concept van een ongevalsproces is in het interbellum gepubliceerd (DeBlois, 1926). Daarvoor zijn verschillen tussen een ongeval en letsel vaag en dit blijft een pro-

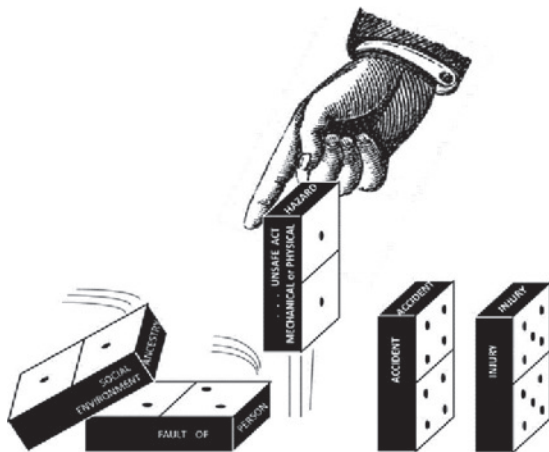


Figuur 10 Ontwikkelingen in het Nederlandse veiligheidsdomein (Zwaard, 2007)



Figuur 11 Acceptabele veiligheidsniveaus (Reniers & van Erp, 2016)

bleem tot de jaren veertig. DeBlois geeft geen grafische weergave. De domino metafoor van Heinrich is de eerste, 15 jaar later (Figuur 12).



Figuur 12 De domino metafoor (Heinrich, 1941)

DeBlois plaatst procesverstoringen en de aandacht voor veiligheid van het management in het centrum van het proces. Net als DeBlois introduceert Heinrich ook het begrip 'gevaar', alleen hier zijn de 'onveilige handeling' van het slachtoffer de centrale dominosteen, in navolging van de Safety First Movement en de brokkenmakertheorie. De visualisatie van de domino metafoor benadrukt een ongeval als een proces met verschillende fases en maakt een onderscheid tussen het ongeval en de consequenties, het letsel. Vanwege de eenvoud van de presentatie en de naam van Heinrich in de Amerikaanse veiligheids wereld, heeft de domino-metafoor ook nu nog een grote impact bij veiligheidskundigen. DeBlois is minder bekend, waarschijnlijk omdat zijn publicatielijst over veiligheid slechts een fractie is van die van Heinrich.

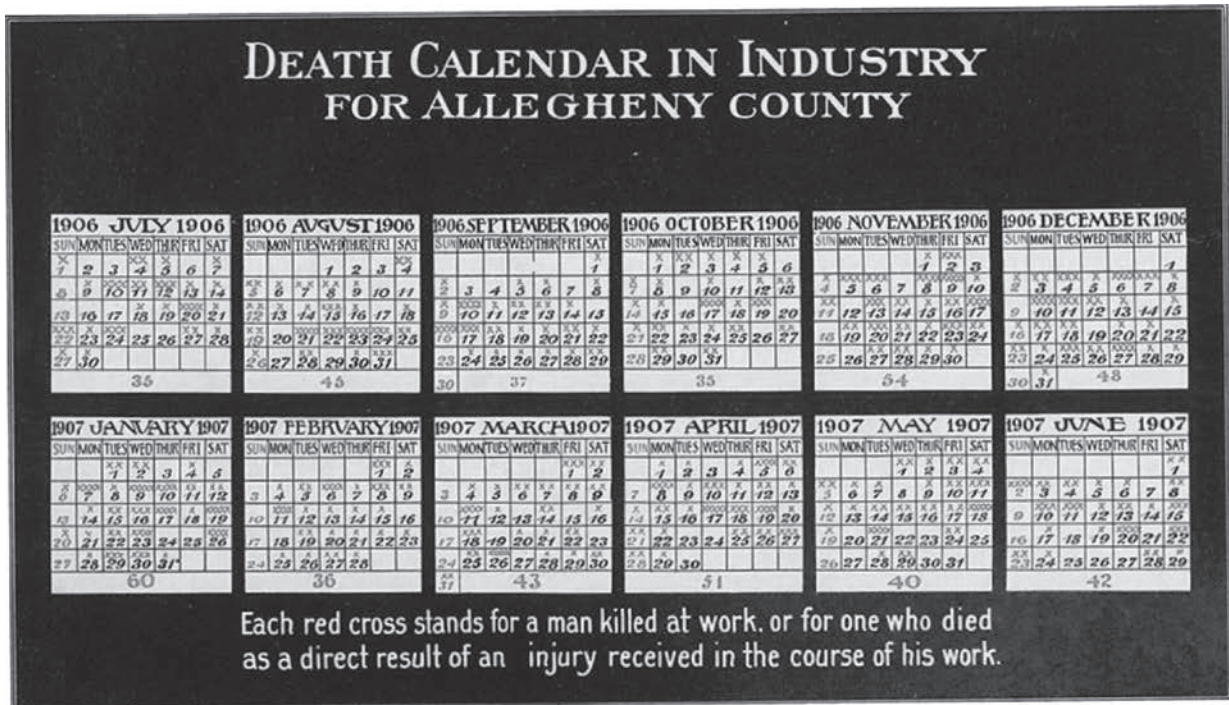
Al voor DeBlois publiceert Crystal Eastman (Eastman, 1910) een dodenkalender van de US Steel fabriek nabij Pittsburgh (Figuur 13). De cijfers zijn verbluffend, anderhalf dodelijke ongevallen per dag bij werknemers gedurende een periode van een jaar. Haar onderzoek maakt deel uit

van een groot sociologisch onderzoek naar de toestand van de werkende bevolking in het district Allegheny in Pennsylvania.

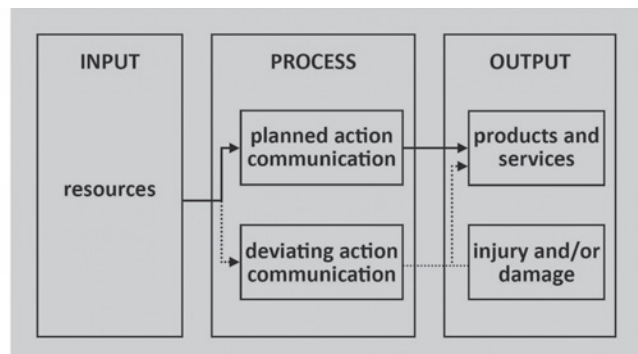
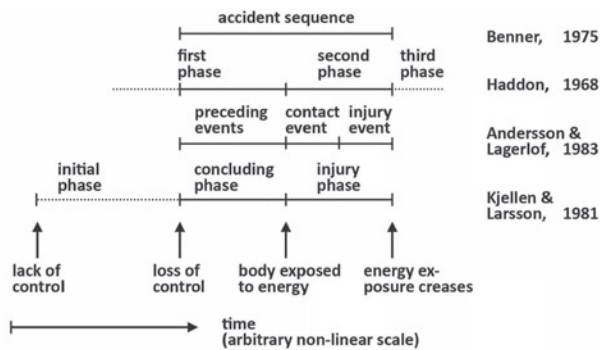
Dit onderzoek is een voorloper van de socio-technische benadering van veiligheid. De oorzaak van deze extreme aantallen dodelijke ongelukken, zo benadrukte Eastman, zijn de fatale effecten voor ongeschoolde werknemers, meestal kinderen, die door voormannen naar gevaarlijke machines worden gestuurd. Net als DeBlois beschouwt Eastman externe factoren als een dominant onderdeel van ongevalsprocessen.

Binnen het veiligheidsdomein zijn verschillende disciplines actief. Ingenieurs starten bij ongevalsprocessen en karakteriseren gevaren, scenario's en barrières. Sociologen analyseren besluitvorming binnen bedrijven vanuit een organisatorisch perspectief en psychologen nemen gedrag als uitgangspunt. En een speciale groep ingenieurs, de risico-analisten, berekenen risico's met op de waarschijnlijkheden van majeure ongevallen en faalkansen van technische componenten. Al deze disciplines, met uitzondering van risico-analisten, zijn gefocust op factoren die een productiesysteem in een oncontroleerbare toestand brengen. De terminologie van deze factoren verschilt in de tijd en met de discipline. De socioloog Turner definieert vanuit een sociaal-technische traditie een 'incubatieperiode' van majeure ongevallen, een periode van systematische risico-ontkenning door een organisatie (Turner, 1976, 1978). Helaas wordt er geen visualisatie van zijn concept gepresenteerd. Een tweede auteur is de ingenieur Kjellén. Zijn factoren bij ongevallen met arbeidsongevallen zijn 'afwijkende acties' en 'controleverlies' (Kjellén, 1984a, 1984b, 1984c) (Figuur 14).

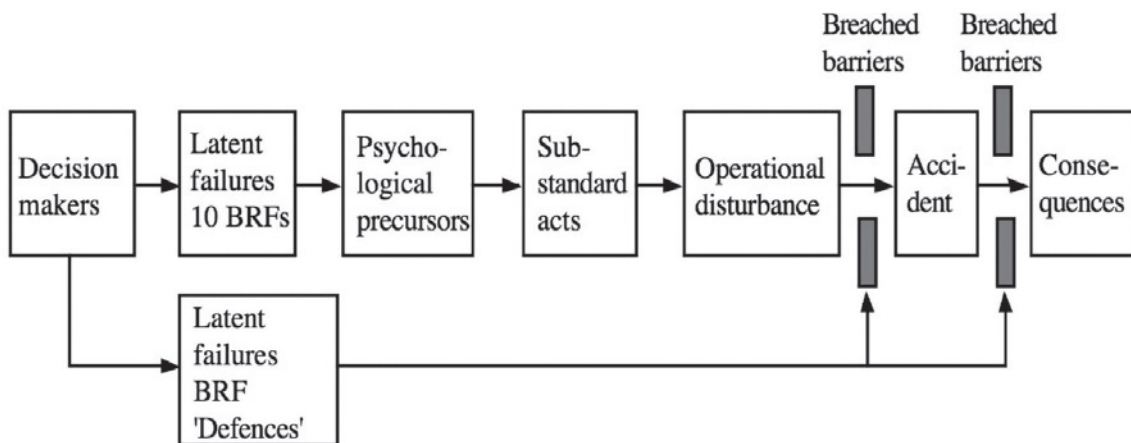
In de jaren negentig zijn vier verschillende modellen en metaforen gepubliceerd; het 'Tripod' model, vernoemd naar een driebeenige hond die tijdens veldwerk is aangetroffen, de metaforen 'Zwitserse kaas', met gaten in barrières als een Emmentaler, de 'bowtie' en het 'Drift to danger' model.



Figuur 13 De dodenkalender van US Steel 1907 (Eastman, 1910)

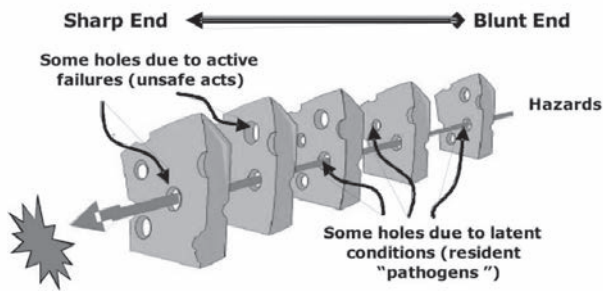


Figuur 14 Twee presentaties van ongevalsprocessen (Kjellén, 1984a, 1984b, 1984c)



Figuur 15 Tripod model (naar Groeneweg, 1992)



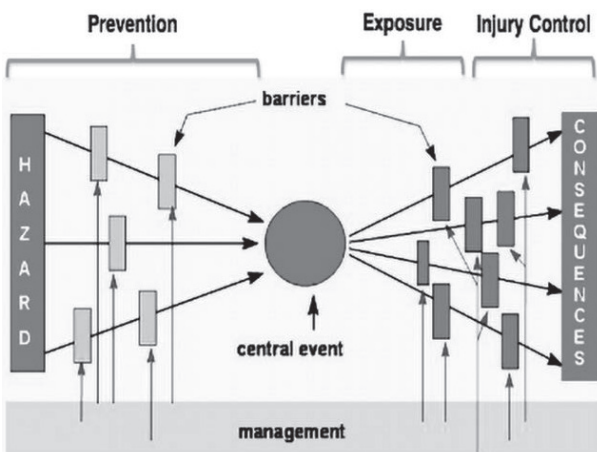


Figuur 16 De Zwitserse kaas metafoor (Reason, 1997, naar Qureshi, 2007)

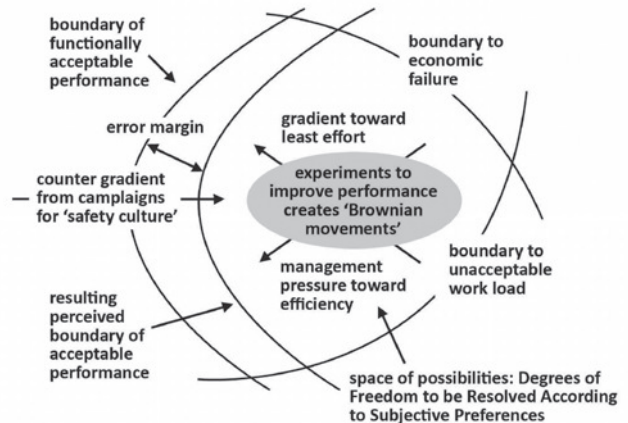
De Tripod visualisatie van de psycholoog Groeneweg (Figuur 15) geeft elementen van een scenario weer met op het einde falende technische barrières (Groeneweg, 1992).

Dit barrièreconcept verwijst naar het 'hazard-barrier-target'-model uit de jaren zestig (Gibson, 1961; Haddon, 1963). De BRF's, of 'basisrisicofactoren' zijn overwegend organisatorische factoren, een nadere specificatie van de incubatieperiode van Turner. Het zijn de latente factoren uit de visualisatie van de Zwitserse kaasmetafoor van de psycholoog Reason (Reason, 1990, 1997) (Figuur 16). De kaasmetafoor is een versimpeling van de Tripod, waarbij de gaten in de barrières onderdeel zijn van een scenario. De overeenkomst tussen de kaasmetafoor en het Tripod model is te verwachten, daar beide groepen onderdeel zijn geweest van een door Shell gefinancierd project naar ongevalsoorzaken.

De bowtie metafoor lijkt op een vlinderdas en is afkomstig van een technisch domein (Figuur 17). De centrale gebeurtenis is het centrum van deze visualisatie, het moment dat een gevaar via verschillende scenario's onbeheersbaar wordt (Visser, 1998). De metafoor heeft een verborgen tijdsdimensie. Door latente factoren in de organisatie kan het lang duren voor de linkerkant van de metafoor geactiveerd wordt en scenario's zich gaan ontwikkelen, vergelijkbaar met de incubatieperiode van Turner. Is de centrale gebeurtenis eenmaal bereikt, dan zal de rechterkant van de metafoor zich snel tot zeer snel ontwikkelen naar consequenties.



Figuur 17 Bowtie metafoor (naar Visser, 1998)



Figuur 18 Het 'Drift to danger' model (Rasmussen, 1997)

Alle drie, het Tripod model en de Zwitserse kaas en bowtie metaforen, zijn zowel bruikbaar voor de analyses van arbeidsongevallen als voor majeure ongevallen in hightech-high-hazard-industrieën.

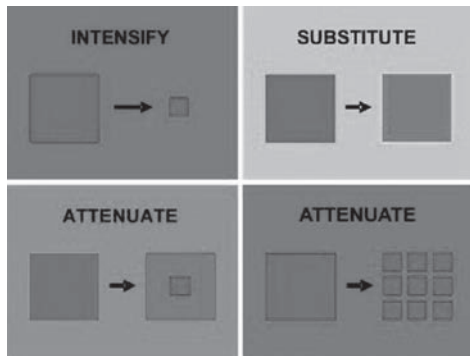
Een heel ander model van een ongevalsproces is het bekende 'Drift to danger'-model van Rasmussen (Rasmussen, 1997) (Figuur 18). Vergelijkbaar met Tripod, de Zwitserse kaas en bowtie gaat dit model verder dan de klassieke technische en menselijke fouten als oorzaken.

Rasmussen wantrouwt een puur psychologische benadering van de human reliability assessment analisten (HRA), waarbij operators en werknemers bijna gezien worden als apparaten met een kwantificeerbare output. Deze kwantificering van menselijke fouten is weinig zinvol (Le Coze, 2015). Het werkproces met zijn administratieve, operationele en veiligheidsrestricties beperkt het gedrag van werknemers. Maar gedrag staat niet vast: er zijn vrijheidsgraden, waardoor variaties van acties mogelijk zijn. Deze variaties hebben een zekere gelijkenis met de Brownse beweging van gasmoleculen, zoals afgebeeld in het midden van Figuur 18.

Externe factoren, 'de markt' en economische krachten dwingen het management zich te concentreren op de kostenefficiëntie van de productie. Door reductie van personeel neemt de druk op werknemers toe. Operationele kennis van processen verdwijnt met reorganisaties en activiteiten als onderhoud en reparaties worden uitbesteed aan (onder)aannemers. Risico's zijn zo gespreid. Dit kan vanuit economisch oogpunt gunstig zijn voor een bedrijf. Maar dit genereert eveneens een negatieve efficiëntiegradiënt, leidend tot een systematische migratie naar de grenzen van een aanvaardbare functionele productie en kunnen een productiesysteem in een onstabiele toestand brengen. Dit fenomeen geeft het model de naam 'Drift into Danger'. Majeure ongevallen worden niet veroorzaakt door menselijke fouten, maar door een systematische migratie van organisatiegedrag naar een ongeval. Deze grenzen zijn te benoemen, niet alleen vanuit een ontwerpperspectief, maar ook vanuit mens-machine interacties. De marges van normaal functioneren zijn te

vergroten en tegengradiënten zijn te ontwikkelen door operators adequaat op deze grenzen te trainen.

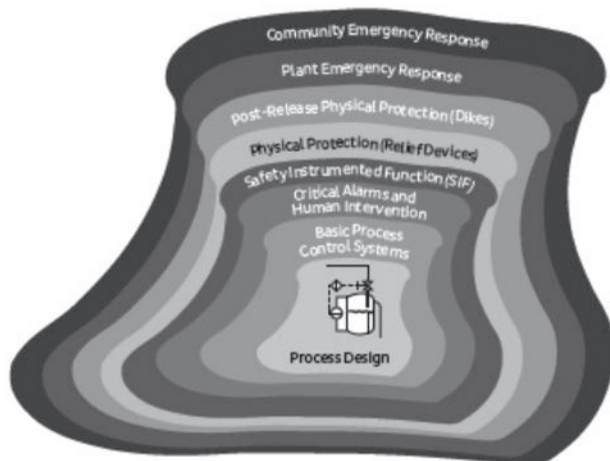
Procestechnici zijn getraind in het (her)-ontwerpen van installaties. 'Inherent safe design' is één van de concepten uit de jaren tachtig (Kletz, 1984). Kletz's illustratie (Figuur 19) is vooral nuttig voor individuele processen en sub-processen.



Figuur 19 Inherent veilig ontwerp (Kletz, 1984)

'Klein is beter' en 'vervang gevaarlijke chemicaliën door veiligere, minder giftige, minder ontvlambare', is zijn belangrijkste boodschap. Het concept en de grafische presentatie zijn briljant in zijn eenvoud. Om redenen van vertrouwelijkheid, en de angst voor negatieve publiciteit zijn resultaten van veiligheidsonderzoek in procesindustrieën in het algemeen niet publiek openbaar. Kletz stelt transparantie voor, omdat het moreel gezien beter is om de samenleving te informeren; 'als we het weten, moeten we het vertellen'. Een ander ontwerpconcept uit de procesindustrie is LOPA, of 'layers of protection' (CCPS, 2001) (Figuur 20).

Deze ontwerpstrategie volgt een 'defense in depth'-principe. LOPA bestaat uit meerdere lagen onafhankelijke veiligheidsbarrières om de mechanische integriteit van de installatie(s) te bewaken en de effecten van een emissie of verlies van containment te beperken of te voorkomen. De installatie staat in het midden, met zes verschillende



Figuur 20 Layers of Protection (naar CCPS, 2001)

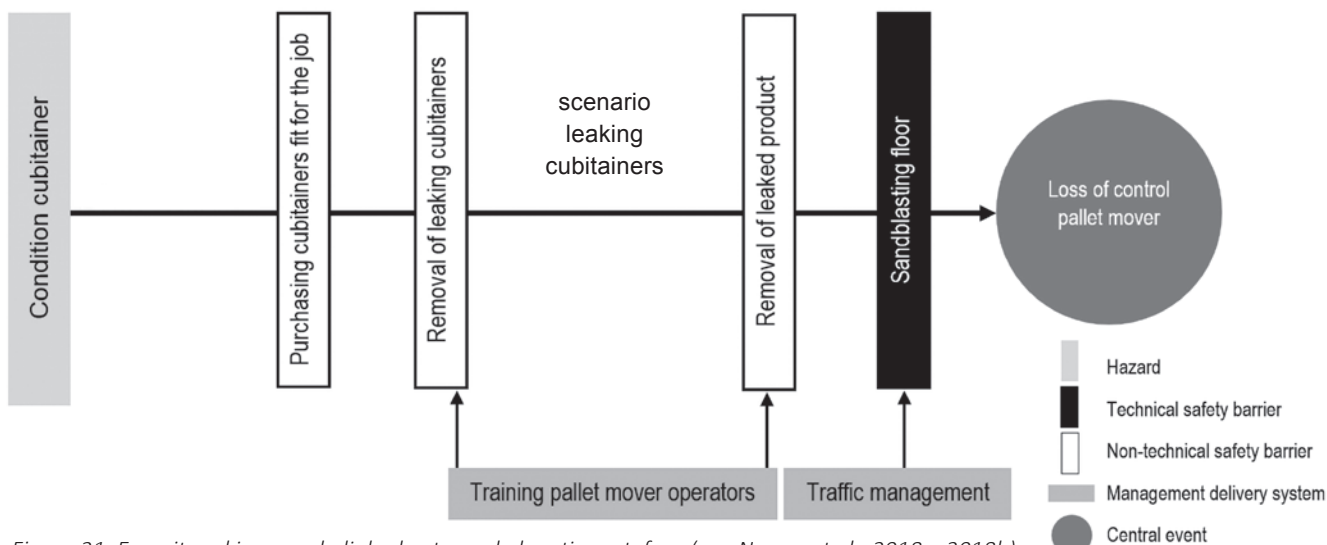
beschermingslagen. Een volgende laag vangt een eerdere falende barrière op. In werkelijkheid hebben elk van deze barrières hun zwakke punten, zoals de residente ziekteverwekkers van Zwitserse kaas. Er kan sprake zijn van barrière afhankelijkheid en er is ook een probleem als operators storing in een of meerdere lagen niet kunnen signaleren. Een scenario kan zich na een processtoring ontwikkelen tot een zogenaamde 'wildness in the wait'. In de literatuur wordt dit de 'fallacy of defence in depth' genoemd (Rasmussen, 1988).

### Visueel volgen van scenario ontwikkelingen

Een recente ontwikkeling toont het gebruik van een bowtie aan om de ontwikkeling van scenario's te visualiseren en te volgen. De managementfactoren zijn een verdere uitwerking van de latente factoren, die een invloed kunnen hebben op gevaren (inherent veilig ontwerp), op meerdere scenario's (training, informatie) of op specifieke barrières (betrouwbaarheid en aanwezigheid van barrières). Dit schept mogelijkheden voor scenario-specifieke interventies, waardoor veiligheid dichterbij de kernactiviteiten van het bedrijf komt te liggen. Deze aanpak is onlangs getest bij een project met elektrische steekwagens voor intern transport in een productiebedrijf, waar veel arbeidsongevallen voorkomen en in een chemische fabriek.

In het productiebedrijf zijn eerst alle mogelijke scenario's voor arbeidsongevallen met deze steekwagens uit literatuur verzameld, gevolgd door observaties en interviews met werknemers, staf en technische, onderhouds- en productiemanager. Lekkende cubitainers is een van de specifieke problemen in het productiebedrijf. Hierdoor wordt de vloer glad, wordt de remafstand van de steekwagens groter en dit kan leiden tot een instabiliteit van de lading en een ongeval als gevolg. Een bowtie-analyse genereert managementfactoren met een effect op technische en niet-technische barrières. Training van operators is bijvoorbeeld een krachtige niet-technische managementfactor. De training is effectief als deze bestaat uit, bij het bedrijf voorkomende, of mogelijke scenario's en centrale gebeurtenissen. De volgende stap is het genereren van procesindicatoren, waarmee management en werknemers de ontwikkeling van scenario's kunnen volgen. In het geval van training kan de kwaliteit van de training een indicator zijn (van Nunen et al., 2018a, 2018b; Swuste et al., 2015b) (Figuur 21). De figuur geeft alleen de linkerkant van de bowtie en toont de invloed van verschillende managementfactoren op het scenario 'lekkende cubitainers'. Het zandstralen van vloeren is een technische barrière die de grip van palletbewegingen verbetert en voorkomt dat steekwagens gaan slippen. De visuele presentatie van Figuur 21 is een eyeopener voor het management van het bedrijf. Dat geldt ook voor het volgende voorbeeld, de ammoniak productiefabriek.

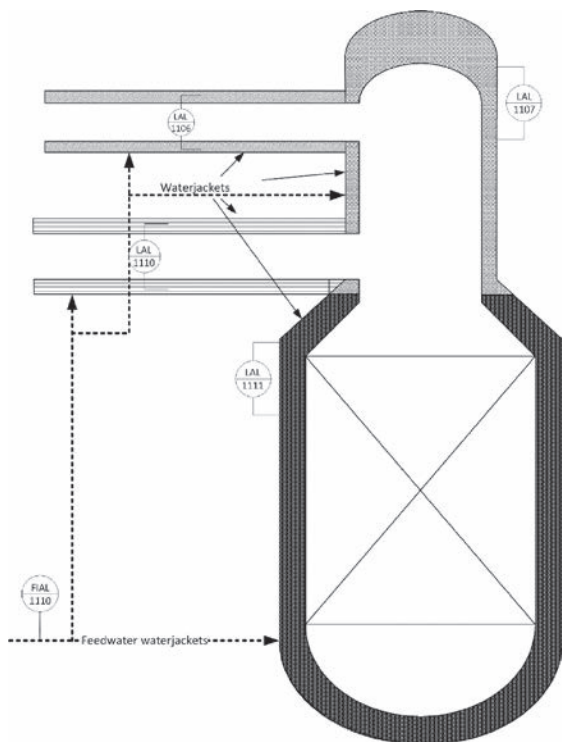
Majeure ongevallen in chemische fabrieken zijn complexer dan arbeidsongevallen. Volgens een vergelijkbare aanpak



Figuur 21 Een uitwerking van de linkerkant van de bowtie metafoor (van Nunen et al., 2018a, 2018b)

als bij de steekwagens geeft de bowtie-analyse inzicht in mogelijke centrale gebeurtenissen in een ammoniak producerende fabriek. Het resultaat is een 'dashboard' met verschillende niveaus van detail waarmee scenario-ontwikkelingen zichtbaar worden.

De ammoniakproductie is gebaseerd op het Haber-Bosch-proces van 1909. Aardgas wordt met stoom gekraakt tot waterstof onder hoge druk (40 bar) en bij een hoge temperatuur (1000°C). Daarna reageert waterstof met stikstof uit de lucht tot ammoniak. De kraakreactie gebeurt in het Meka 1 deel van de plant in een verticale buisreactor en een postreformer. De postreformer (R3102) is afgebeeld in figuur 22, een installatie waar de wanden



Figuur 22 Postreformer van Meka 1 R3102, met dank aan Sitech Asset Heath Centre

met waterjackets wordt gekoeld. Als de koeling stopt, of beperkt functioneert, kan dit leiden tot een verzwakking van de postreformerwand en een emissie van grote hoeveelheden waterstof, een zeer reactieve, brandbare en explosieve stof. In het project zijn de scenario's gekoppeld aan de verschillende alarmen, temperatuur te laag/hoog, doorstroming van water, of gasflow te laag/hoog, het niveau te laag/hoog (Schmitz et al., 2019).

- Niveau 1 van het dashboard toont de verschillende productiestappen van de NH<sub>3</sub>-productie. De rode stip in Figuur 1 laat zien dat er een probleem is in de Meka 1 (Figuur 23). Dit niveau geeft een overzicht van de hele fabriek en biedt een algemeen beeld voor de CEO van het bedrijf.
- Niveau 2 toont de verschillende installaties van de Meka 1. Er is een rode stip op R3102, zijnde de postreformer, de locatie van het probleem (Figuur 24). Dit niveau is relevant voor de veiligheids- en plantmanager.
- Niveau 3 toont de scenario's van de postreformer met hun controlelussen en barrières (Figuur 25). De linker kolom in de figuur toont zes scenario's, gekoppeld aan de alarmen. De meeste controlelussen zijn instrumentele veiligheidscontroles. Het faalscenario "Uitval waterjacket" toont drie indicatoren die zijn geactiveerd. FIAL1110 (flow indicator alarm low) is rood, dat aangeeft dat het alarm is geactiveerd, terwijl de twee LAL's (level alarm low) geel zijn, dat wil zeggen dat ze niet betrouwbaar zijn. De alarmen geven indicaties over de effectiviteit van barrières. Deze informatie is relevant voor operators en procesveiligheid, chemische, mechanische en onderhoudsingenieurs. Uit figuur 25 blijkt dat een scenario van oververhitting van de postreformer geactiveerd wordt.

### Discussie en conclusies

Posters zijn visualisaties van veiligheid, die een opmerkelijke ontwikkeling in de tijd laten zien. Ze weerspiegelen zowel het politieke klimaat als de dominante opvattingen over ongevallen en ongevallenpreventie. Posters veranderen van een boodschap van een onvoorspelbare

### AFA3

Meka 1	●
Wassing	●
Meka 2	●
Compressie	●
Synthese loop	●
NH3 koeling	●

Figuur 23 Niveau 1, met dank aan Sitech Asset Health Centre

### Meka1

R3101-1	●	H3208-TS	●
A3104	●	R3201	●
A3105	●	H3201-TS	●
R3102	●	H3202-SS	●
V3104	●	R3202	●
V3105	●	H3203-TS	●
R3103AB	●	H3206-TS	●
A3102	●	V3210	●
H3101-TS	●	H3207-SS	●
H3102AB-SS	●	V3201	●

Figuur 24 Niveau 2, indicatoren van Meka 1, met dank aan Sitech Asset Health Centre

### R3102

Uitval waterjacket	●	FIAL1110	●	LAL1107	○	LAL1111	○				
Te veel lucht opstart	●	FIC1011	●	FICAH1011	●	TIAH1092	●	TSH1092	●		
Te weinig procesgas	●	FIC1009	●	FSL1015/24/25	●	TIAH1092	●	TSH1092	●		
Erosie inv. Bemetseling	○	LC1108/1112	○	FIAH1110	●	LAL1107	○	LAL1111	○		
Lekkage watermantel	○	LC1108/1112	○	FIAH1110	●	LAL1107	○	LAL1111	○		
Kruip/NWA hoge temp.	○	bemetseling	○	LC1108/1112	○	FIAH1110	●	LAL1107	○	LAL1111	○

Figuur 25 Niveau 3, indicatoren en processcenario's, met dank aan Sitech Asset Health Centre

FIAL: flow indicator alarm (laag)  
LAL: level alarm (laag)  
TSH: temperature switch (hoog)  
FSL: flow switch (laag)

rood: indicator geactiveerd  
groen: indicator niet geactiveerd  
geel: indicator niet betrouwbaar  
oranje: indicator niet beschikbaar

medewerker die op een harde manier bang gemaakt moet worden, tot een neutrale, niet-moralistische boodschap. Terwijl sommige auteurs in de beginperiode wijzen op externe factoren en managementinvloeden van ongevallen, is de dominante veiligheidsbenadering gericht op onveilige handelingen van werknemers, wat overeenkomt met boodschap van posters uit die tijd. De populariteit van posters is bij afnemers hoog, gezien de vraag naar dit product. In veel bedrijven illustreren deze posters de muren van fabrieken. Ze zijn goedkoop, tonen het belang van veiligheid en weerspiegelen de visie op de veiligheid van een veiligheidsafdeling of van het management.

De invloed van deze posters op ongevalsprocessen is onduidelijk. Hier is geen serieus onderzoek naar gedaan.

Presentatie van ontwikkelingen van het veiligheidsdomein laat geen ontwikkeling zien, maar een verschil tussen auteurs die de nadruk leggen op organisatorische of gedragsfactoren als belangrijke huidige trends, afhankelijk van hun benadering van veiligheidscultuur. Een economische presentatie ondersteunt argumenten voor veiligheidsinvesteringen, hoewel de invloed van rationele en gekwantificeerde argumenten twijfelachtig is.

De focus op organisatorische factoren komt vanaf eind jaren zeventig terug in de verschillende presentaties van modellen en metaforen van ongevalsprocessen, een zeer productieve periode in het veiligheidsdomein. Vanaf de jaren negentig is er veel aandacht voor interne of latente factoren en externe factoren die instabiele productiesystemen creëren, leidend tot zowel arbeidsongevallen als ongevallen in hightech-high-hazard-sectoren. Grafische presentaties bevatten pijlen en de status van deze pijlen is niet altijd duidelijk. In de Tripod-visualisatie kunnen deze pijlen verwijzen naar correlaties, naar oorzakelijke relaties, of naar ongevalscenario's. Ook in Zwitserse kaas is de status van de pijl in de presentatie niet duidelijk. Hoogstwaarschijnlijk is dit het resultaat van een sociaal-wetenschappelijke interpretatie van ongevalsprocessen, waar de focus minder op ongevalsscenario's ligt dan bij een technische benadering. In het drift-to-danger-model geven 'gradiënten' algemene ongevalsscenario's weer, terwijl de pijlen in de bowtie-metafoor specifieke scenario's zijn die leiden naar verlies van controle en consequenties. Deze laatste metafoor biedt mogelijkheden om de ontwikkeling van scenario's in de tijd te volgen door de activering van alarmen aan specifieke scenario's te koppelen. Management en werknemers krijgen zo een overzicht van de veiligheidstoestand van hun processen en kunnen daar hun interventies op afstemmen. Majeure ongevallen worden immers niet gestopt door wet- en regelgeving of door ISO-normen.

De kwantificering van majeure ongevallen, van effecten, voordelen van veiligheidsmaatregelen zijn een essentieel onderdeel van risicomanagement. Rationele argumenten en kwantificering spelen echter niet altijd een rol bij besluitvorming in directiekamers. Er is een groeiende twijfel over de formele rationaliteit van organisaties. Problemen worden nooit helemaal uitgediept, uitgebreide probleem-analyse of overzichten van mogelijke acties blijven vaak achterwege. Rationaliteit is dan een façade en de realiteit is een metafoor voor de manier waarop beslissers de stroom van informatie en ervaringen proberen te begrijpen (Weick & Sutcliffe, 2001). Het is een vraag of managers altijd geïnteresseerd zijn in kwantitatieve informatie. Ze introduceren vaak veiligheidsmaatregelen vanwege reputatieargumenten, of omdat ze getuige zijn geweest van een zwaar ongeval (Hale, 2004).

Modellen en metaforen die in dit document worden geïntroduceerd, bieden eveneens een rationele verklaring van arbeids- of majeure ongevallen in high-tech-high-hazard sectoren. Deze presentaties hebben hun erkenning in de wetenschappelijke wereld gekregen. Maar dat geldt niet voor veiligheidsprofessionals, procesingenieurs of bedrijfsmanagement, mogelijk om bovengenoemde redenen. Buiten het veiligheidsdomein worden slechts enkele veiligheidsconcepten internationaal geaccepteerd omdat ze eenvoudig te begrijpen zijn, de domino's, de Zwitserse kaas, Normale Accidents, High Reliability Organisations, inherent veilig ontwerp en LOPA, waarvan enkele voor-

beelden in dit artikel zijn besproken. Andere concepten zoals Tripod, de bowtie en de invloed van processtoringen zijn complexer en hebben slechts een lokale of nationale waardering.

Eén theorie, over de incubatietijd van zware ongevallen van Barry Turner uit 1978, is een speciaal geval. Deze theorie is voor het eerst gepubliceerd in 1978 in het zeer leeswaardige boek 'Man Made Disasters'. De theorie heeft bijna 20 jaar een slapend bestaan geleid. Aan het eind van de jaren negentig, na publicatie van een tweede editie herwint de theorie haar erkenning in het domein van de veiligheidswetenschap (Turner & Pigeon, 1997). Een reden voor zijn sluimerende staat zijn de tijdschriften waarin Turner publiceert: de *British Journal of Management* en de *Quarterly Administrative Quarterly*. Deze managementtijdschriften worden niet gelezen door veiligheidswetenschappers, zoals ook door Rasmussen is aangegeven.

## Literatuur

- Agricola G. (1556). *De Re Metallica*. Vertaald door Hoover H en Hoover L (1950). Dover publications, New York.
- Aldrich M. (1997). *Safety First: Technology, labour and business in the building of American safety 1870-1939*. John Hopkins University Press, Baltimore.
- Andersen R, Langeröf E. (1983). Accident data in the new Swedish information system on occupational injuries. *Ergonomics* 26 (1): 33-42.
- Anoniem (1915). Industrial accident statistics. *Science* 42 (1077): 238-239.
- Anoniem (1926). Industrial Psychology. *Nature* 118 (2969): 462.
- Benner L. (1975). Accident investigation. Multilinear events sequencing methods. *Journal of Safety Research* 7 (2) :67-73.
- CCPS (2001). Center for Chemical Process Safety, simplified process risk assessment. American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Cooper M. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science* 36: 111-136.
- DeBlois L. (1926). *Industrial safety organization for executives and engineer*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Eastman C. (1910). *Work-accidents and the law. The Pittsburgh survey*. Charities Publications Committee, New York.
- Gibson J. (1961). The contribution of experimental psychology to the formulation of the problem of safety – a brief 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.
- Greenwood M, Wood H. (1919). The incidence of industrial accidents upon individuals with special reference to multiple accidents. Industrial Fatigue Board, report no 4. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Groeneweg J. (1992). *Controlling the controllable, the management of safety*. Proefschrift Rijksuniversiteit Leiden, DSWO Press, Leiden.
- Haddon W. (1963). A note concerning accident theory and research with special reference to motor vehicle accidents. *Annals of the New York Academy of Science* 107: 635-646.
- Haddon W. (1968). The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptive based. *American Journal of Public Health* 58(8): 1431-1438.

- Hale A. (2004). Management of Industrial Safety. Chapter for the Encyclopaedia of Life Support Systems. UNESCO.
- 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. Taylor & Francis, London.
- Heinrich H. (1941). Industrial accident prevention, a scientific approach (2nd edition). McGraw-Hill Book Company, New York.
- Hermans H. (2007). Een monster loert... De collectie historische gezondheidsposters van de Universiteit van Amsterdam. Vosiuspers, Amsterdam.
- Khakzad N, Reniers G. (2017). Cost-effective allocation of safety measures in chemical plants w.r.t. land-use planning. Safety science 97: 2-9.
- Kirwan B. (1994). A guide to practical human reliability assessment. Taylor & Francis, London.
- Kjellén U. (1984a). The deviation concept in occupational accident control I definition and classification. Accident Analysis & Prevention 16(4): 289-307.
- Kjellén U. (1984b). The role of deviations in accident causation. Journal of Occupational Accidents 6: 117-126.
- Kjellén U. (1984c). The deviation concept in occupational accident control II data collection and assessment of significance. Accident Analysis & Prevention 16(4): 307-323.
- Kjellén U, Larsson T. (1981). Investigation accidents and reducing risks - a dynamic approach. Journal of Occupational Accidents 3: 129-140.
- Kletz T. (1984). Cheaper, safer plants. Institute of Chemical Engineers, Rugby.
- Le Coze J. (2015). Reflecting on Jens Rasmussen's legacy. A strong problem for a hard problem. Safety Science 71: 123-141.
- Oostendorp Y, Zwaard W, van Gulijk C, Lemkowitz S, Swuste P (2013). Introductie begrip risico binnen de n veiligheidkunde in Nederland. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 26 (3-4): 75-91.
- Palmer L. (1926). The history of the Safety Movement. Annals of the American Academy of Political and Social Sciences 123 (1): 9-19.
- 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. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. Safety Science 27 (2-3): 183-213.
- Reason J. (1990). Human error Cambridge University Press.
- Reason J. (1997). Manging the risks of organizational accidents. Ashgate, Aldershot.
- Reniers G, Brijs T. (2014). Major accident management in the process industry: an expert tool called CESMA for intelligent allocation of prevention investments. Process Safety and Environmental Protection 92 (6): 779-788.
- Reniers G, van Erp N. (2016). Operational safety economics. A practical approach focused on the chemical and process industries. ISBN 978-1-118-87151-5 John Wiley & Sons Inc., Chichester.
- Schein E. (1992). Organisational culture and leadership. Jossey-Bass, San Francisco.
- Schmitz P, Swuste P, Reniers G, van Nunen K. (2019). Mechanical integrity of process installations - an analysis method with bow-ties and indicators. Chemical Engineering Transactions (submitted).
- Spaan S. (2018). Herman Heijenbrock (1871-1948): industriële ontwikkeling in beeld gebracht. Arbeid in beeld. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 31 (3): 103-107.
- Swuste P, van Gulijk C, Zwaard A. (2009). Ongevalscausaliteit in de 19e en eerste helft 20e eeuw, de opkomst van de brok-  
kenmakertheorie in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië en Nederland. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 22 (2): 46-63.
- Swuste P, van Gulijk C, Zwaard W, Oostendorp Y. (2011) Veiligheids-  
theorieën modellen metaforen in de drie decennia na 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, van Gulijk C, Zwaard W, Lemkowitz S, Oostendorp Y,  
Groeweg J. (2014) Veiligheidsmanagement en -systemen  
vanaf 1900 tot heden, een overzicht van Engelstalige en Ne-  
derlandstalige literatuur; Deel 1 19e eeuw – 1979. Tijdschrift  
voor toegepaste Arbowedenschap 14 (3): 84-103.
- Swuste P, Groeneweg J, van Gulijk C, Zwaard W, Lemkowitz S.  
(2015a). Van Three Mile Island tot Piper Alpha, veiligheidsma-  
nagement en veiligheidssystemen, een overzicht van Engels-  
en Nederlandstalige literatuur, Deel 2, de periode 1979-1988.  
Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 28 (4): 130-157.
- Swuste P, Theunissen J, Reniers G, Blokland P. (2015b). Procesvei-  
ligheidsindicatoren, een overzicht van de literatuur. Tijdschrift  
voor toegepaste Arbowedenschap 28 (3): 82-98.
- Swuste P, van Gulijk C, Zwaard W. (2016) Veiligheidsmanagement  
en -systemen voor arbeidsveiligheid, een overzicht van Engels-  
en Nederlandstalige literatuur. Deel 3, de periode 1988-2010  
– Arbeidsveiligheid. Tijdschrift voor toegepaste Arboweden-  
schap 29 (4): 131-151.
- Swuste P, van Gulijk C, Groeneweg J, Zwaard W, Lemkowitz S.  
(2017). Risico- en veiligheidsmanagement in high-tech-high-  
hazard sectoren, van Capham Junction tot Macondo, Deep-  
water Horizon. een overzicht van Engels- en Nederlandstalige  
literatuur. Deel 4: de periode 1988-2010 – de industriële high-  
tech-high-hazrd sectoren. Tijdschrift voor toegepaste Arboweden-  
schap 30 (3): 78-120.
- Swuste P, Zwaard W, Groeneweg J, Guldenmund F. (2019a). Safety  
professionals in the Netherlands. Safety Science 114: 79-88.
- Swuste P, van Gulijk C, Zwaard W, Lemkowitz S, Oostendorp Y,  
Groeneweg J. (2019b) Van veiligheid naar veiligheidkunde.  
Vakmedianet, Alphen aan den Rijn.
- Talarico L, Reniers G. (2016). Risk-informed decision making of  
safety investments by using the disproportion factor. Process  
Safety and Environmental Protection 100: 117-130.
- Turner B. (1976). The organisational and inter-organisational  
development of disasters. Administrative Science Quarterly  
21 (3): 378-397.
- Turner B. (1978). Man-made disasters. Butterworth-Heinemann  
Oxford.
- Turner B, Pidgeon N. (1997). Man-made disasters. 2e editie  
Butterworth-Heinemann, Oxford UK.
- van Gulijk C, Swuste P, Zwaard W. (2009). Ontwikkeling van vei-  
ligheidskunde in het interbellum en de bijdrage van Heinrich.  
Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 22 (3): 80-95.
- van Nunen K, Swuste P, Reniers G. (2018a). Het verbeteren van  
veiligheid van intern transport met palletwagens: een bowtie  
analyse van ongevalsscenario's Tijdschrift voor toegepaste  
Arbowedenschap 31 (3): 74-87.
- van Nunen K, Swuste P, Reniers G, Paltrinieri N, Aneziras O, Ponnet  
K. (2018b). Improving pallet mover safety in the manufacturing  
industry. A bow-tie analysis of accident scenarios. Materials 11  
(1955):1-19 doi:10.3390/ma11101955999.
- Visser K. (1998). Developments in HSE Management in Oil and  
Gas Exploration and Production. In: Safety management,  
the challenge of change. Hale A Baram M (Eds.). Pergamon,  
Amsterdam, p 43-66
- Weick K, Sutcliff K. (2001). Manging the unexpected. Resilience  
performance in the age of uncertainty. John Wiley & Sons,  
Inc., Chichester (2e edition 2007).
- Westrum R. (2004). A typology of organisational cultures. Quality  
and Safety in Health Care 13 (Suppl II): ii22–ii27.

Zwaard W. (2007). Kroniek van de Nederlandse veiligheid. Van kinderarbeid en wassend water tot ontploffend vuurwerk (Chronical of Dutch safety, from child labour and rising water till exploding fireworks). Syntax Media, Arnhem.

Zwaard W. (2009). Ontwikkeling in het onvolmaakte. 40 jaar Hogere veiligheidskunde (Developments of the imperfect. 40 years of Secondary vocational safety courses). Stichting PHOV, Utrecht.