

Full paper

Procesveiligheidsindicatoren, een overzicht van de literatuur

Paul Swuste¹, Jos Theunissen¹, Genserik Reniers¹ en Peter Blokland¹

Trefwoorden: veiligheidsindicator, veiligheidsmetafoor, -model, -theorie, procesveiligheid, managementfactoren, arbeidsveiligheid

Samenvatting

Vraagstelling: Kunnen procesveiligheidsindicatoren kennis en inzicht geven over de veiligheid van een proces of bedrijf, zowel huidig als toekomstig? En zo ja, welke procesindicatoren komen daarvoor in aanmerking?

Methode: Het onderzoek is beperkt tot oorspronkelijke Engels- en Nederlandstalige documenten en artikelen in de wetenschappelijke literatuur en de vakpers.

Resultaten en discussie: Indicatoren voor procesveiligheid kunnen inzicht geven in de veiligheid van een proces of bedrijf, maar het is duidelijk dat de 'silver bullet' nog niet is gevonden. De vakpers maakt onderscheid tussen leidende en volgende indicatoren. In de wetenschappelijke literatuur wordt dit ter discussie gesteld, evenals de kwantificering van veiligheidsindicatoren. Veiligheidsindicatoren voor management en organisatie hebben nog een onduidelijke relatie met latente fouten en condities die nu regelmatig in retrospectieve veiligheidsanalyses van grote ongevallen benoemd worden. Indicatoren voor arbeidsveiligheid hebben geen eenduidige relatie met de veiligheid van een primair proces. Daarnaast kan worden verwacht dat de toezichthouders bij de veiligheidsrapportageplichtige BRZO bedrijven het identificeren en implementeren van zowel volgende als leidende indicatoren, verankerd in een veiligheidsmanagementsysteem, zal afdwingen. Ook hierdoor zal het onderwerp 'veiligheidsindicatoren' in de belangstelling blijven staan.

Inleiding

In een competitieve marktomgeving dienen bedrijven optimaal te presteren, willen ze op lange termijn overleven en behoren tot de top van de sector. In de jaren 90 van de vorige eeuw is de term 'Performance Management (PM)' in de managementliteratuur geïntroduceerd. Performance kan in deze context vertaald worden als het beheren van de prestaties met als einddoel om beter te presteren. Eerst en vooral denkt men aan het financieel economische gebied en op het gebied van productiviteit en kwaliteit en milieu. Maar ook veiligheid is een belangrijk gebied waar performance indicatoren voor worden uitgewerkt. Deze verschillende gebieden zijn onderling met elkaar verbonden. In de praktijk wordt performance management zichtbaar in de keuze van representatieve indicatoren die de werkomgeving en productieprocessen

Abstract

Objectives: Can process safety indicators provide insight and knowledge on both current and future safety levels of a process or company? And if so, which process indicators are eligible?

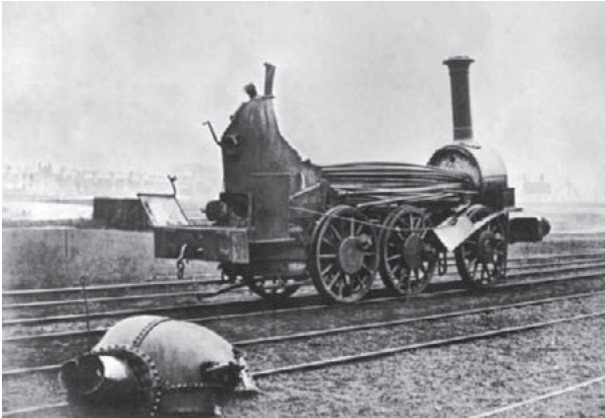
Method: The study is limited to original English and Dutch documents and articles in the scientific and professional literature.

Results and discussion: Indicators for process safety can provide insight into safety levels of a process or company, but it is clear the 'silver bullet' has not yet been found. In secondary literature a difference is made between leading and lagging safety indicators. Primary literature questions this distinction, as well as the quantification of safety indicators. Safety Indicators for management and organization have an ambiguous relationship with latent errors and conditions, which are once and again mentioned in retrospective safety analyses of major accidents. Indicators for occupational safety do not necessarily have a relationship with process safety. In addition, it can be expected that regulators of major hazard companies will enforce to identify and implement both lagging and leading indicators, and anchor these indicators in a safety management system. Therefore, the subject 'safety indicators' will remain in the spotlight

op een realistische manier trachten weer te geven. Vervolgens wordt op deze indicatoren ingespeeld en worden ze aangepast om een optimale situatie te verkrijgen. In dit artikel wordt een specifiek soort indicatoren voor het veiligheidsdomein behandeld, de procesveiligheidsindicatoren.

In de literatuur over dit onderwerp wordt wel verwezen naar ketels van stoommachines en -treinen. Deze explodeerden in de 19^e eeuw met een zekere regelmaat, totdat begrepen werd dat de druk, de temperatuur en de sterkte/dikte van de ketelwand belangrijke technische indicatoren waren voor stoomketel-explosies (figuur 1). De frequentie van ontplofende ketels daalde spectaculair na de introductie van de veiligheidsklep. Toen in de

¹ Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft



Figuur 1 Geëxplodeerde stoomketel

tweede helft van de 19^e eeuw stalen ketels geproduceerd konden worden met het Siemens Martin en het Bessemerproces was ook de sterkte van de ketelwand onder controle. (Rolt, 1955; Hijmans, 1963).

Een kleine honderd jaar later verschenen in Amerika twee publicaties over veiligheidsindicatoren voor persoonlijke veiligheid, van Thomas Rockwell (1959) en William Tarrants (1963). Rockwell was op zoek naar een maat voor veiligheidsprestaties. Hij formuleerde eisen waar deze maat aan moest voldoen. De maat dient betrouwbaar te zijn, kwantificeerbaar en eenvoudig te begrijpen; de maat dient ook stabiel te zijn, reproduceerbaar, gevoelig voor veranderingen en kosteneffectief. Ongevallen, al dan niet met verzuim, voldeden volgens de auteur hier niet aan. In plaats daarvan werden, in overeenstemming met de toenmalige veiligheidsmetafoor - de bekende domino's van Heinrich (Heinrich 1941 en zie ook Van Gulijk e.a., 2009), onveilige handelingen als uitgangspunt genomen voor veiligheidsindicatoren (tabel 1).

Vier jaar later promoveerde William Tarrants aan de Universiteit van New York op oorzaken van ongevallen. Ongevallen en bijna-ongevallen werden gedefinieerd als ongeplande gebeurtenissen die interfereerden met een taak en die niet noodzakelijkerwijs tot schade of tot nadelige effecten hoefden te leiden. Met deze definitie volgt Tarrant de inzichten van Winsemius (1951), die ongevallen verklaarde uit de taakdynamiek (zie ook Swuste e.a., 2011). Ongevallen werden altijd voorafgegaan door

Tabel 1 Onveilige handelingen als veiligheidsindicator (Rockwell, 1959)

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Working with loose tools underfoot. 2. Working without goggles when required. 3. Working under suspended loads. 4. Failure to use guards as provided. 5. Working in unsafe postures. 6. Wearing improper or loose clothing. 7. Use of shock tools with mushroomed heads. 8. Improvising unsafe ladders and platforms. 9. Running. 10. Misuse of air hose. |
|---|

fouten, of onveilige condities, of door een combinatie van fouten en onveilige condities (Tarrant, 1963, 1970). Hij stelde voor om incidenten en ongevallen als basis te nemen voor indicatoren.

Visser (1995) geeft inderdaad aan dat er één welbepaalde indicator tot ver in de jaren '90 de belangrijkste is geweest in de procesindustrie, namelijk de LTIF, ofwel de Lost Time Incident Frequency. De LTIF is het aantal dagen afwezigheid als gevolg van een arbeidsongeval per miljoen gewerkte uren. Verbetering in veiligheidsprestaties werd in die tijd gelijkgesteld met verbetering in LTIF-waarde. De indicator daalde tussen 1957 en 1994 bv. bij Shell van ongeveer 20 naar minder dan 2. Ook bij vele andere bedrijven uit de procesindustrie was er grosso modo eenzelfde trend waarneembaar. Eind jaren '90 werd daarom in diverse bedrijven gepropageerd dat een situatie van nul ongevallen nabij was. Dit bleek een misrekening. De LTIF indicator had immers direct betrekking op persoonsveiligheid en veel minder op procesveiligheid.

In de jaren 1990 drong het besef door dat zware ongevallen in hoge-risico industrieën zich bleven herhalen (Kletz 1993). Voorbeelden waren: exploderende tanks bij laswerkzaamheden, radioactieve emissies, overvullen van reactoren, falende pijpleidingen, metaalbreuken door extreme temperatuursvariaties, etc. (Pigeon, en O'Leary, 2000; Hopkins, 2000; Körvers, 2004; Sonnemans en Körvers, 2006; Körvers en Sonnemans, 2008; Guillaume, 2011, Kidam en Hurme, 2013). Bedrijven waren en zijn blijkbaar niet in staat om zogeheten 'zwakke signalen' of procesafwijkingen met mogelijk zware ongevallen tot gevolg, te herkennen. Deze zwakke signalen en afwijkingen werden vanaf de tweede helft van de jaren 70 onderverdeeld in proces technische, organisatorische en menselijke factoren – waaronder de kwaliteit van leidinggeven (zie Swuste e.a., 2014). Een vergelijking tussen de 1970-1980 met het eerste decennium van deze eeuw laat zien dat in beide periodes zware ongevallen in dezelfde industriële sectoren zijn voorgekomen. De herkenning van deze zwakke signalen op alle niveaus van de organisatie alsmede door (onder)aannemers van werk is blijkbaar nog steeds een probleem (tabel 2)

Behalve het niet herkennen van zogenaamde 'zwakke signalen' als precursoren voor zware ongevallen zijn immers andere verklaringen mogelijk, zoals beperkte analysemogelijkheden van veel gebruikte procesveiligheidstechnieken, veiligheidsmanagementsystemen die onvoldoende controle hebben over potentiële ongevalsprocessen, of beperkingen van bestaande veiligheidskundige metaforen, modellen en theorieën. Deze metaforen, modellen en theorieën zouden nog te conceptueel van aard zijn om ongevallen te kunnen voorspellen en er indicatoren uit af te leiden (Knegtering en Pasman, 2009; Le Coze, 2013). Ook de toegenomen aantallen spelen een rol. Er zijn in de beschouwde periode meer kerncentrales actief, het aantal vliegbewegingen is enorm toegenomen,

Tabel 2 Zware ongevallen, een déjà vu (Le Coze, 2013)

High-risk industries	Period	
	1970s - 1980s	2000 - 2010
Nuclear	Chernobyl, 1986	Fukushima, 2011
Offshore drilling	Piper Alpha, 1988	Deepwater Horizon, 2010
Fuel storage	Port Edouard Heriot, 1987	Buncefield, 2005
Aerospace	Challenger, 1986	Columbia, 2003
Aviation	Tenerife, 1977	Rio Paris, 2009
Chemical - petrochemical	Flixborough, 1976, Bhopal, 1984	Toulouse, 2001, Texas City, 2005
Railway	Clapham Junction, 1987	Ladbroke grove, 1999
Maritime I	Zeebrugge, 1987	Costa Concordia, 2012
Maritime II	Exxon Valdez, 1987	Erika, 2003
Air traffic Management	Zagreb, 1976	Umberlingen, 2002

etc. En de kwetsbaarheid van deze systemen wordt vergroot door de toegenomen complexiteit en een dominante marktwerking. Deze laatste invloed leidt tot uitbesteding, verhoogde productie efficiëntie en modulaire of gefragmenteerde organisatiestructuren (Le Coze, 2014). Tegen deze achtergrond worden in dit artikel de volgende twee onderzoeksvragen beantwoord:

Kunnen procesveiligheidsindicatoren kennis en inzicht geven over de veiligheid van een proces of bedrijf, zowel huidig als toekomstig? En zo ja, welke procesindicatoren komen daarvoor in aanmerking?

Methoden en technieken

Andrew Hopkins en Andrew Hale hebben in 2009 een speciaal nummer van *Safety Science* gewijd aan procesveiligheidsindicatoren (Hopkins en Hale, 2009). Negen-tien verschillende bijdragen zijn verzameld in dit nummer, afkomstig van onderzoekers, van externe adviseurs en van veiligheidkundigen werkzaam in grote bedrijven. Dit nummer is de start geweest voor dit literatuuroverzicht. Vervolgens zijn via de Bibliotheek van de Technische Universiteit Delft wetenschappelijke tijdschriften geraadpleegd, waaronder *Ergonomics*, *Journal of Hazardous Materials*, *Journal of Industrial Engineering*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *Journal of Management*, *Journal of Safety Research*, *Process Safety and Environmental Protection*, *Reliability Engineering and System Safety*, *Safety Science* en het Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap.

In dit artikel wordt een onderscheid gemaakt tussen twee bronnen van informatie, de wetenschappelijke en de professionele literatuur. Wetenschappelijke wordt gedefinieerd als oorspronkelijk werk, gepubliceerd in media met een geformaliseerd, geanonimiseerd referentensysteem. Daar vallen alle publicaties onder die in wetenschappelijke tijdschriften zijn gepubliceerd. Professionele literatuur kan origineel werk zijn, of kan verslag doen van wetenschappelijke literatuur, of kan dit samenvatten of becommentariëren, of dit toepasbaar maken voor een grotere doelgroep dan de wetenschappelijke gemeenschap en geïnteresseerden. Professionele literatuur is doorgaans niet gepubliceerd in media met een geformaliseerd, geanonimiseerd reviewsysteem. Indien dit wel het geval is, dan hebben deze bijdragen veelal de toevoeging 'review', of 'literatuuroverzicht' in hun titel. Voorbeelden

van professionele literatuur zijn het Amerikaanse *Baker report* (2007), rapporten van het Amerikaanse Center for Chemical Process Safety (CCPS, 2010, 2011, 2014), van het Britse rapporten van het Control of Major Accident Hazards (COMAH, 2012), van de Health and Safety Executive (HSE, 2006) en de UK Oil and Gas Industry, 'step change in safety' (2006). Professionele literatuur van internationale organisaties is afkomstig van the International Organisation of Oil and Gas Producers (OGP, 2011) en the Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 2008a,b). Professionele literatuur omvat ook management boeken, zoals Olivier en van Hove (2010) en van Heuverswyn en Reniers (2013). Per type informatiebron worden onderstaande onderwerpen in aparte paragrafen behandeld:

- veiligheidkundige metaforen, modellen en theorieën als basis voor procesveiligheidsindicatoren;
- leidende en volgende indicatoren;
- indicatoren voor management en organisatie;
- arbeidsveiligheid en procesveiligheidsindicatoren.

Procesveiligheidsindicatoren uit de wetenschappelijke literatuur

Veiligheidskundige metaforen, modellen en theorieën als basis voor procesveiligheidsindicatoren

De geschiedenis van veiligheidkundige metaforen, modellen en theorieën zijn beschreven in publicaties van Swuste en co-auteurs en (2009, 2011, 2014, 2015) en van Van Gulijk en co-auteurs (2009). In deze literatuur wordt een onderscheid gemaakt tussen sequentiële, epidemiologische en systeem-dynamische modellen en theorieën. De dominometafoor van Heinrich beschrijft een ongevalsproces als een lineaire sequentie van gebeurtenissen, veroorzaakt door technische of menselijke fouten. De dominometafoor verklaart het ontstaan van persoonlijke ongevallen. De technische fouten hebben betrekking op blootstelling aan mechanische, elektrische of chemische gevaren, met orde en netheid, met ontbrekende omkasting van draaiende machinedelen en met onregelmatige vloeren en niet afgeschermd gaten en hoogtes (Heinrich, 1941). Voorbeelden van menselijke fouten, de dominante oorzaak van ongevallen volgens Heinrich, zijn weergegeven in de eerdergenoemde tabel 1.

Epidemiologische modellen en theorieën benadrukken naast de acute oorzaken van ongevallen de latente fouten

en condities die hun oorsprong hebben in de organisatie en het management. Turner (1976, 1978) was de eerste die dit onder de aandacht bracht met zijn begrip 'incubatieperiode', de periode dat zwakke signalen van komende zware ongevallen onopgemerkt blijven voor de organisatie. Het *bowtie* model (Nielsen, 1971; Johnson, 1973; Wijk, 1977), de Tripod theorie (Groeneweg, 1992; Wagenaar e.a., 1994) en het Zwitserse kaas metafoor (Reason, 1997) zijn voorbeelden van deze groep, die zowel voor de analyse van persoonlijke als van zware ongevallen wordt gebruikt. Deze metafoor en theorieën gaan nog steeds uit van een sequentieel ongevalsproces en van fouten van zogenaamde 'front line operators'. Maar deze fouten zijn bijna onvermijdelijk binnen de context van de organisatie waarbinnen ze worden gemaakt. De modellen worden ook wel complex sequentieel genoemd, omdat tegelijkertijd meerdere sequenties tot ongevallen kunnen leiden.

De systeem-dynamische modellen en theorieën komen op in de jaren 80 van de vorige eeuw en zijn, evenals de epidemiologische modellen, gebaseerd op een cybernetisch systeemmodel en geven verklaringen voor zware ongevallen. De 'normal accident' theorie van Perrow (1984) is daar een voorbeeld van. Niet de fouten van individuele werknemers, maar kenmerken van productiesystemen bepalen de kans op zware ongevallen. Twee systeemkenmerken zijn bepalend; de mate van koppeling van een productieproces en de complexiteit van de interacties. De mate van koppeling slaat dan op de al dan niet aanwezigheid van buffers tussen elementen van een systeem en de mate waarin de sequentie van processtappen variabel is. Complexiteit duidt op de fysische of chemische complexiteit van transformatieprocessen en op de aan- of afwezigheid van zogenaamde 'common-mode' functies, als onderdelen van een proces meer dan één component aansturen. Deze kenmerken, een hoge complexiteit en een strakke koppeling, zorgen ervoor dat zware ongevallen onvermijdelijk zijn en als 'normal accidents' gekarakteriseerd kunnen worden. Eind jaren 80 is onderzoek gestart naar, wat later, de 'high reliability organisation (hro)' theorie is gaan heten. Hro's zijn organisaties met complexe processen, die in termen van Perrow strak tot zeer strak gekoppeld zijn. Luchtverkeersleidingen en vliegmanoeuvres op vliegdekschepen zijn voorbeelden van processen waar nauwelijks sprake is van *normal accidents*, terwijl deze wel op basis van Perrow's theorie te verwachten zijn. Het kernbegrip van hro organisatie zijn de systeemkenmerken betrouwbaarheid van processen en van mensen die deze processen moeten bedienen (Rochlin, 1986; Weick, 1987; Roberts, 1988). In dezelfde periode postuleert Wildavsky het begrip 'resilience', een begrip dat in het Nederlands overeenkomt met veerkracht of incasseringsvermogen. Binnen de organisatieleer werd het begrip 'resilience' al langer gebruikt. Dat ligt voor de hand want in de competitie en het economische klimaat komen allerlei tegenslagen voor en een organisatie moet zich erop instellen onverwachte klappen te kunnen opvangen (Wildavsky, 1988).

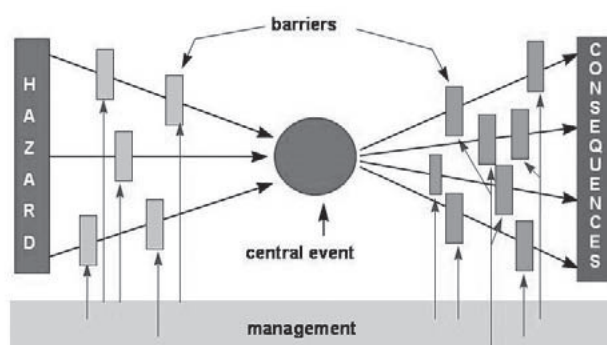
Dit begrip heeft grote overeenkomsten met hro en wordt bijna een generatie later in Europa geïntroduceerd als 'resilience engineering' (Hollnagel e.a., 2006). Ook hier is de overeenkomst met hro opvallend. Een laatste voorbeeld uit de systeem-dynamische groep is het 'drift to danger' model van Rasmussen (1997), waarbij de dynamische informatiestroom tussen actorgroepen een systeem buiten zijn veilige grenzen kan brengen. In de onderstaande paragrafen zullen enkele voorbeelden van bovenstaande metaforen, modellen en theorieën aan bod komen bij de discussie over procesveiligheidsindicatoren.

Leidende en volgende indicatoren

Over procesveiligheidsindicatoren is veel geschreven. Echter er zijn weinig onderzoeksresultaten over dit onderwerp gepubliceerd. Vaak wordt in de literatuur een onderscheid gemaakt tussen de zogenaamde leidende en volgende indicatoren die inzicht geven in de staat van veiligheid van een systeem (Allford, 2009). Daarbij doemt direct het probleem op dat veiligheid als een dynamische conditie van een systeem wordt gezien en niet rechtstreeks, maar alleen met afgeleide maten 'proxies', meetbaar is. De ongevalsfrequentie of de *lost time incidents (LTI) rate*, maten uit de arbeidsveiligheid, zijn voorbeelden van veelgebruikte indicatoren die als *proxies* worden gebruikt voor veiligheid van een proces, fabriek of bedrijf (Hale, 2009; Harms-Ringdahl, 2009; Pasman en Rogers, 2014).

De *bowtie*, het vlinderdas model, geeft de relaties weer tussen scenario's, barrières en managementfactoren. Dit model beschrijft het geheel aan aspecten om veiligheid te beheren. In het midden staat een toestand waarin energie onbeheersbaar wordt, de centrale gebeurtenis, en de gevolgen (figuur 2). Het model heeft een verborgen tijdsfactor.

Managementfactoren, die zorg dienen te dragen voor de aanschaf, het onderhoud en meer in het algemeen voor de kwaliteit van de barrières, kunnen sluipenderwijs over een lange tijdsperiode de effectiviteit van deze barrières ondermijnen. Als de energie eenmaal onbeheersbaar wordt, dan ontrollen scenario's zich doorgaans zeer snel naar hun uiteindelijke consequenties. Het onderscheid tussen leidende en volgende indicatoren is in dit model relatief eenvoudig. Leidende indicatoren geven informatie



Figuur 2 Het vlinderdas, of bowtie model

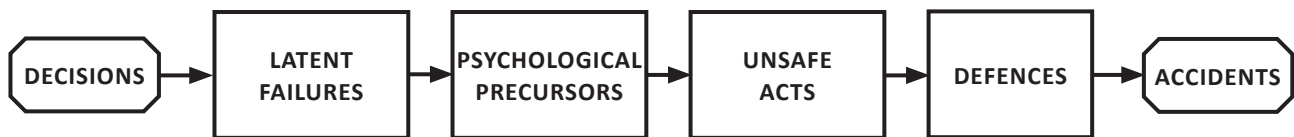
links van de centrale gebeurtenis en de volgende indicatoren rechts ervan. Zo kunnen leidende indicatoren in principe *proxies* zijn voor gevaar (*hazard*), voor barrières, voor scenario's en voor managementfactoren. Voor 'volgende indicatoren' geldt hetzelfde, alleen dan wordt de proxy voor gevaar vervangen door een proxy voor 'loss of control' en is er een proxy voor de consequenties (Grabowski e.a., 2007; Øien e.a., 2011a). Volgens deze benadering geven leidende indicatoren informatie over verstoringen van processen en zijn ze een indicatie van de stabiliteit van het systeem. Effecten van interventies, die zowel links als rechts van de *bowtie* kunnen worden ingezet, zullen zichtbaar worden in volgende indicatoren. Dit klinkt betrekkelijk helder, echter in de literatuur worden verschillende definities en termen gebruikt voor indicatoren (zie tabel 3) en barrières.

Indicatoren worden opgevat als instrumenten voor de veiligheidsbewaking van een systeem. Daarbij worden leidende indicatoren geassocieerd met een actieve en volgende indicatoren met een reactieve veiligheidsbewaking (Hopkins, 2009). Hale (2009) heeft een andere opvatting: zowel de leidende als de volgende indicatoren

moeten informatie geven over de kwaliteit en effectiviteit van barrières. Uit de lijst met definities (tabel 3) komt echter het onderscheid tussen leidend en volgend minder vaak terug dan verwacht zou worden. De spraakverwarring gaat nog verder als relaties tussen leidend en volgende indicatoren aan bod komen (Harms-Ringdahl, 2009). Als er al een verschil zou bestaan tussen leidend en volgend, dan zou er een logisch verband tussen de twee moeten bestaan. Dat is tot op heden nog niet aangetoond (Mearns, 2009). Dat zou ook uit het vlinderdas model volgen. Immers een scenario links van de centrale gebeurtenis vervolgt zijn weg aan de rechterkant. Door deze onduidelijkheid gebruiken een aantal auteurs het onderscheid tussen leidend en volgend niet meer en gebruiken ze de meer algemene terminologie van key indicator, veiligheidsprestatie indicator, of kritische prestatie indicatoren (Guldenmund en Booster, 2005; Saqib en Siddiqi, 2008; Eriksen, 2009; Mearns, 2009; Grote, 2009; Øien e.a., 2011a). Ook bij barrières is er sprake van enige spraakverwarring. Dat blijkt onder ander uit de verschillende termen, die gebruikt worden; verdediging (defence), beschermingslaag (protection layer), veiligheid kritisch element (safety critical element), veiligheidsfunc-

Tabel 3 Definities van procesveiligheidsindicatoren uit de wetenschappelijke literatuur

Referenties	Definities
Rockwell, 1959; Tarrants, 1963 Martorell e.a., 1999	Geen definitie voor procesveiligheidsindicatoren, alleen voor persoonlijke veiligheid
Leeuwen, 2006	De definitie van een procesveiligheidsindicator moet ten minste de volgende onderdelen bevatten; naam, bereik, vereiste gegevens. De formulering van de indicator is mathematische, de naam is gekoppeld aan de vereiste gegevens, nodig voor de evaluatie van de indicator
Sonnemans e.a., 2006, 2010; Körver e.a., 2008	Safety Performance Indicators zijn meeteenheden voor het meten van de prestatie van processen of activiteiten en worden gebruikt om te sturen
Hopkins, 2007	Herhaalde verstoringen, zowel technisch, als organisatorisch, als menselijk handelen
Grabowski e.a., 2007; Duijm e.a., 2008	Indicatoren worden gebruikt door iedere organisatie die bepalen hoe goed procesveiligheidsrisico's worden gemanaged (i.t.t. persoonlijke veiligheidsrisico's)
Erikson, 2009	Bouwstenen van ongevallen, condities, gebeurtenissen voorafgaand aan ongewenste gebeurtenissen en die deze gebeurtenissen in zekere mate kunnen voorspellen
Dyreborg, 2009	Geven indicaties hoe goed individuele barrières en controles gemanaged worden om gestelde doelen te bereiken
Hale, 2009	Een maat voor 'root causes' en de veiligheidsprestaties van een productieproces
Harms-Ringdahl, 2009	Een meting van het veiligheidsniveau van een systeem, zodanig dat een verantwoordelijk persoon actie kan ondernemen indien dit noodzakelijk is
Kjellén, 2009	Een waarde die in een feedback systeem voor verbeteringen bruikbaar is en aangeeft dat een voldoende mate van veiligheid is bereikt. Een observeerbare maat die inzicht geeft in het moeilijk direct meetbare concept 'veiligheid'
Le Coze, 2009	Voorspelt de toekomstige veranderingen in veiligheidsniveau
Wreathall, 2009	Een maat voor verstoringen of fouten in een proces of fabriek en een maat voor interacties tussen mensen die veiligheidsmanagement activiteiten uitvoeren
Knegtering e.a., 2009; Zwetsloot, 2009	Proxy maten voor items die vanuit onderliggende veiligheidsmodellen belangrijk gevonden worden, echter de proxies zijn benaderingen en geven slechts deels informatie over geïdealiseerde maten die zelden in de praktijk voorhanden zijn
Vinnem, 2010	Volgende indicatoren zijn precursors en 'loss of containment' incidenten. Leidende indicatoren meten de kwaliteit van een managementsysteem
Øien e.a., 2011a	Gebaseerd op het voorkomen van incidenten, bijna-ongevallen, barrière prestaties
Reiman, 2012	Een maat die de status van een risico beïnvloedende factor meet
Hassan e.a., 2012	Geeft een indicatie van de huidige stand, of de ontwikkeling van organisatorische sleutelfuncties, van processen en van de technische infrastructuur van een systeem
Khawaji, 2012	Risico gebaseerde integriteitsindicatoren meten de integriteit van gebruiksmiddelen: operationeel, mechanisch, personeel
	Detectie van fouten in gevaaranalyses, ontwerp, niet-adequate maatregelen en veroorzaakt door externe condities



Figuur 3 Algemeen schema van een ongevalscenario (Wagenaar e.a., 1994)

tie (safety function). Het is niet duidelijk of deze termen als synoniemen te beschouwen zijn of dat verschillende auteurs ook verschillende betekenissen aan de term toekennen (Sklet, 2006). Om enige orde in de verwarring te scheppen zijn voorstellen gedaan voor onderverdelingen van indicatoren. Zo geeft de Technische Universiteit Eindhoven (Körvers, 2004; Körvers en Sonnemans, 2008; Sonnemans e.a., 2010) een indeling in vier typen:

1. veiligheid kritische afwijkingen van de normale procesgang – lekken, ongevallen;
2. toezicht – inspecties gericht op menselijk handelen, observaties, controle op de efficiëntie van veiligheidsbarrières;
3. veiligheidsaudits, organisatorische risicofactoren, training, veiligheidsinspectie van apparatuur;
4. cultuur-index – attitude survey, vragenlijst onderzoek.

Een andere indeling met een expliciete verwijzing naar 'loss of containment (loc)' is van Pasmaan en Rogers (2014). Loc is wat procesindustrie betreft elementair. Dit resulteert in 'volgende' indicatoren. Lekken zijn waarneembaar en ze zijn te tellen. Loc als indicator is als eerste naar voren gekomen, de leidende zijn minder gemakkelijk te definiëren en zijn van later datum.

1. mechanische integriteit - inspecties, audits; kwaliteit en niet afgehandelde actiepunten;
2. afgehandelde actiepunten – uit *process hazard analysis* (PHA), uit onderzoek naar bijna-ongevallen;
3. training, competentie - kwaliteit van training, testresultaten, aantal getrainde werknemers.

Deze indelingen verschillen, maar hebben gemeen dat indicatoren zowel betrekking hebben op de technologie, als op management en organisatorische activiteiten. Dit laatste onderdeel zal in een volgende paragraaf worden behandeld.

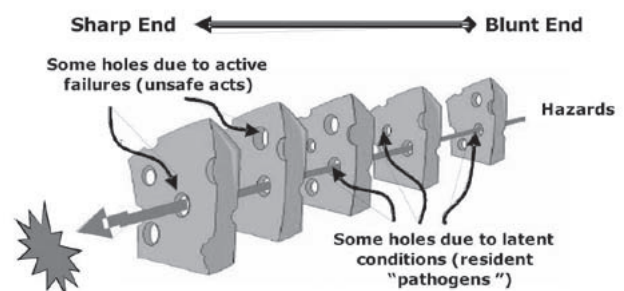
Gaandeweg wordt duidelijk dat veiligheidsindicatoren voor processen een ingewikkeld onderwerp is (Hassan en Khan, 2012). Falende managementfactoren en daarmee falende barrières zijn scenario-afhankelijk (Zemering en Swuste, 2005; Bellamy, 2009; Dryeborg, 2009; Kjellén, 2009; Le Coze, 2009) en scenario's die in het vlinderdas model als een rechte lijn worden weergegeven, kunnen vrij grillig zijn. Zware ongevallen zijn nooit het gevolg van één aanwijsbare fout of storing, maar van een patroon van gebeurtenissen die hun oorsprong hebben in het technologie-, het organisatorische- en het management-domein. Het is dan de vraag of een dergelijk patroon door één of een beperkt aantal indicatoren gevangen kan worden (Korver en Sonnemans, 2008; Grote, 2009; Kneqtering en Pasmaan, 2009).

De latente fouten en condities uit de epidemiologische modellen zijn fouten en condities die aanwezig zijn maar die zich pas openbaren wanneer ze tijdens een ongevalscenario worden aangesproken (figuur 3) (Reason, 1990a, 1990b; Wagenaar e.a., 1994).

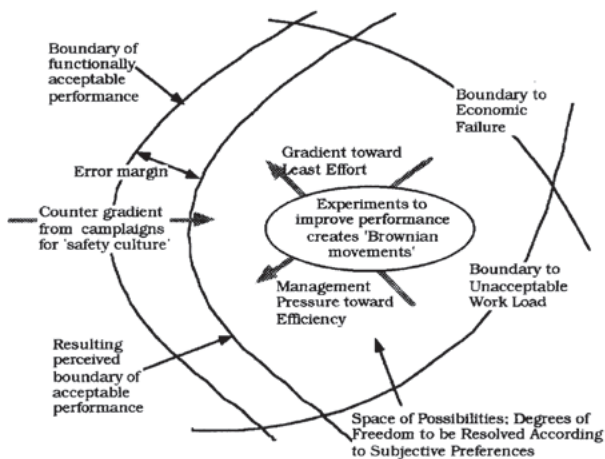
Figuur 3 is een model voor zware ongevallen in de olie industrie en lijkt een vereenvoudigde versie van het vlinderdas model, waar eveneens psychologische factoren – de 'psychological precursors' en de 'unsafe acts' – prominent aanwezig zijn. Deze indeling heeft later geleid tot het bekende Zwitserse kaas metafoor (figuur 4).

De latente condities en fouten zijn nader uitgewerkt in de Tripod theorie als de zogenaamde basis risicofactoren, de *general failure types* (Groeneweg, 1992). Deze basisrisicofactoren hebben zowel betrekking op de technologie (ontwerp, materieel), als op het management (onderhoudsbeleid, procedures, communicatie, training, tegenstrijdige management doelen, beschermingsmiddelen), als op de organisatie (organisatiestructuur, omgevingsfactoren, orde en netheid). Indicatoren dienen logischerwijs informatie te geven over de systeemelementen uit figuur 3, over de gaten in de kaasplakken uit figuur 4 en over de kwaliteit van de basisrisicofactoren. Echter beide figuren geven ook aan hoe ingewikkeld het onderscheid tussen leidende en volgende indicatoren is. Dat wordt alleen maar versterkt als systeem-dynamische ongevalsmodellen hun intrede doen. Vanuit de *normal accident theory* kunnen indicatoren afgeleid worden van de systeemkenmerken van een proces, de mate van koppeling en de complexiteit. Deze voorspellen het ontstaan van zware ongevallen en zijn daarmee leidend.

Het model van Rasmussen (1997), als voorbeeld van een systeem-dynamisch model, gaat uit van een uitgebreide stakeholders analyse, de basis voor zijn ongevalsanalyse methode Accimap. Dit model geeft de invloed weer van verschillende groepen, de informatiestroom, de interactie en conflicten tussen deze groepen. Rasmussen legt de nadruk op deze informatiestroom en de dynamiek van



Figuur 4 Zwitserse kaas metafoor (Reason, 1997)



Figuur 5 Operationele grenzen van een veiligheidsenveloppe, 'drift to danger' (Rasmussen, 1997)

besluitvorming, die van invloed is op procesveiligheid en die het systeem in een toestand kan brengen waardoor het buiten zijn zogenaamde veiligheidsenveloppe komt (figuur 5).

Deze veiligheidsenveloppe is een toestand waarbinnen een systeem veilig opereert. Een productieproces, de ellips in het centrum van figuur 5, kent een normale variatie die veroorzaakt wordt door bijvoorbeeld fysieke parameters als temperatuur en door variaties in kwaliteit van grondstoffen en tussenproducten. Deze variaties worden door Rasmussen vergeleken met de Brownse beweging van gasmoleculen. De Brownse beweging blijft binnen de grenzen van de veiligheidsenvelop. Twee gradiënten kunnen een productieproces naar de grenzen van de veiligheidsenvelop brengen en instabiel maken; de inspanningsgradiënt en de druk vanuit het management om zo kostenefficiënt mogelijk te produceren. Deze grenzen, de bogen links en rechts in de figuur, zijn volgens Rasmussen niet universeel, maar bedrijfsspecifiek en kunnen het startpunt zijn voor procesveiligheidsindicatoren en informatie geven over de mate waarin de grenzen bereikt zijn.

Echter het tempo en de dynamiek van technologische veranderingen en markt-gedreven veranderingen naar een snellere, goedkopere en efficiëntere productie zijn veel groter dan het tempo van aanpassingen van managementstructuren en wet- en regelgeving. Hierdoor kunnen grenzen van de veiligheidsenveloppe bereikt worden met ongewenste gevolgen, de *drift to danger*. Daarom kan onderzoek naar zware ongevallen niet los gezien worden van onderzoek naar besluitvorming die de kennis en de context van deze besluitvorming integreert. Voor risicomangement geeft deze benadering inzicht in de dynamiek van de veiligheid van processen en de noodzaak van betrokken partijen om de grenzen vast te stellen en inzicht te krijgen via feedback control, wanneer een toestand van 'drift to danger' optreedt (Svedung en Rasmussen, 2002).

Zware ongevallen zijn een gevolg van externe verstoringen en disfunctionele interacties tussen systeemcomponenten. Veiligheid is daarmee gedefinieerd als een controle probleem. Net als bij *drift to danger* ontstaan zware ongevallen als gevaren, als veiligheidsgrenzen van systeemcomponenten en controle structuren die niet adequaat functioneren. Een procesmodellen die niet overeenkomen met de feitelijke toestand van het systeem. Uit de bespreking van metaforen, modellen en theorieën blijkt dat de stap naar relevante indicatoren nog geen gelopen race is. Tabel 4 geeft een overzicht van procesveiligheidsindicatoren uit verschillende artikelen.

Indicatoren voor management en organisatie

Voor managers zijn resultaten van audits en terugkoppeling van werknemers belangrijke informatiebronnen om voortekenen en indicaties van ongevallen te achterhalen (Grabowski 2007; Duijm e.a., 2008). Of deze twee bronnen voldoende achtergrond geven om indicatoren op te stellen is de vraag. Vergelijkbaar met procesveiligheid, zijn ook de management en organisatorische indicatoren uit de literatuur (tabel 5) vrij algemeen geformuleerd. Een deel is gekoppeld aan interventies, zoals van manage-

Tabel 4 Overzicht van procesveiligheidsindicatoren, gemeld in de wetenschappelijke literatuur

Indicatoren	Referenties
Procesveiligheid	
Alarmen, falen, aantal per tijdseenheid	Martorell '99, Hopkins '09, Bandari '13
Blootstelling gevaarlijke stoffen/activiteiten	Martorell '99, Sklet '06, Kampen '13
Proces afwijkingen, aantal	Sonnemans '06, Körvers '08, Hale '09, Kongvik '10, Øien '11ab, Reiman '12, Bandari '13
Veiligheidstoestand, ongewenst	Grabowski '07, Bandari '13
Incidenten, aantal	Körvers '08, Kampen '13
Lekkages, aantal, hoeveelheid	Körvers '08, Harms '09
Barrière kwaliteit	Bellamy '09, Dryeborg '09, Hale '09, Reiman '12, Bandari '13
Branden, explosies, aantal, schadebedrag	Vinnem '09, Bandari '13
Loss of containment, hoeveelheid, aantal	Webb '09, Bandari '13
Proces ontwerp, fouten, onderhoud, kwaliteitscontrole, fouten	Harms '09
Testen, fouten	Hopkins '09
Veiligheidssysteem, frequentie activering	Kampen '13, Bandari '13
Installaties inherent veilig, aantal	Kampen '13

Tabel 5 Overzicht van management en organisatie indicatoren, gemeld in de wetenschappelijke literatuur

Indicatoren	Referenties
Management en organisatie	
Gedrag, onveilige situaties, positieve feedback	Rockwell 1959, Reiman 2012
Veiligheidsmanagement, activiteiten	Martorell 1999, Reiman 2012, Bandari 2013
Veiligheidscultuur, -klimaat, index	Körvers 2008, Dryeborg 2009, Harms 2009, Reiman 2012
Audits, aantal uitgevoerd, afgehandelde punten	Körvers 2008, Kampen 2013, Reiman 2012
Inspecties, afgehandelde actiepunten	Körvers 2008 Hopkins 2009, Webb 2009, Reiman 2012
Veiligheidsobservaties, aantal	Körvers 2008, Hale 2009, Kampen 2013, Reiman 2012
Veiligheidsprocedures, toegankelijkheid, bijwerken	Körvers 2008, Kongvik 2010, Bandari 2013
Veiligheidsstraining, programma, frequentie	Körvers 2008, Webb 2009, Kongvik 2010, Reiman 2012, Kampen 2013, Pasman 2014
Toolbox bijeenkomsten, frequentie, aanwezigheid	Hale 2009
Veiligheidscommissies, afgehandelde onderwerpen	Harms 2009
Werkprocedures, correct volgen, overdracht ploegen	Kongvik 2010, Bandari 2013
Veiligheid, stops bij groot risico	Kongvik 2010, Bandari 2013
Human performance bijeenkomsten, aantal	Øien 2011b, Reiman 2012
Werkvergunningen, overdracht, correct uitvoering	Øien 2011b, Webb 2009
Aannemers-onderaannemers, keuze, training	Reiman 2012
Besluitvorming, veiligheidsargumenten	Reiman 2012
Competentie profielen, training	Reiman 2012
Bemensing, ploeggrootte	Reiman 2012
Rampenplan, training	Reiman 2012
Risico beoordeling bij wijzigingen (MoC)	Reiman 2012
Veiligheidsanalyses, aantal, trends	Reiman 2012, Pasman 2014
Veiligheidsdocumentatie	Reiman 2012
Veiligheidsinitiatieven personeel	Reiman 2012

mentindicatoren verwacht kan worden. Echter wanneer indicatoren gekwantificeerd worden lijkt er nauwelijks een relatie te zijn met kwaliteit en daarmee dus met veiligheid. Dat geldt met name voor indicatoren die aan een activiteit zijn gerelateerd.

Opvallend genoeg lijken de indicatoren voornamelijk gebaseerd te zijn op ervaringen uit bedrijven of op gezond verstand. Er is betrekkelijk weinig onderzoek in de literatuur te vinden, met uitzondering van casuïstische studie van de Technische Universiteit Eindhoven (Körvers, 2004; Sonnemans e.a., 2010) en een survey van TNO naar ervaringen met indicatoren onder leden van de Nederlandse Vereniging voor Veiligheidskunde - NVVK (Kampen e.a., 2013).

Het onderzoek van Körvers en collega's is uitgevoerd bij drie BRZO-plichtige bedrijven in de coating sector, de plastic granulatoren sector en de productie van farmaceutische ingrediënten. Overeenkomstig hun onderzoek waren herhaalde storingen en afwijkingen van productieprocessen, gekoppeld aan een top 20 van dominante scenario's met veiligheidsconsequenties, de belangrijkste indicator. Bij deze herhaalde storingen zijn latente factoren onderzocht evenals de kwaliteit van barrières. Het onderzoek met deze indicator bleek succesvol te zijn en het onderzoek leverde een aantal interessante observaties op. De storingen bleken vaak te worden voorafgegaan door falende apparatuur of andere verstoringen. Als het directe gevolg niet ernstig genoeg was, werden deze signalen niet herkend als mogelijke beginstadia van een scenario

voor een procesongeval. Anderzijds kon informatie over niet-functionerende barrières binnen het bedrijf bekend zijn, maar werd door tijdsgebrek en gebrek aan effectieve communicatie tussen verschillende afdelingen niet vanuit een veiligheidskundige optiek benut. Ten derde bleek dat veiligheidsafdelingen van de onderzochte bedrijven nauwelijks betrokken waren bij de dagelijkse productie en daardoor niet of onvoldoende op de hoogte waren van de voorkomende procesgevaren en -risico's. Als laatste waren bedrijven zich niet bewust van de invloed van de besluiten van het top- en middenmanagement op de barrière kwaliteit.

De NVVK survey is uitgevoerd onder 172 leden van de vereniging die voor een groot deel werkzaam waren bij de procesindustrie bij grotere bedrijven. Per bedrijf werden in totaal 15-37 indicatoren gebruikt die voor een belangrijk deel betrekking hadden op arbeidsveiligheid. Bedrijven die goed scoorden op arbeidsveiligheid maakten meer gebruik van complexe indicatoren voor de toestand van het primaire proces. Maar tegelijkertijd werden resultaten nauwelijks gebruikt om de organisatie te verbeteren. Ook was er bij BRZO-plichtige bedrijven geen relatie tussen de gebruikte indicatoren en zelf gerapporteerde 'loss of containment' situaties. De indicatoren die vaak werden gebruikt en belangrijk werden gevonden, waren de verzuimongevallen, de openstaande punten van veiligheidsrapportages, de veiligheidstraining van werknemers en de bijna ongevallen met potentieel grote gevolgen.

Tabel 6 Overzicht van indicatoren voor arbeidsveiligheid, gemeld in de wetenschappelijke literatuur

Indicatoren	Referenties
Arbeidsveiligheid	
Bijna ongevallen, aantal	Tarrants 1963
Ongevallen met/zonder verzuim, aantal	Martorell 1999, Grabowski 2007, Webb 2009, Kampen 2013
Orde, netheid werkplek	Kampen 2013

Arbeidsveiligheid en procesveiligheid

Het verschil tussen arbeidsveiligheid, met een grote variatie van type gevaren, en procesveiligheid, met een focus op 'loss of containment', zal menigeen intuïtief aanvoelen. Ook de omvang van de mogelijke consequenties speelt daarbij een rol. Kjellén (2009) maakt de opmerking dat vanuit een energiemodel, 'hazard-barrier-target', het onderscheid veel kleiner kan zijn als het indicatoren betreft. Verder onderzoek moet echter uitwijzen hoeveel overlap er in werkelijkheid is tussen de twee types veiligheidsindicatoren.

Binnen bedrijven is een grote behoefte aan eenvoudige, begrijpbare en communiceerbare indicatoren en ongevallen met verzuim als indicator voldoet daar aan (tabel 6).

Procesveiligheidsindicatoren uit de professionele literatuur

Veiligheidskundige metaforen, modellen en theorieën als basis voor procesveiligheidsindicatoren

Dat procesveiligheidsindicatoren belangrijk zijn voor de proces industrie mag blijken uit de vele definities die hiervoor te vinden zijn (zie tabel 7). Deze definities sluiten

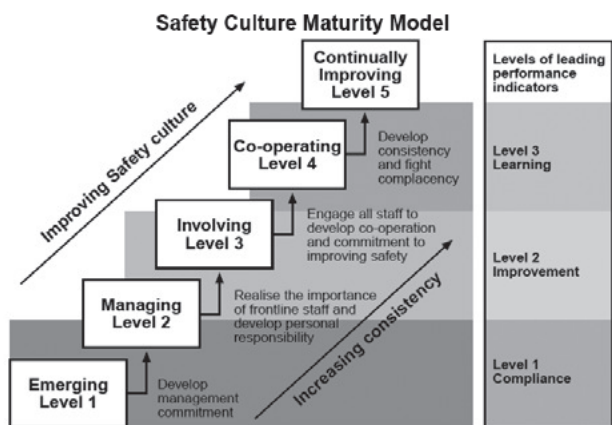
goed aan bij wat in de wetenschappelijke literatuur te vinden is.

Toch zijn er wezenlijke verschillen te noteren, waarbij het verbeteren en benchmarken prominent aanwezig zijn, daar waar het in de wetenschappelijke literatuur gaat om barrières en veiligheidsniveaus. Verder kan men stellen dat in de professionele literatuur een drietal modellen uit de wetenschappelijke literatuur prominent aanwezig zijn. Zo goed als in alle gevallen dienen ze als basis voor het opstellen van veiligheidsindicatoren. Deze modellen zijn van de piramide van Heinrich afgeleide modellen (ANSI/API RP754 2010; CCPS 2010; OGP 2011), het Zwitserse kaas model van Reason (ANSI/API RP754 2010; CCPS 2010; HSE 2006; OGP 2011; UK Oil & Gas Industry, 2006; Hopkins,2007) en in mindere mate het *Bowtie* model (CCPS 2010; OGP 2011).

Step change in safety, een publicatie van het UK samenwerkingsverband van bedrijven uit de olie- en gaswinning (UK Oil and Gas Industry 2006), heeft een continu verbeteringsproces voor veiligheidscultuur ontwikkeld,

Tabel 7 Definities van procesveiligheidsindicatoren uit de professionele literatuur

Referenties	Definities
HSE, 2006	Systeem bewakers die, volgend en leidend, een dubbele zekerheid geven dat het risico controle systeem operationeel is zoals bedoeld, of een waarschuwing geven van problemen die in ontwikkeling zijn
HSE, 2006	Geven óf het resultaat van een risico controle systeem aan (volgend) óf het al dan niet goed functioneren van kritieke elementen van het risico controle systeem (leidend).
UK Oil & Gas, 2006	Geven informatie over de uitkomst van onze acties (volgend) of over de huidige situatie die van invloed kan zijn op toekomstige prestaties (leidend).
OECD, 2008	Stellen betrokken organisaties in staat om te controleren of getroffen risicobeheersmaatregelen nog steeds voldoende actief zijn.
Olivier e.a., 2010	Prestatie-indicatoren die de organisatie ondersteunen om vooropgestelde doelstellingen meetbaar te maken en om zo prestaties te meten. De metingen moeten dienen om te sturen, te verbeteren, of om rekenschap af te leggen. [er wordt geen strikt onderscheid gemaakt tussen persoonlijke veiligheid en procesveiligheid]
CCPS, 2010	Een standaard voor het meten van de doelmatigheid en uitvoering van procesveiligheidsmanagement
ANSI/API, 2010	Belangrijker dan het onderscheid tussen volgend en leidend is het feit dat de indicator informatie geeft die effectief is in het verbeteren van de veiligheid
CCPS, 2010	Indicatoren zijn maatstaven waarmee prestatie en effectiviteit van het procesveiligheidsmanagementsysteem en de daarbij behorende elementen en activiteiten worden gevolgd.
CCPS, 2011	Gekoppeld aan ernstige veiligheidsincidenten (volgend) of een maat voor het functioneren van onderdelen van het veiligheidsmanagementsysteem (leidend).
Cefic, 2011	Meten en analyseren incidenten op het gebied van procesveiligheid en maken onderlinge vergelijking binnen een industrie mogelijk
OGP, 2011	Informatie of data die aangeven dat een bedrijf de belangrijkste risico's, op het gebied van de integriteit van de apparatuur en de veiligheid van het proces, beheerst.
EPSC, 2012	Indicatoren zijn de meetgrootheden die gekoppeld zijn aan veiligheid kritische maatregelen
Bellamy e.a., 2012	Geeft informatie over de veiligheidstoestand
Bhandari e.a., 2013	Een sleutelfactor voor het succes van procesveiligheid
Heuverswyn e.a.,2013	Een indicator is representatief voor de mogelijkheid/capaciteit een voorgesteld resultaat te bereiken



Figuur 7 HSE Safety Culture Maturity Model

gebaseerd op een Safety Culture Maturity Model met 5 tredes (Fig.7). Daarin worden 3 niveau's onderscheiden (Compliance, Improvement en Learning) waaraan specifieke leidende indicatoren kunnen worden gekoppeld.

Veiligheid Voorop (2011), een initiatief van Nederlandse bedrijven die grootschalig met gevaarlijke stoffen werken, hebben een document met 10 actiepunten voor veiligheid gepubliceerd waarin ook, in navolging van de BRZO richtlijnen aan Seveso-III, het ontwikkelen van indicatoren voor het meten van de veiligheidsprestatie en de werking van het veiligheidsbeheerssysteem expliciet wordt genoemd.

Behalve in de hierboven beschreven wetenschappelijke literatuur, wordt dus ook vanuit overheidsinstanties (toezichthouders), bedrijven en bedrijfsorganisaties aandacht besteed aan proces veiligheidsindicatoren, deze publicaties steunen op het wetenschappelijk werk, maar zijn evenzeer gebaseerd op ervaring en toegespitst op directe praktische toepassing.

Leidende en volgende indicatoren

Een aantal prominente organisaties hebben toonaangevende rapporten over dit onderwerp uitgegeven [HSE (2006); OECD (2008); OGP (2011); CCPS (2011)]. Al deze rapporten dateren van ná het BP Texas City raffinaderij ongeval in 2005, maar het OECD rapport is een vervolg op een initiële versie uit 2003. Het onderzoeksteam van dit ongeval (Baker report, 2007) toonde duidelijke tekortkomingen in het procesveiligheidsmanagementsysteem van de betrokken raffinaderijen aan. Het team merkte daarbij op dat hun aanbevelingen en bijbehorend commentaar even goed op andere raffinaderijen en chemiebedrijven van toepassing zouden kunnen zijn. De UK Health and Safety Executive (UK HSE), de US Chemical Safety and Hazard Investigation Board (US CSB) ondersteunden deze opmerkingen en de American Petroleum Industry (API), het Centre for Chemical Process Safety (CCPS) en de International Association of Oil and Gas Producers (OGP) hebben daarna de bovengenoemde publicaties geschreven met richtlijnen voor *Key Performance Indicators* (KPI's) om proces risico's in te bannen. (Tabel 8)

De Britse HSE geeft, gebaseerd op de praktijk van de UK chemische industrie, richtlijnen voor management en veiligheidsdeskundigen voor het ontwikkelen, selecteren en implementeren van procesindicatoren voor de grote procesrisico's en geeft daarvoor een stappenplan van 6 stappen (HSE, 2006)

Niet zozeer het monitoren van falen (volgend) maar het tijdig ontdekken van zwakheden (leidend) in het risico-beheerssysteem is daarbij belangrijk. Binnen het procesveiligheidsmanagement-systeem moeten allereerst de grote gevaar scenario's zijn geïdentificeerd, vervolgens voor ieder scenario een aantal barrières (Risico Controle Systemen, RCS's) worden aangegeven, en tenslotte aan

Tabel 8 Overzicht van procesveiligheidsindicatoren, gemeld in de professionele literatuur

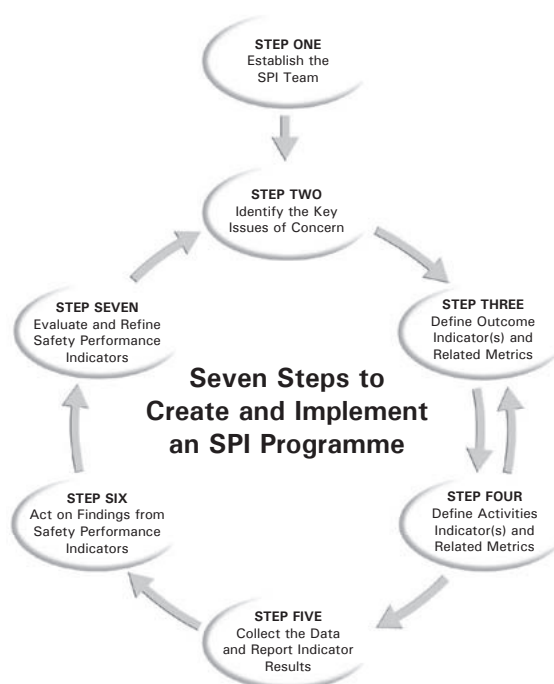
Indicatoren	Referenties
Procesveiligheid	
Alarmen, falen, aantal per tijdseenheid	OGP 2011, OGP 2008
Blootstelling gevaarlijke stoffen/activiteiten	UK Oil & Gas 2006
Veiligheidstoestand, ongewenst	OECD 2008
Incidenten, aantal	CCPS 2011
Lekkages, aantal, hoeveelheid	CCPS 2011, ANSI_API 2010, Cefic 2011
Branden, explosies, aantal, schadebedrag	OGP 2011, HSE 2006, CCPS 2011, ANSI_API 2010, Cefic 2011
Loss of containment, hoeveelheid, aantal	OGP 2011, HSE 2006, CCPS 2011, ANSI_API 2010, Cefic 2011
Proces ontwerp, fouten	
Onderhoud, kwaliteitscontrole, fouten	UK Oil & Gas 2006, OGP 2011, OGP 2008, HSE 2006, OECD 2008
OGP 2011, OGP 2008, OECD 2008,	
Testen, fouten	OGP 2011, HSE 2006
Veiligheidssysteem, frequentie activering	OGP 2011, ANSI_API 2010
Installaties inherent veilig, aantal	
Procesafwijkingen buiten ontwerpvelop, aantal	OECD 2008
EPSC 2012, ANSI_API 2010	
Veiligheidssysteem, frequentie falen	HSE 2006, ANSI_API 2010
Opslag gevaarlijke stoffen, hoeveelheid	OECD 2008

iedere kritische RCS indien mogelijk zowel volgende als leidende indicatoren (dual assurance) worden gekoppeld. Leidende indicatoren zijn daarbij een vorm van actief monitoren, waarbij routinechecks eventueel falen van een barrière aan het licht moeten brengen, terwijl volgende indicatoren een vorm van reactief onderzoeken zijn daar waar barrières hebben gefaald, om daaruit lering te trekken. Het stappenplan wordt toegelicht met als voorbeeld een bedrijf voor de opslag en transport van grote hoeveelheden chemicaliën.

De UK COMAH (*Control of Major Accident Hazards*) Competent Authority, vergelijkbaar met het BRZO Bevoegd Gezag in Nederland, geeft als strategische doelstelling voor het meten van de procesveiligheidsprestatie dat eind 2015 alle grote-risico bedrijven dit moeten doen door middel van zowel leidende als volgende indicatoren (COMAH, 2012).

De Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) heeft in 2008 de *Guide on Developing Safety Performance Indicators* uitgegeven in 2 versies: een voor de Industrie en de andere voor Publiek Autoriteiten en Burgergroeperingen. Deze documenten zijn ontwikkeld door een groep van experts uit de publieke en private sector en gebaseerd op hun "best practices" in het meten van veiligheidsprestaties. Onderscheid wordt gemaakt tussen:

- Resultaat indicatoren, die reactief zijn, volgend, en aangeven óf een gewenst resultaat is bereikt maar niet waarom en
- Activiteiten indicators, proactief, leidend, die een bepaalde veiligheidsprestatie ten opzichte van een maatstaf (*tolerance level*) aanduiden en kunnen aangeven waarom een resultaat is bereikt

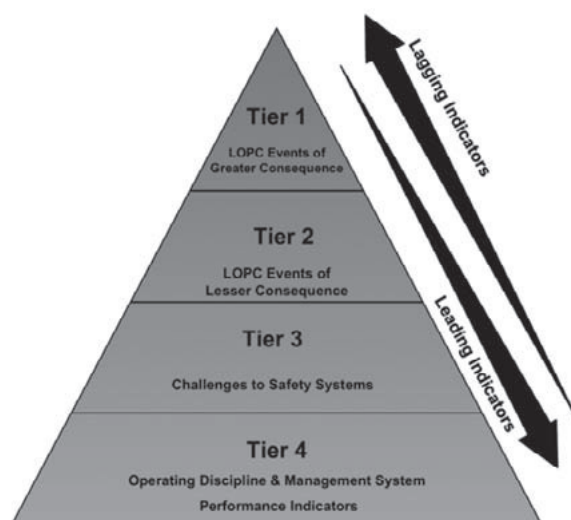


Figuur 8 Zeven stappen voor het maken van een Safety Performance Indicators (SPI) programma (OECD, 2008a)

Zeven stappen voor het maken en implementeren van een Safety Performance Indicators (SPI's) programma worden gepresenteerd (Fig. 8). Gesteld wordt dat SPI's kunnen aangeven of kritieke elementen van de veiligheidsbeheersing voldoende functioneren vóórdat catastrofaal falen plaatsvindt, waarmee duidelijk leidende indicatoren worden bedoeld. Zowel resultaat indicatoren als activiteit indicatoren kunnen worden gekoppeld aan de verschillende elementen van het veiligheidsmanagementsysteem in de industrie maar kunnen ook gekoppeld worden aan de diverse betrokken groeperingen (publieke autoriteiten, hulpgevendende organisaties als politie, brandweer etc. en burgergroepen).

De Amerikaanse ANSI/API (2010) *Recommended Practice 754* is met name gericht op raffinaderijen en chemische industrie. Onderscheid wordt gemaakt tussen 4 verschillende soorten Process Safety Events (PSE's) die, in volgorde van afnemende ernst, Tier-1 tot en met Tier-4 worden genoemd. In Tier-1 en -2 vindt daadwerkelijk Loss of Primary Containment (LOPC) plaats, in Tier-3 wordt een veiligheidssysteem geactiveerd, maar zonder verder ernstige gevolgen, en Tier-4 bevat incidenten zoals het niet volgen van (operatie-)procedures, inbreuken op het veiligheidsmanagementsysteem e.d. zonder directe gevolgen. Indicatoren die gekoppeld zijn aan Tier-1 en -2 PSE's zijn voornamelijk volgend omdat er al feitelijke LOPC heeft plaatsgevonden; indicatoren van Tier-3 en -4 PSE's zijn daarentegen meer leidend. Tier-2 en -3 PSE's kunnen, hoewel de gevolgen minder ernstig zijn dan bij Tier-1, als "near-misses" een (leidende) indicatie zijn van een zwakte in een beschermingsmaatregel ("barrier") en verdienen daarom de juiste opvolging en correctie.

Omdat de statistieken tonen dat er veel meer Tier-4 dan Tier-1 PSE's zijn kan de hele verzameling van PSE's schematisch worden weergegeven als een pyramide (Fig. 9). De nadruk in deze ANSI/API RP754 ligt op de precieze definities en classificatie van PSE's voor benchmarking doeleinden.

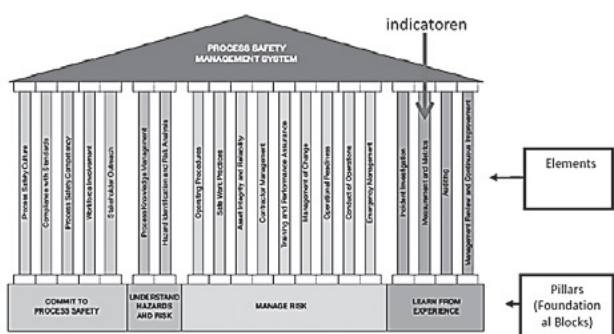


Figuur 9 Process Safety Indicator Pyramide (ANSI/API 2010)

De International Association of Oil & Gas Producers OGP is met name gericht op de olie & gas exploratie en productie. OGP report no. 456, *Recommended Practice on Key Performance Indicators* (OGP, 2011) sluit aan op het eerdere OGP report no. 415 over Asset Integrity, en refereert zowel aan de UK HSE richtlijnen (HSE, 2006) als de ANSI/API RP754. OGP lijkt het begrip “leidende indicator” te koppelen aan de preventieve barrières en de “volgende indicator” aan de de-escalerende barrières. Daarbij wordt echter ook opgemerkt dat het onderscheid tussen “leidend” en “volgend” vaak niet eenduidig te maken is. Dat dat voor kritieke barrières een combinatie van een leidende indicator om de sterkte van de barrière te testen en een volgende indicator, die defecten in de barrière aangeeft, het beste is, zoals door de HSE geadviseerd.

Het Center for Chemical Process Safety (CCPS, 2011) geeft in een verdere uitwerking van de ANSI/API RP754 onder andere voorbeelden van leidende indicatoren en de daaraan gekoppelde meetgrootheden. Terwijl in de hierbovengenoemde publicaties de geïdentificeerde risico's, ongevalsgebeurtenissen en bijbehorende barrières het uitgangspunt zijn voor het identificeren van indicatoren, wordt in *Risk Based Process Safety Overview* (CCPS, 2014) het process safety managementsysteem als uitgangspunt genomen en wordt vervolgens aangegeven dat zowel leidende als volgende indicatoren en de daarbij horende meetgrootheden, als onderdeel van een management-systeem (Fig. 10), een belangrijke positie innemen: *you can't manage what you don't measure*.

Al de voorgaande vaststellingen over de professionele standpunten aangaande procesveiligheidsindicatoren werd duidelijk en ondubbelzinnig bevestigd door de verschillende presentaties vanuit de chemische industriële sector (oa voordrachten van Cefic, Bayer, DSM, Evonik, Dupont, Huntsman, BASF, DOW, Total, LyondellBasell, ScottishPower, ea) op de internationale conferentie over process safety performance indicatoren die plaatsvond te Brussel begin 2012. Lezers die mogelijk geïnteresseerd zijn in deze presentaties, worden verwezen naar volgende website: http://www.epsc.org/content.aspx?Group=products&Page=pspi_conference.



Figuur 10 Indicatoren als onderdeel van een Process Safety Management System (CCPS, 2014)

Cefic, de European Chemical Industry Council, beperkt zich in *Guidance on Process Safety Performance Indicators* (Cefic, 2011) tot volgende indicatoren voor gebruik in benchmarking en besteedt geen aandacht aan leidende indicatoren.

Step Change in Safety van de UK Oil and Gas Industry (2012) heeft haar richtlijnen voor het effectief gebruik van leidende indicatoren gebaseerd op een uitgebreide analyse van de huidige praktijken in de UK olie en gas industrie. Terwijl volgende indicatoren informatie geven over het resultaat van acties, zijn leidende indicatoren van groot belang omdat ze informatie geven over de huidige situatie die een effect kan hebben op toekomstige resultaten. Ze kunnen daardoor risico controleren en ongelukken voorkómen. Afhankelijk van het niveau van de veiligheidscultuur in een organisatie kunnen drie soorten leidende indicatoren worden onderscheiden:

1. naleving van de regels,
2. verbetering van de prestatie,
3. lerende organisatie.

De indicatoren moeten passen bij de organisatie zoals hij op dat moment is. Voorbeelden voor leidende indicatoren voor alle 3 niveaus worden gegeven.

Olivier en Van Hove (2010) maken een onderscheid tussen indicatoren op basis van de zogenaamde “prestatiepiramide”. Op het hoogste niveau bevinden zich de resultaatindicatoren waarmee het resultaat van het veiligheidszorgsysteem wordt gemeten. Op het tussenliggend niveau heeft men de systeemindeatoren die de inspanningen meten die het systeem levert, en op het basisniveau worden de operationele indicatoren gedefinieerd die concrete realisaties in de organisatie meten.

Van Heuverswyn en Reniers (2012) vermelden ook drie types indicatoren. Management indicatoren geven aan of de voorwaarden aanwezig zijn om vooropgestelde doelen te halen. Procesindicatoren geven aan of een vooropgesteld doel haalbaar is, en of de inspanning die daarvoor vooropgesteld was, volgens plan en correct is uitgevoerd. Resultaatsindicatoren tenslotte zijn een proxy voor wat er gepresteerd is, en voor het al dan niet behaald zijn van een vooropgesteld doel.

Merk op dat de voorgaande twee paragrafen over hetzelfde gaan. De prestatiepiramide van Olivier en Van Hove gaat over het opdelen van prestaties in hiërarchische niveaus. In dit geval worden er drie niveaus voorzien. Het strategische (hoogste) niveau, het procesmatige of projectniveau (midden) en het uitvoerende (onderste) niveau, daar waar de (eind)resultaten behaald worden. Elk niveau heeft zijn specifieke verantwoordelijkheden en de daaraan verbonden indicatoren. Dit zijn dan management indicatoren op het strategische niveau, Procesindicatoren op het project/proces niveau en resultaatsindicatoren op het uitvoerende niveau. De managementindicatoren

geven aan in welke mate de voorwaarden aanwezig zijn om de beoogde doelstellingen te behalen. De procesindicatoren geven aan in welke mate de juiste inspanningen geleverd worden om de beoogde doelstellingen te behalen en tot slot geven de resultaatsindicatoren aan in welke mate de doelstellingen behaald worden. Voor eenzelfde doelstelling kan dus op drie niveaus naar prestatie indicatoren gezocht worden. Het spreekt vanzelf dat hoe hoger het abstractieniveau en dus hoe hoger het niveau waarop de indicatoren bepaald worden, hoe meer voorspellend de indicator kan zijn. Als de omstandigheden onvoldoende aanwezig zijn en als er onvoldoende inspanningen gedaan worden, zullen ook de resultaten omtrent een bepaalde doelstelling vanzelf achterblijven.

Indicatoren voor management en organisatie

Naast procesindicatoren worden ook indicatoren voor management en organisatie als veiligheidsindicatoren gebruikt. (Tabel 9).

Bijvoorbeeld UK Oil & Gas (2012) geeft hierbij een aantal voorwaarden waaraan adequate veiligheidsindicatoren dienen te voldoen om als leidende indicatoren bruikbaar en effectief te zijn: ze dienen toegankelijk te zijn en de belangrijkste delen van het veiligheidbeheerssysteem te omvatten, objectief en meetbaar te zijn en te leiden tot verbeteringsacties. Daarbij geldt dat indicatoren slechts effectief zijn als ze gebruikt worden als elementen in een continu leerproces en niet als resultaten die op zich staan.

Tabel 9 Overzicht van management en organisatie indicatoren, gemeld in de professionele literatuur

Indicatoren	Referenties
Management en organisatie	
Gedrag, onveilige situaties, positieve feedback	OECD '08
Veiligheidsmanagement, activiteiten	UK Oil & Gas '06, OECD '08
Veiligheidscultuur, -klimaat, index	OECD '08
Audits, aantal uitgevoerd, afgehandelde punten	UK Oil & Gas '06, OECD '08, CCPS '11, ANSI_API '10
Inspecties, aantal uitgevoerd	HSE '06, UK Oil & Gas '06, CCPS '11, ANSI_API '10
Inspecties, afgehandelde actiepunten	EPSC '12, OGP '11, CCPS '11, ANSI_API '10
Veiligheidsobservaties, aantal	UK Oil & Gas '06, OECD '08
Veiligheidsprocedures, toegankelijkheid, bijwerken	OECD '08
Veiligheidsstraining, programma, frequentie	OGP '11, OECD '08, CCPS '11
Toolbox bijeenkomsten, frequentie, aanwezigheid	OGP '11
Werkprocedures, correct volgen, overdracht ploegen	OGP '11, HSE 2006, CCPS '11
Human performance bijeenkomsten, aantal	OECD '08
Werkvergunningen, overdracht, correct uitvoering	UK Oil & Gas '06, OGP '11, OGP '08, OECD '08, CCPS '11, ANSI_API '10
Aannemers-onderaanname, keuze, training	OGP '11, OECD '08
Competentie profielen, training	UK Oil & Gas '06, OGP '11, OGP '08, HSE '06, OECD '08, CCPS '11, ANSI_API '10
Bemensing, ploeggrootte	OECD '08
Rampenplan, training	OECD '08, ANSI_API '10
Risico beoordeling bij wijzigingen (MoC)	
Tijdelijk uitschakelen veiligheidssysteem	OGP '11, OGP'08, HSE'06, OECD'08, CCPS '11, ANSI_API '10
EPSC '12, CCPS '11	
Inspectieprogramma installaties	EPSC '12, OGP '11
Veiligheidsanalyses, aantal, trends	
Veiligheidsbijeenkomsten personeel & management	UK Oil & Gas '06
UK Oil & Gas '06, OGP '11	
Veiligheidsdocumentatie	OECD '08, SCIS '12
Veiligheidsstudies, aantal	UK Oil & Gas '06, OGP '11, OECD '08, ANSI_API '10
Operationele procedures, correctheid/ beschikbaarheid	OGP '11, OGP '08, HSE '06, CCPS '11, ANSI_API '10
Noodprocedures, correctheid/beschikbaarheid	HSE '06, OECD '08, CCPS '11, ANSI_API '10
Overtreding wetgeving, afwijking van standaard	UK Oil & Gas '06, OGP '11, HSE '06, OECD '08
Communicatie tijdens normale operatie & emergency	HSE '06, OECD '08
Externe communicatie en samenwerking	OECD '08
Gevaar identificatie en risico analyse	OECD '08
Productveiligheid	OECD '08
Rapporten/onderzoeken van (bijna) ongelukken	OECD '08
Veiligheidscultuur, aantal/frequentie van evaluaties	CCPS '11
Veiligheidsbeleid uitgesproken en gepubliceerd	UK Oil & Gas '06
Suggesties voor verbetering veiligheid, aantal	UK Oil & Gas '06

Arbeidsveiligheid en procesveiligheidsindicatoren

In de industrie wordt onderscheid gemaakt tussen procesveiligheid en arbeidsveiligheid. Onder procesveiligheid wordt verstaan: het risico verkleinen van ongelukken die hun oorsprong vinden in het (technische) proces, wat vaak overeenkomt met het voorkomen van 'loss of containment'. De maatregelen om de procesveiligheid te verbeteren zijn dan direct gerelateerd aan het technische proces zelf en aan het uitvoeren van en leiding geven aan de procesvoering.

Met arbeidsveiligheid wordt bedoeld: de maatregelen die rondom de individuele werker worden genomen om persoonlijk letsel te voorkomen, zoals het verstrekken van veiligheidskleding, het voorkomen van contact met gevaarlijke stoffen, het geven van de juiste training e.d. Een typische indicator voor arbeidsveiligheid is het *Lost Time Incident* (LTI) getal. Het is daarom evident dat in de professionele literatuur over procesveiligheid het onderwerp arbeidsveiligheid niet expliciet aan bod komt. Waarmee overigens niet wordt ontkend dat er een verband kan bestaan tussen arbeidsveiligheid en procesveiligheid. Uit recent onderzoek is gebleken dat lichtere, meer frequent voorkomende arbeidsongevallen informatie kunnen geven over de zwaardere catastrofale ongevallen. Deze relatie is echter beperkt tot dezelfde gevaarscategorie (Bellamy, 2015) en doet vermoeden dat beide type ongevallen deels eenzelfde scenariopad doorlopen. Ook kan een procesveiligheidsincident tot persoonlijk letsel leiden en dan ook een arbeidsveiligheidsincident worden genoemd. Daarnaast kan de ernst van een procesveiligheidsincident, behalve door de hoeveelheid van de *loss of containment*, worden gewogen naar de schade en het persoonlijk letsel die het gevolg zijn, zoals in het procesveiligheidsincident-classificatiesysteem van de *API Recommended Practice 754* (RP754) wordt gepropageerd. De veiligheidsindicatoren die in de bestudeerde professionele literatuur zijn gevonden (API, OGP, Cefic, CCPS, UK Oil & Gas Industry, OECD, HSE) zijn, in de zin van het bovenstaande, procesveiligheidsindicatoren.

De API RP754 stelt daarbij een systeem voor waarin procesveiligheidsincidenten in 4 klassen (*Tier1-Tier4*) worden onderverdeeld al naar gelang de aard en hoeveelheid emissie en de gevolgen in termen van schade en letsel. Voorwaarden daarbij zijn dat:

1. Er is betrokkenheid van een chemisch proces of chemische substantie
2. De gevolgen liggen boven een bepaalde grens
3. De locatie betreft de productie, distributie of opslag van deze substantie

De bedoeling van deze richtlijnen is om tot een meer gestandaardiseerde manier van rapporteren en duidelijker data te komen die onderlinge vergelijking binnen de procesindustrie mogelijk maakt, het zogenaamde benchmarking. Zodoende wordt een beter inzicht verkregen in de procesveiligheid en de managementsystemen die nodig zijn om dit te verbeteren. OGP en Cefic volgen deze API

richtlijnen voor het classificeren van procesveiligheidsincidenten.

Opmerkelijk is dat de HSE (UK) juist kiest voor een systeem van procesveiligheidsindicatoren, met daaraan gekoppelde targets en toleranties, dat is afgestemd op één bepaalde productiefaciliteit ("*taylor-made*"). Dit stimuleert enerzijds de verbetering binnen die productiefaciliteit maar maakt anderzijds een onderlinge vergelijking binnen de procesindustrie moeilijker.

Discussie en conclusie

De indicatoren moeten in de eerste plaats tonen hoe effectief het veiligheidsmanagementsysteem werkt. Vanzelfsprekend is dat om veranderingen in het risiconiveau te kunnen zien. Dat de indicatorwaarden ook gebruikt kunnen worden als signaal met voorspellende kracht over een ophanden zijnde ongeval gaat vooralsnog te ver. Dat heeft met de aandacht voor het onderwerp te maken. Pas de laatste acht-negen jaar worden veiligheidsindicatoren met een zekere regelmaat besproken in de wetenschappelijke en professionele pers. Acht-negen jaar is niet een hele lange tijd en het wekt ook geen verwondering dat veiligheidsindicatoren nog geen uitgekristalliseerd onderwerp is. Dat is eveneens zichtbaar in de definities. De tabellen laten een brede variatie aan omschrijvingen zien, zowel binnen de wetenschappelijke als de professionele literatuur.

De besproken veiligheidskundige metaforen, modellen en theorieën geven een globale richting waarbinnen de veiligheidsindicatoren gezocht moeten worden. Zowel de *bowtie*, als de Zwitserse kaas metafoor wijzen in de richting van de invloed van barrières en van het management, en van latente factoren. Eén van deze latente factoren in het *drift to danger* model betreft de invloed van besluitvorming en de conflicten die kunnen ontstaan met veiligheid, waardoor een productiesysteem buiten zijn veiligheidsgrenzen gebracht kan worden. Besluitvorming wordt breed opgevat en heeft betrekking op zowel besluiten over de omvang en efficiëntie van de productie, van het (groot) onderhoud, als van de kwaliteit van uitbesteding en de invloed van wet- en regelgeving.

Het overzicht van definities laat een globale overeenkomst zien tussen de definities uit de wetenschappelijke en de professionele literatuur. De definities van onderzoekinstellingen blijven dicht bij de veiligheidskundige metaforen en modellen door expliciet te verwijzen naar (herhaalde) processtorings, barrière kwaliteit, *root causes* en precursors van *loss of containment*. De definities uit de professionele literatuur liggen dicht tegen regelgeving en feitelijke toepasbaarheid aan en benadrukken vooropgestelde doelstellingen, effectiviteit van procesveiligheidsmanagement en maken regelmatig het expliciete onderscheid (zij het niet steeds) tussen leidende en volgende veiligheidsindicatoren. Het Amerikaanse ANSI/API introduceert daarbij een *process safety indicator pyramid* met vier niveaus. Het onderscheid

tussen de verschillende niveaus is niet duidelijk en de indeling lijkt eerder ingegeven te zijn door juridische dan door veiligheidskundige argumenten. Dit onderscheid tussen leidend en volgend wordt in de wetenschappelijke literatuur ter discussie gesteld en de meer algemene term veiligheidsindicator wordt aanbevolen. Een laatste verschil tussen de academische literatuur en de meer praktisch gerichte professionele literatuur is de functie van veiligheidsindicatoren. In definities uit de professionele literatuur lijken indicatoren vooral een beschrijvende functie te hebben en te worden gebruikt voor het in de tijd volgen van de progressie binnen een bedrijf of voor een onderlinge vergelijking tussen bedrijven, het zogenaamde *benchmarken* (Grote, 2009). Scottish Power (Sedgwick & Stewart, 2010) laat zien hoe het bedrijf procesveiligheidsindicatoren heeft ontwikkeld volgens de HSE richtlijn HSG254 (HSE, 2006) en deze ook echt gebruikt voor de eigen processen.

In de voorbeelden van indicatoren voor procesveiligheid en voor management en organisatie zijn de verschillen minder groot dan bij de definities. Wederom verwijst de wetenschappelijke literatuur naar procesafwijkingen en kwaliteit van barrières en in de professionele literatuur wordt op praktische redenen de omvang van de opslag van gevaarlijke stoffen benoemd.

De gangbare veiligheidskundige modellen kunnen richting geven aan de formulering van procesveiligheidsindicatoren. Uit het overzicht van modellen blijkt dat de relatie model-indicator gaandeweg ingewikkelder wordt. In de literatuur lijkt overeenstemming te bestaan over een scenario en barrière specifieke formulering van indicatoren. Om tegemoet te komen aan de behoefte aan kwantificering, onder het mom van *'What gets measured gets managed'*, worden aantallen activiteiten, incidenten, interventies etc. geteld. Deze problemen met kwantificering zijn meerdere malen eerder in de literatuur aangegeven (Hale, 2009; Hudson, 2009; Øien e.a., 2011b). Dat geldt zowel voor indicatoren voor procesveiligheid als voor management en organisatorische indicatoren. Dat komt deels omdat de relatie tussen veiligheidsmanagement enerzijds en de veiligheidstoestand van een proces anderzijds niet helder is en deels omdat de relatie met het ongevalsproces is niet altijd duidelijk. Die relatie is ingewikkeld en zal zich moeten vormen nadat bedrijven meer ervaring met veiligheidsindicatoren hebben opgedaan. (Guastello, 1993; Chaplin en Hale, 1998). Voor organisatorische oorzaken van ongevallen geldt een vergelijkbaar argument. In retrospectieve analyses komen deze factoren als latente fouten en oorzaken prominent naar voren, maar voor prospectieve analyses lijkt de relatie met gevaren en risico's nog betrekkelijk vaag (Øien e.a., 2011a). Dit probleem wordt zichtbaar in de lijst van management en organisatorische indicatoren die in de literatuur zijn gevonden. Voor indicatoren die veiligheidsklimaat of -cultuur aangeven, geldt eenzelfde argument (Kongsvik 2010; Bellamy en Sol, 2012).

Om terug te komen op de vraagstelling, indicatoren voor procesveiligheid lijken inzicht te geven in de veiligheid van een proces of bedrijf. Empirisch onderzoek dient dit te bevestigen. Het is echter duidelijk dat de *'silver bullet'* nog niet is gevonden (Webb, 2009). Veiligheidsindicatoren die gekoppeld zijn aan barrières en scenario's en aan de invloed van besluitvorming op procesveiligheid lijken het meest voor de hand te liggen. Dat maakt veiligheidsindicatoren per definitie proces- en bedrijfsspecifiek. De uitdaging is om indicatoren te definiëren die inzicht geven in de kwaliteit van barrières of in het verloop van scenario's. Indicatoren voor arbeidsveiligheid hebben geen eenduidige relatie met de veiligheid van een primair proces. Daarnaast kan worden bedacht dat toezichthouders bij de veiligheidsrapportageplichtige bedrijven het identificeren en implementeren van zowel volgende als leidende indicatoren, op de juiste manier verankerd in een veiligheidsmanagementsysteem, steeds meer zullen waarderen en mogelijk ook evalueren. Ook hierdoor kan het onderwerp "indicatoren" in de belangstelling blijven staan.

Literatuur

- Allford L (2009). Process safety indicators. *Safety Science* 47(4):466
- ANSI/API (2010). Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries. ANSI/API RP 754, first edition
- Baker report (2007). The report the B.P. U.S. refineries independent safety review panel
- Bellamy L (2009). Process safety indicators. *Safety Science* 47(4):472-473
- Bellamy L Sol V (2012). A literature review on safety performance indicators supporting the control of major hazards,. National Institute for Public health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport. RIVM rapport 620089001/2012
- Bellamy L (2015). Exploring the relation between major and minor accidents. *Safety Science* 71:93-103
- Bhandari S Azevedo C (2013). Implementation of process key performance indicators in a large fertilizer complex. Conference paper, 58th AIChE symposium 'Ammonia plant safety and related facilities' 54:269-276, Frankfurt
- CCPS (2010). Guidance for Process Safety Metrics. AIChE, New Jersey
- CCPS (2011). Process Safety Leading and Lagging metrics. You don't improve what you don't measure. AIChE, New York
- CCPS (2014). Risk Bases Process Safety Overview. AIChE, New Jersey
- Cefic (2011). Guidance on Process Safety Performance Indicators. Brussels
- Chaplin R Hale A (1998). An evaluation of the International Safety Rating System (ISRS) as intervention to improve the organisation of safety. In: Hale A Baram M (Eds.), *Safety Management: The Challenge of Change*. Pergamon, London
- COMAH (2012). Process safety performance indicators
- Dryeborg J (2009). The causal relation between lead and lag indicators. *Safety Science* 47(4):474-475
- Duijm N Fievez C Gerbec M Hauptmanns U Konstdinidou M (2008). Management of health, safety and environment in process industry. *Safety Science* 46:908-920

- EPSC European Process Safety Centre (2012). Safety Critical Measures, Report nr. 33, Brussels
- Eriksen S (2009). performance indicators. *Safety Science* 47(4):468
- Fleming M (2001). Safety culture maturity model. The Keil Centre. HSE offshore technology report 2000/049 Her Majesty Stationary Office Norwich
- Grabowski M Ayyalasomayajula P Merrick J Harrald J Roberts K (2007). Leading indicators in virtual organisations. *Safety Science* 45:1013-1043
- Groeneweg J (1992). Controlling the controllable, the management of safety. Proefschrift Rijksuniversiteit Leiden, DWSO Press, Leiden
- Grote G (2009). Response to Andrew Hopkins. *Safety Science* 47(4):478
- Guastello S (1993). Do we really know well our occupational prevention program work? *Safety Science* 16(3-4):445-463
- Guillaume E (2011). Identifying and responding to weak signals to improve learning from experiences in high-risk industry. Proefschrift Technische Universiteit Delft, Boxpress BV, Oirschot
- Guldenmund F Booster P (2005). De effectiviteit van structurele maatregelen op de veiligheid een casusbeschrijving. *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* 18(2):38-44
- Gulijk C van Swuste P Zwaard W (2009). Ontwikkeling van veiligheidskunde in het interbellum en de bijdrage van Heinrich. *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* 22(3):80-95
- Hale A (2009). Why safety indicators? *Safety Science* 47(4):479-480
- Harms-Ringdahl L (2009). Dimensions in safety indicators. *Safety Science* 47(4):481-482
- Hassan J Khan F (2012). Risk based asset integrity indicators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry* 25(3):555-554
- Heinrich H (1941). *Industrial accident prevention* 2nd ed. McGraw-Hill Book Company London & New York
- Hijmans E (1963). *Mens, metaal, machine*. Kluwer, Deventer
- Hollnagel E Woods D Leveson N (2006). *Resilience Engineering, concepts and precepts*. Ashgate, Aldershot
- Hopkins A (2000). Lessons from Longford, the Esso Gas Plant explosion. CCH Australia Ltd, Sidney
- Hopkins A (2007). Thinking about Process safety indicators. Oil and Gas Industry Conference paper 53. Manchester, November
- Hopkins A Hale A (2009). Process safety indicators. Special issue *Safety Science* 47(4): 459-510
- Hopkins A (2009). Thinking about process safety indicator. *Safety Science* 47(4):460-465
- Hudson P (2007). Implementing a safe culture in a major multinational. *Safety Science* 45(6):697-722
- HSE (2006). Process safety indicators, a step-by-step guide for the chemical and major hazards industries, HSG 254. The Office of Public Sector Information, Information Policy Team, Kew, Richmond, Surrey
- Hudson P (2009). Process indicators; managing safety by numbers. *Safety Science* 47(4):483-485
- Johnson W (1973). The Management oversight and risk tree – MORT, including systems developed by the Idaho Operations Office and Aerojet Nuclear Company. US Atomic Energy Commission, Division of Operational Safety – SAN 821-2/UC-41
- Kampen J van Beek D van Groeneweg J (2013). The Value of Safety Indicators. Society of Petroleum Engineers - SPE European HSE Conference and Exhibition 2013: Health, Safety, Environment and Social Responsibility in the Oil and Gas Exploration and Production Industry. pp. 109-121
- Khawaji I (2012). Developing system based leading indicators. Massachusetts Institute of Technology, Boston
- Kidam K Hurme M (2013). Analysis of equipment failure as contributors to chemical process accidents. *Process Safety & Environmental Protection* 91:61-78
- Kjellén U (2009). The safety measurement problem revisited. *Safety Science* 47(4):486-489
- Kletz T (1993). Lessons from disasters, how organisations have no memory and accidents recur. UK: Institution of Chemical Engineers
- Knegtering B Pasman H (2009). Safety of the process industry in the 21st century: a changing need of process safety management for changing industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22:162-168
- Kongsvik T Almklov P Fenstad J (2010). Organisational safety indicators: some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach. *Safety Science* 48:1402-1411
- Korvers P (2004). Accident precursors Pro-active identification of safety risks in the chemical process industry. Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven
- Körvers P Sonnemans P (2008). Accidents: a discrepancy between indicators and facts! *Safety Science* 46:1067-1077
- Le Coze J (2009). A taxonomy issue. *Safety Science* 47(4):490
- Le Coze J (2013). New models for new times. An anti-dualist move. *Safety Science* 59:200-218
- Le Coze J (2014) 1984-2014, 'normal accidents', was Perrow right for the wrong reasons? Presentatie Woerking on Safety Conference (WIOS2014) Westwood, Scotland September 30th.-October 1st
- Leeuwen M van (2006). De veiligheidsbarometer. Verantwoorden van veiligheid in de gasdistributiesector op basis van safety performance indicators. Universiteit Twente, Twente.
- Martorell S Sanchez A Munoz A Pitarch J Serradell V Roldam J (1999). The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on NPP performance and safety. *Reliability Engineering and System Safety* 65:85-94
- Mearns K (2009). From reactive to proactive – can LPI's deliver? *Safety Science* 47(4):491-492
- Nielsen D (1971). The cause/consequence diagram method as a basis for quantitative accident analysis. Danish Atomic Energy Commission, research Establishment Risø. Rapport Risø-M-1374
- OECD (2008a). Guidance on developing safety performance indicators related to chemical accident prevention, preparedness and response. OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Chemical Accidents No. 198 Guidance for industry, Environment Directorate. Paris
- OECD (2008b). Guidance on developing safety performance indicators related to chemical accident prevention, preparedness and response. OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Chemical Accidents No. 18 for Public Authorities and Communities/Public, Environment Directorate. Paris
- OGP (2008). Asset Integrity – The key to managing major incident risks. Report nr 415
- OGP (2011). Process safety, recommended practice on key performance indicators. Report nr 456, November, London
- Olivier P van Hove L (2010). De kracht van indicatoren. Intersentia: Antwerpen
- Parker D Lawrie M Hudson P (2006). A framework for understanding the development of organisational safety culture. *Safety Science* 44 (7):551-562
- Pasman H Rogers W (2014). How can we use the information provided by process safety performance indicators *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 30:197-206
- Perrow C (1984). Normal accidents. living with high-risk technologies. BasicBooks, US

- Pigeon N O'Leary M (2000). Man-made disasters: why technology and organisations (sometimes) fail. *Safety Science* 34:15-30
- Rasmussen (1997). Risk management in a dynamic society. *Safety Science* 27(2-3):183-213
- Reason J (1990a). *Human error*. Cambridge University Press, Cambridge
- Reason J (1990b). The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 327 475-484
- Reason J (1997). *Managing the risk of organisational accidents*. Ashgate, Aldershot Hampshire
- Reiman T Pietikainen E (2012). Leading indicators of system safety. *Safety Science* 50:1993-2000
- Roberts K (1988). Some characteristics of one type of high reliability organization. *Organization Science* 1(2):160-176
- Rochlin G (1986). High reliability organisations and technical change. Some ethical problems and dilemma. *IEEE Technology and Society Magazine*, September;3-9
- Rockwell T (1959). Safety Performance measurement. *Journal of Industrial Engineering* 10(1):12-16
- Rolt L (1955). *Red for Danger: A History of Railway Accidents and Railway Safety*. The Bodley Head, London
- Saqib N Siddiqi M (2008). Aggregation of safety performance indicators to higher-level indicators. *Reliability Engineering and System Safety* 93:307-315
- Sedgwick&Stewart, 2010, Experience with developing process safety KPI's within Scottish Power, <https://www.energyinst.org/filegrab/?ref=653&f=4.Sedgwick&Stewart.pdf>
- Sklet S (2006). Safety barriers, definitions, classifications, and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19:494-506
- Sonnemans P Körvers P (2006). Accidents in the chemical industry: are they foreseeable? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19:1-12
- Sonnemans P Körvers P Pasma H (2010). Accidents in normal operation - Can you see them coming? *Journal of Loss Prevention in the Process Industry* 23:351-366
- Svedung I Rasmussen (2002). Graphic presentation of accident scenarios mapping system structure. *Safety Science* 44(5):397-417
- Swuste P Gulijk C van Zwaard W (2009). Ongevalscausaliteit in de 19e en eerste helft van de 20e eeuw. De opkomst van de brokkenmakers theorie in de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk en Nederland. *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* 22(2):46-63
- Swuste P Gulijk Zwaard Oosterdorp (2011). Veiligheid theorieën modellen metaforen in de drie decennia na de Tweede Wereldoorlog. *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* 24(3):79-91
- Swuste P Gulijk C vanZwaard W Oostendorp Y Lemkowitz S Groeneweg J (2014). Veiligheidsmanagement en -systemen vanaf de 19e eeuw tot heden. Deel 1 tot 1979. *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* 27(3):84-105
- Swuste P Groeneweg J Gulijk C van Zwaard W Lemkowitz S (2015). Veiligheidsmanagement en -systemen van Three Mile Island tot Piper Alpha, een overzicht van Engels- en Nederlandstalige literatuur. Deel 2: 1979-1988 *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* (aangeboden)
- Tarrants W (1963). An evaluation of the critical incident technique as a method for identifying industrial accident causal factors. Doctoral dissertation, New York University, New York
- Tarrants W (1970). A definition of the safety measurement problem. *Journal of Safety Research* 2(3):106-108
- 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
- UK Oil and Gas Industry (2012). *Step Change in safety, leading performance indicators, guidance for effective use*, Aberdeen
- Van Heuverswyn K van Reniers G (2012), *Van safety management naar performant welzijnsmanagement*, No. 4 die Keure - Business & Economics, Brugge
- Veiligheid Voorop, 2011, 10 actiepunten voor veiligheid
- Visser J.P. (1995). *Managing safety in the oil industry. The way ahead*. Proceedings of Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Antwerp, Belgium, June 6-9, 1995.
- Vinnem J (2010). Risk indicators for major hazards on off shore installations. *Safety Science* 48:770-787
- Wagenaar W Groeneweg J Hudson P Reason J (1994). Promoting safety in the oil industry. *Ergonomics* 37(12)1999-2013
- Webb P (2009). Process safety indicators: a contribution to the debate. *Safety Science* 47(4):502-507
- Weick K (1987). Organisational culture as a source of high reliability. *California. Man Review* 29(2):112-127
- Wijk L van (1977). Het ongevalsproces, een systeemmodel. *De Veiligheid* 53(10):433-436
- Wildavsky A (1988). *Searching for Safety*. Transaction Publishers, London
- Winsemius W (1951). *De psychologie van het ongevalsgebeuren. Verhandeling van het Instituut voor Praeventieve Geneeskunde*, Kroese, Leiden
- Wreathall J (2009). Leading? Lagging? Whatever! *Safety Science* 47(4):493-494
- Woods D (2009). Escaping failure of foresight. *Safety Science* 47(4):498-501
- Zemering C Swuste P (2005). De scenario audit *Tijdschrift voor toegepaste Arbe wetenschap* 18(4):79-88
- Zwetsloot G (2009). Prospects and limitations of process safety performance indicators. *Safety Science* 47(4):495-497
- Øien K Utne I Herrera I (2011a). Building safety indicators I theoretical foundations. *Safety Science* 49:148-161
- Øien K Utne I Tinmannsvik R Massaiu S (2011b). Building safety indicators II applications. *Safety Science* 49:162-171