

# Storingsanalyse voor Arbeidshygiënisten?

Paul Swuste<sup>1</sup>, Erik Wiersma<sup>1</sup>, Adri Frijters<sup>2</sup>

## Samenvatting

Blootstelling is een complex fenomeen. Het voorspellen van blootstelling op grond van ontwerptekeningen is nog nauwelijks ontwikkeld. Het vakgebied van de veiligheidskunde kent storingsanalysetechnieken om gevaren in een vroegtijdig stadium van het ontwerp te achterhalen en te beoordelen. Met voorbeelden uit de staalindustrie en de wegenbouw wordt de techniek toegelicht. Het gepresenteerde onderzoek bespreekt de voorspellende kracht van de techniek en sluit af met een discussie over de toepassingsmogelijkheden van de techniek voor arbeidshygiënische vraagstellingen. De resultaten zijn hoopvol en geven aanwijzingen voor een nadere ontwikkeling van de techniek.

Het artikel is een bewerking van de presentatie gehouden op 30 maart 2000 op het 9e symposium van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne 'Arbeidshygiëne, wetenschap en praktijk'.

## Summary

Exposure is a complex issue. When starting from design drawings of installations and processes the prediction of exposure is an area of research which is hardly developed. Within the field of safety science hazard evaluation techniques exist to predict hazards during the early stages of the design process. In two research projects experience has been gathered with the technique in the steel industry and the building industry, applying the technique on methods of work, on installations, and technologies. Evaluation studies were performed to test the robustness of the technique. Attention was given to the applicability of the technique to occupational hygiene problems. The results are encouraging and produced enough clues for further development of the technique.

The article is based upon a presentation on the 30th March 2000 at the 9th annual conference of the Dutch Occupational Hygiene Society 'Occupational Hygiene, science and practice'.

## Inleiding

Iedereen, die beschikt over resultaten van omvangrijke meetseries van één of meerdere bedrijfstakken weet dat niveaus van blootstelling tot op zekere hoogte voorspelbaar zijn. Met deze meetgegevens zijn statistische modellen op te stellen waarmee de gemeten variatie kan worden verklaard en de blootstelling in niet-bemeten situaties kan worden voorspeld. Tijdens een groot onderzoek in de Nederlandse rubberverwerkende industrie kon bijna 30 procent van de stofblootstelling in een model worden gevangen, met taakinhoud en gerichte ventilatie als verklarende variabelen (Kromhout e.a., 1990; Swuste e.a., 1990; Vermeulen e.a., 2000). Dit percentage lijkt gering. Het geeft aan hoe complex het fenomeen blootstelling is.

Niet iedere arbeidshygiënist kan zich grote meetspanningen veroorloven, maar de laatste jaren is een aantal technieken ontwikkeld om schattingen van niveaus van blootstelling te kunnen maken. Het Britse programma Estimation and Assessment of Substance Exposure (EASE), ontwikkeld door de Health and Safety Executive (HSE), is hier een voorbeeld van. Recent is het programma in Nederland getoetst (Rooij e.a., 1999).

Een ander voorbeeld is de zogenaamde 'risk-banding' benadering, die eveneens door de HSE ontwikkeld is en tijdens het 8e NVvA symposium is gepresenteerd (Russel e.a., 1998; Russel, 1999; Topping, 1999). Het schatten van de blootstelling is in deze benadering een onderdeel van een transparant programma om het

midden- en kleinbedrijf te assisteren bij de keuze van maatregelen om de blootstelling te beperken. Zowel bij het EASE programma als bij de 'risk-banding' wordt uitgegaan van bestaande werkplekken of productielijnen. Echter, het voorspellen van blootstelling aan de hand van bijvoorbeeld ontwerptekeningen krijgt binnen de arbeidshygiëne nauwelijks enige aandacht.

De relatie tussen ontwerp, storingen en afwijkingen van ontwerp en gezondheidseffecten, of meer in het algemeen 'schade', wordt binnen de ergonomie en de veiligheidskunde makkelijk gelegd, omdat de oorzaak-gevolg ketens minder ingewikkeld lijken te zijn. Een goed voorbeeld uit de ergonomie is een artikel uit 1970, afkomstig van de medische dienst van Philips. Met de heldere titel 'Design and disease' werd een kwalitatieve relatie gelegd tussen de fysieke belasting en het ontwerp van werkplekken (Wely, 1970). Binnen de veiligheidskunde zijn storingsanalysetechnieken ontwikkeld, die specifiek ingaan op mogelijke afwijkingen van een ontwerp (Arbeidsinspectie, 1982; CCPS, 1992; Suokas e.a., 1993). In dit vakgebied wordt niet de term 'blootstelling' gebruikt, maar 'scenario'. Een scenario is één van de essentiële determinanten van risico (Kaplan e.a., 1981), naast de kans van optreden en de gevolgen. Het succes van de storingsanalysetechniek is gebaseerd op het stimuleren van de creativiteit om afwijkingen van een ontwerp te bedenken en te beoordelen of om condities te voorspellen waarbij een ontwerp buiten de ontwerp-envelop gebruikt kan worden. Deze technieken zijn binnen de procesindustrie ontwikkeld en worden daar standaard gebruikt. Op het 7e NVvA symposium is dit onderwerp aan de orde gekomen (Hale e.a., 1999a).

1. Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft, Kanaalweg 2-B, 2628 EB Delft  
2. Stichting Arbeuw, Amsterdam

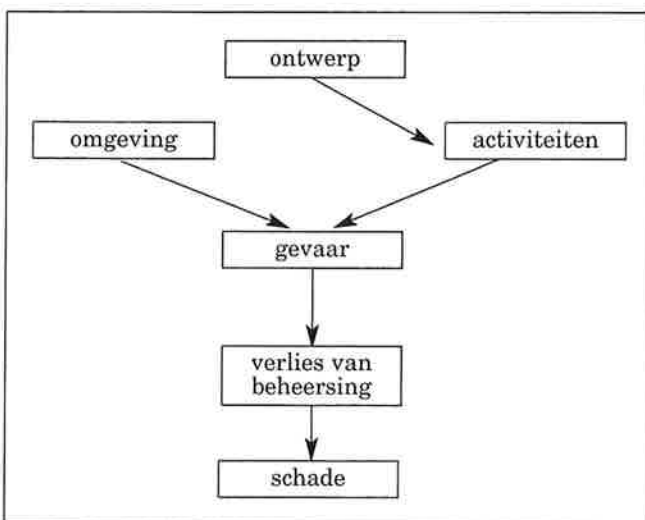
Aan de hand van twee voorbeelden uit de staalindustrie en de bouw wordt in dit artikel een storingsanalyse-techniek gepresenteerd. De mogelijkheden van de toepassing van de techniek buiten de procesindustrie worden aangegeven, evenals de bruikbaarheid van de techniek voor de arbeidshygiëne.

### Methoden en technieken

De storingsanalysetechniek is afgeleid van de HAZard and OPerability study (HAZOP), ontwikkeld door ICI (Swann e.a., 1995) en heeft tot doel om alle voorzienbare ongewenste gebeurtenissen of afwijkingen van een toekomstig proces op te sporen. De techniek is gebaseerd op het principe, dat experts met verschillende achtergronden tijdens gezamenlijke sessies tot een beter resultaat komen dan experts die de techniek afzonderlijk toepassen en naderhand de resultaten combineren.

In een ideaal uitgevoerd ontwerp zijn alle gevaren beheerst en zorgt de gestoorde procesgang voor afwijkingen, die schade kunnen veroorzaken. Onder de gestoorde procesgang worden alle condities verstaan, die een gereduceerde of een afwezige materiaalstroom opleveren. Onderhoud is volgens deze omschrijving eveneens op te vatten als een gestoorde procesgang. De analyse wordt uitgevoerd aan de hand van proces-tekeningen, de zogenaamde proces- en instrumentatieschema's. Deze presentatie van een proces is in essentie een 'materiaalstroom' benadering. Het multidisciplinaire team doorloopt systematisch de presentatie aan de hand van een aantal gidswoorden en procesparameters. Druk, temperatuur en materiaal zijn voorbeelden van procesparameters. De gidswoorden geven de mogelijke afwijking weer, bijvoorbeeld via de termen 'geen', 'meer' of 'minder'. Deze procesparameters en de gidswoorden worden in een matrix gecombineerd (tabel 1).

Per procesparameter worden de relevante combinaties met gidswoorden gezocht. Zo betekent de combinatie van het gidswoord 'minder' met de procesparameter 'druk' een drukverlaging of een onderdruk in een procesonderdeel. De combinatie van gidswoord en procesparameter wordt relevant geacht als het een afwijking betreft die volgens de aanwezigen voor kan komen, of volgens een incidentregistratie reëel is en als de gevolgen van de afwijking ernstig genoeg zijn om serieus genomen te worden. Vervolgens worden procesaanpassingen en maatregelen ontwikkeld om de afwijking te voorkomen of de consequenties te beperken.



Figuur 1. Het basismodel schadeproces

PROCES PARAMETERS	Toepasbare gidswoorden					
	Geen	Meer	Minder	Richting	Tegengesteld	Anders
Druk						
Ruimte						
Beweging						
Tijd						
Snelheid						
Energie						
Materiaal						

Tabel 1. Voorbeeld van een storingsanalysematrix

De HAZOP-techniek is ontwikkeld om afwijkingen op te sporen, die leiden tot 'loss of containment'. In het gepresenteerde onderzoek heeft 'loss of containment' een beperkte rol gespeeld en zijn werkzaamheden en activiteiten onderwerp van onderzoek geweest. De afwijkingen die via de matrix zijn opgespoord, zijn daarom omgevormd tot ongeval- of blootstellingsscenario's. Deze scenario's geven aan hoe schade kan ontstaan uitgaande van een gevaar dat voortkomt uit een ontwerp en zich via activiteiten of werkzaamheden of uit de omgeving openbaart (figuur 1).

Een scenario ontstaat pas als er sprake is van een verlies van beheersing, waardoor een gevaar een risico wordt (Hale e.a., 1995). Een scenario is te omschrijven als een te onderscheiden set factoren en omstandigheden die samen voldoende zijn om de beheersing van het gevaar te verliezen en schade te laten optreden. Scenario's treden op als er afwijkingen zijn van ontworpen veilige situaties, doordat maatregelen falen, ervan wordt afgeweken, of door onverwachte omstandigheden waarvoor geen beheersmaatregelen ontworpen zijn. De gedetailleerde oorzaak-gevolg keten wordt daarna buiten beschouwing gelaten en de focus is middels een scenariodefinitie gericht op het gevaar en het verlies van beheersing van het gevaar. De omschrijving van scenario's geeft aan dat het voorspellen van afwijkingen cruciaal is.

De gepresenteerde storingsanalysetechniek is op eenzelfde wijze uitgevoerd als de HAZOP-techniek. Om via de matrix tot een omschrijving van afwijkingen en vervolgens scenario's te komen, is een adequate presentatie van de activiteiten en werkzaamheden noodzakelijk. De stroom-benadering is gehandhaafd en voor de omschrijving van de activiteiten en werkzaamheden is een indeling in productiefuncties gebruikt, in combinatie met een functionele taakanalyse. De term productiefunctie is afkomstig uit de ontwerptechnische analyse, waarmee een gegeven proces wordt ingedeeld in een aantal logische stappen op basis van de materiaalstroom (Swuste, 1996). Deze (technische) beschrijving kan worden aangevuld met foto's of schetsen van de situatie, of werkbeschrijvingen. De presentaties van activiteiten en werkzaamheden impliceren logischerwijs een aanpassing van de matrix van figuur 1.

De onderzoeksvraag naar de toepassingsmogelijkheden van de storingsanalysetechniek buiten de procesindustrie heeft geleid tot een belangrijke restrictie. Hoewel de techniek ontwikkeld is voor onderbouwde aanpassingen van en interventies in een ontwerp, is er gekozen voor projecten in de staalindustrie en de bouw die de ontwerpfase reeds gepasseerd zijn. Dit heeft de onderzoeksgroep de mogelijkheid gegeven om via veldwerk de feitelijk opgetreden scenario's te scoren en de frequentie van voorkomen te vergelijken met de voor-

Transport van en naar de panoven		
Voorspelde scenario's (team)		Waargenomen scenario's (veldwerk)
hoge frequentie	aantal afwijkingen	
1	geen dwarstransport	2
2	lekkende pan	8
lage frequentie		
3	vocht in de pan	-
Processtappen bij de panoven		
hoge frequentie		
4	storing in de toevoer van toeslagstoffen	103
5	storing in de spoelinstallatie	31
6	storing in de afzuiging	75
lage frequentie		
7	vastplakkende deksel aan pan	-
8	vallende voorwerpen op deksel	4
9	storing in het koelsysteem van de deksel	21
10	storing in de monstername apparatuur	6
11	storing in de energietoevoer van de elektrodes	1
12	storing in de gastoevoer	1
13	inspectieraam sluit niet	8
Onderhoud en reparatie		
	Verwijderen van slakken van de deksel en rails dwarstransport	103
	Vervanging van de elektrodes	7
	Onderhoud aan schroeftransport of ventilatiesysteem	16

Tabel 2 Resultaten storingsanalyse panoven

spelde frequentie van de scenario's van het storingsanalyseteam. Uit deze vergelijking is de voorspellende waarde van de techniek afgeleid.

## Resultaten

### Staalindustrie

De storingsanalyse is toegepast in de staalindustrie en vormde onderdeel van een omvangrijk onderzoek naar de kwaliteit van het veiligheids- en gezondheidsmanagement van de onderneming (Swuste e.a., 1993). In één onderdeel van het staalbedrijf, de oxystaalafabriek, werd een zogenaamde panoven geïnstalleerd. Deze panoven is een complexe installatie en het management van de oxystaalafabriek wenste een gefundeerd inzicht te krijgen op de mogelijke ongevallen die tijdens de gestoorde procesgang konden optreden. De specifieke aandacht voor de gestoorde procesgang was gerechtvaardigd vanuit de ervaring met andere complexe installaties van de fabriek, waar een initiële hoge ongevalfrequentie toegeschreven kon worden aan processtoringen. Noch binnen de oxystaalafabriek zelf, noch binnen het staalbedrijf was ervaring aanwezig met een installatie als de panoven.

Als presentatie van de panoven zijn eenvoudige constructietekeningen gebruikt, aangevuld met de resultaten van een ontwerptechnische analyse. De panoven is feitelijk een groot deksel met drie elektrodes. Deze elektrodes houden het vloeibare staal, de lading van een staalpan, op temperatuur. Na de panoven wordt de

lading via een continu gietmachine in een eindproduct omgevormd. De deksel is uitgerust met een koelsysteem en een gerichte afzuiging. In de deksel zitten openingen om grond- en toeslagstoffen aan de lading toe te voegen en voor monstername en visuele controle. De grond- en toeslagstoffen moeten gemengd worden met de lading. Dit gebeurt via een zogenaamde gasborrelinstallatie aan de onderkant van de pan en een gasspoelinstallatie, die van bovenaf in de lading wordt gestoken. De onderstaande processtappen zijn onderdeel geweest van de storingsanalyse sessies:

- Transport van en naar de panoven: kraan- en dwarstransport;
- Processtappen: verhitten en de lading, vermenging van lading met grond- en toeslagstoffen, temperatuur en monstername.

Tijdens de storingsanalyse sessies zijn de combinaties van gidswoorden en procesparameters gebruikt, die gebruikelijk zijn binnen de chemische industrie. Hieruit zijn 13 scenario's vastgesteld, die het storingsanalyse team heeft voorspeld. Deze scenario's staan vermeld in tabel 2 en zijn met een enkel steekwoord omschreven.

Scenario 1 uit de tabel 'geen dwarstransport' betreft alle mogelijke storingen, die leiden tot een blokkade van het dwarstransport van de pan naar de panoven. De storingen kunnen verschillende oorzaken hebben, zoals een technische storing in de

energievoorziening van het dwarstransport, of grote slakken op het spoor van het dwarstransport die een doorgang belemmeren. Het is niet noodzakelijk om in detail de oorzaken te benoemen als de potentiële consequenties voor werknemers niet verschillen. Als het dwarstransport geblokkeerd is, zal een groep werknemers ter plaatse de storing proberen te verhelpen en zwaar materieel de dwarstransporttunnel insturen om de lading zoveel mogelijk te redden. Scenario 1 heeft daarmee de volgende omschrijving:

*'Gevaren voor werknemers ontstaan door een blokkade van het dwarstransport of als gevolg van een panbreuk tijdens het dwarstransport. Werknemers, in combinatie met zwaar materieel verhelpen de storing ter plekke. Gevaren zijn het gevolg van de aanwezigheid van werknemers in de nabijheid van zwaar materieel in een beperkte ruimte en van een spatende lading'.*

Op een zelfde wijze zal de omschrijving van scenario 6 luiden:

*'Gevaren voor werknemers, in de vorm van een hoge stofconcentratie, ontstaan als gevolg van een storing in de gerichte afzuiging, veroorzaakt door verstoppingen in de afvoerkanalen van de ventilatie of door storingen in de motor van de afzuiging'.*

Scenario 3 'vocht in de pan' vormt een probleem, daar de gemiddelde temperatuur van de lading boven de dissociatietemperatuur van water ligt. Ingesloten vocht veroorzaakt knalgasvorming.

Het storingsanalyseteam heeft de voorspelde scenario's gerangschikt naar frequentie van voorkomen. Daarbij is

een arbitraire grens gehanteerd van twee weken. De scenario's, die naar de mening van het team met een frequentie van eens per twee weken of frequenter optreden, zijn in de categorie 'hoge frequentie' geplaatst. De andere scenario's zijn in de categorie 'lage frequentie' genoteerd. Ten tijde van de storingsanalyse sessies was de panoven in aanbouw. Nadat deze gereed was, is voor een periode van twee jaar door werknemers een dagboek bijgehouden van de feitelijk voorgekomen storingen en scenario's. De resultaten staan in de rechterkolom van tabel 2. Tijdens de veldwerkperiode zijn in totaal 450 scenario's genoteerd. 260 (58%) van deze scenario's zijn voorspeld tijdens de sessies. Tweederde van de resterende scenario's zijn opgetreden tijdens onderhoudswerkzaamheden, een processtap die niet expliciet is opgenomen tijdens de storingsanalyse sessie (Swuste e.a., 1997).

### Wegenbouw

In de bouw is het onderzoek uitgevoerd in de wegenbouw, onder wegwerkers. Dit onderzoek had tot doel om alle mogelijke ongevalsscenario's voor deze groep werkers te genereren en te ranken voor zover deze scenario's een relatie hadden met het doorgaand wegverkeer. Vreemd genoeg was in de (inter)nationale literatuur nauwelijks iets te vinden over ongevallen bij wegwerkers in relatie tot het verkeer. Dit staat in schril contrast tot de omvangrijke literatuur over veiligheid ten tijde van wegwerkzaamheden voor verkeersdeelnemers (Swuste e.a., 1999).

Tijdens het onderzoek is het verkeer opgevat als een materiaalstroom. Vervolgens is de gestoorde procesgang gedefinieerd als: 'wegwerker komt in conflict met verkeer', ervan uitgaande dat de weg bestaat uit een verkeersvak en een werkvak. Logischerwijs laat deze gestoorde procesgang zich opsplitsen in twee onderdelen:

1. Wegwerker komt in conflict met verkeer doordat het verkeer binnen het werkvak komt.
2. Wegwerker komt in conflict met verkeer, doordat de wegwerker zich binnen het verkeersvak begeeft.

Het onderzoek is uitgevoerd bij drie wegtypen: de autosnelweg, de provinciale weg, en de weg binnen de bebouwde kom. Bij deze wegtypen zijn ook condities onderzocht, waarbij een adequate afscherming van weg- en werkvak ontbreekt. Deze condities gelden bijvoorbeeld tijdens de opbouw- en afbouw fase van het werkvak of tijdens kortdurende wegwerkzaamheden.

Voor het onderzoek is de matrix aangepast door aparte procesparameters te ontwikkelen voor het verkeersgedrag en wegkenmerken. Speciale condities, zoals slecht weer, dag en nacht zijn niet als aparte gidswoorden aangegeven. Indien deze condities relevant waren zijn ze bij betreffende combinaties van gidswoorden en procesparameters aan de orde gesteld. Tabel 3 geeft de aangepaste matrix weer, waarbij de kruizen in de tabel de niet-relevante combinaties van procesparameter en gidswoord voorstellen.

In twee sessies met wegwerkers, wegbeheerders en ontwerpers van wegen zijn de scenario's opgesteld aan de hand van

	Frequentie	Rangorde veldwerk	Rangorde team
Afwijkend gedrag verkeer	253	3	4
Conflicten met bebakening	282	2	1
Werk in het werkvak	141	4	5
Kwaliteit voorinformatie	14	5	2
Wegwerker in verkeer	332	1	3

Tabel 4 Ranking van scenario's voor snelwegen van veldwerk- en teamgegevens

schematische afbeeldingen van wegsituaties waarin het werkvak met bebakening is aangegeven. Onder de scenario's is een aantal oorzaken samengevat. Zo bestrijkt het eerste scenario de opzettelijke afwijkingen van de voorgeschreven route door verkeersdeelnemers en de niet-opzettelijke afwijkingen als spoorvorming, voertuig-mankementen, rukwinden etc. Het derde scenario omvat bijvoorbeeld machines en installaties die tijdens werkzaamheden deels boven het verkeersvak kunnen komen, of vrachtwagens die in het werkvak tegen de verkeersrichting inrijden. De gestoorde procesgang heeft een aantal scenario's opgeleverd, die hieronder in samengestelde vorm zijn gepresenteerd:

### Verkeer komt in werkvak

- door afwijkend gedrag van verkeersdeelnemers.
- door conflicten met bebakening.
- door werkzaamheden in het werkvak.
- door de kwaliteit van de voorinformatie over werkzaamheden.

### Wegwerker komt in verkeersvak

- door plaatsen en weghalen bebakening.
- doordat wegwerker de weg oversteekt.
- als gevolg van werkzaamheden met installaties.
- door directe bedreiging door verkeersdeelnemers.
- als gevolg van gebrekkige werkvoorbereiding.

De snelweg is als voorbeeld genomen voor de resultaten van het onderzoek (zie tabel 4). In deze tabel zijn eveneens de samengestelde scenario's vermeld. De rangorde, die tijdens de sessie door het team is vastgesteld, staat onder de betreffende kolom. Gedurende de veldwerkperiode van twee maanden zijn tellijsten met scenario's door wegwerkers ingevuld. Op de tellijsten zijn de feitelijk voorgekomen scenario's genoteerd.

	V langs route	Richting	Conflicten	Routeverandering	Manoeuv. ruimte	Route geleiding	Gedrag voorschriften
geen/niet	b.v. stilstaan op route		geen probleem	geen probleem	geen verkeer mogelijk	b.v. kortdurend werk (maaien)	
meer	b.v. te hard rijden op route		b.v. domino-effect	b.v. mogelijke manoeuvreer fouten	b.v. probleem met inhaalpogingen		
minder	b.v. irritant langzaam rijden		geen probleem	geen probleem	b.v. door grote machine ruimte bebakening		
beter				geen probleem		geen probleem	geen probleem
slechter		b.v. te veel afwijken van route		b.v. omvaaien of aanrijden bakens		b.v. vervuiling of slechte uitvoering	b.v. onvolledige aanwijzingen
tegelijk			b.v. conflicten op elke rijstrook	b.v. routeverandering + versmalling			b.v. tegenstrijdige instructies
deels		b.v. uit bocht vliegen			b.v. door verschuiven bakens	b.v. maar langs een deel van de route	
tegengesteld	b.v. achteruit rijden	b.v. tegenligger op route		vooral tijdens opbouw of sbraak werkvak		b.v. verkeerde borden/bakens	
anders dan	anders dan voorgeschreven	opzettelijk van route afwijken				b.v. anders dan in richtlijnen is aangegeven	
	Kenmerken van verkeersgedrag t.o.v. de aangegeven route / voorschriften			Kenmerken van de route langs het werkvak: afmetingen rijbaan, vorm en verkeersinstructies (via borden, bakens, verkeerslichten etc.)			

Tabel 3 Aangepaste storingsanalysematrix voor wegwerkers

Hierbij zijn drie categorieën van frequenties gehanteerd: dagelijks, wekelijks en maandelijks. Deze gegevens zijn voor de verschillende wegwerken gesommeerd en genormeerd naar een maandfrequentie.

Zoals tabel 4 laat zien is de overeenkomst tussen het voorspelde voorkomen van scenario's tijdens de sessies en het genoteerde aantal scenario's in de veldwerkperiode zeer slecht. Voor de autosnelwegen is de Spearman's rank correlatie 0,04. Voor de provinciale weg (0,03) en de bebouwde kom (-0,09) was de correlatie van dezelfde orde of slechter (Swuste e.a., 1999).

#### Discussie

Bij de toegepaste storingsanalysetechniek zijn de essentiële kenmerken van de HAZOP-techniek behouden: de multidisciplinaire teams, het gebruik van een matrix van gidswoorden en procesparameters en de stroombenadering als weergave van de werkzaamheden en activiteiten. Er is een aantal elementen aan toegevoegd. Allereerst maken arbodeskundigen deel uit van de multidisciplinaire teams. Een tweede uitbreiding is de omvorming van afwijkingen, de gestoorde procesgang, naar ongeval- en blootstellingsscenario's. Als derde element is de presentatie van het onderzochte proces gewijzigd. Geen proces- en instrumentatieschema's, maar eenvoudige ontwerptekeningen of situatieschetsen, aangevuld met functionele beschrijvingen van taken en resultaten van de ontwerptechnische analyse. Het laatste element is een semi-kwantitatieve ordening van de scenario's.

De resultaten van de combinatie van de storingsanalyse en de ontwerptechnische analyse zijn bij het onderzoek in de oxystaalfabriek zeer bemoedigend gebleken. Per productiefunctie komt de schatting van de frequentie overeen met de waargenomen scenario's. De techniek is eenvoudig en kan na een korte scholing door de deelnemers zelf worden uitgevoerd. De techniek is effectief gebleken voor gevaarsherkenning, evaluatie en risicobeoordeling van een complexe installatie als de panoven.

De resultaten van het onderzoek onder wegwerkers zijn minder succesvol geweest. De korte veldwerkperiode heeft daar mogelijk een rol gespeeld, evenals de grote variatie aan werkzaamheden en de dislocatie van de wegwerkzaamheden tijdens het veldwerk. Tijdens het onderzoek is zowel bij eenvoudige werkzaamheden onderzoek verricht, zoals het maaien van bermbeplanting en het plaatsen van verkeersborden, als de meer complexere werkzaamheden, zoals wegrenovaties, wegherstelwerkzaamheden en de constructie van nieuwe op- en afritten. Er is sprake van een aantal verschillende productiefuncties, die niet afzonderlijk geanalyseerd zijn. Deze combinatie van productiefuncties is te complex gebleken. Bij een dergelijk gevarieerd onderzoek moet niet alleen het wegtype, maar ook de combinatie van wegtype en productiefunctie het selectie criterium zijn.

De noodzaak van duidelijk omschreven productiefuncties blijkt uit het onderzoek bij de oxystaalfabriek. Dit verklaart voor een deel het succes van het onderzoek. Een duidelijke omschrijving van productiefuncties heeft bij het onderzoek naar de wegwerkers ontbroken en wordt als mede-oorzaak gezien van de slechtere resultaten van deze studie. Een tweede reden voor het resultaat bij het onderzoek onder wegwerkers is gelegen in de kwaliteit van de presentatie. De presentatie heeft een sturend effect op de resultaten van de analyse. Binnen de chemische industrie worden de proces- en instrumen-

tatieschema's gebruikt, waardoor nauwkeurig de locatie en de condities van de afwijking kan worden vastgesteld. Bij toepassingen buiten de procesindustrie is een vergelijkbare nauwkeurigheid gewenst. Dit heeft ontbroken bij het onderzoek onder wegwerkers, waar alleen situatieschetsen zijn gebruikt.

Het grote voordeel van de gepresenteerde storingsanalysetechniek zijn de multidisciplinaire sessies. De discussie tussen de verschillende experts is essentieel voor de formulering van mogelijke afwijkingen en scenario's. De sessies hebben ook als voordeel, dat onder de deelnemers commitment en betrokkenheid ontstaan voor de analyse en de mogelijke ontwerp oplossingen.

De storingsanalysetechniek is toepasbaar als het te onderzoeken ontwerp volgens een stroom-benadering kan worden beschreven. Een materiaalstroom van een installatie of machine laat zich eenvoudig beschrijven met de ontwerptechnische analyse, een functionele beschrijving van een proces. Maar ook activiteiten en werkzaamheden van een werkplek zijn met een stroombenadering vast te leggen, via een functionele taakanalyse in combinatie met de ontwerptechnische analyse. In andere gebieden zijn eveneens resultaten geboekt met een aangepaste versie van een storingsanalysetechniek, waarbij de informatievoorziening in een bedrijf, de planning en acties en de feedback volgens een stroombenadering zijn gemodelleerd en toegepast op de doorlichting van veiligheidsmanagementsystemen (Kennedy, 1997).

Bronnen van blootstelling worden in de arbeidshygiëne beschreven met het zogenaamde multiple-source concept. Zowel het agens, als het proces, de werkomgeving en de werkmethode kunnen bijdragen tot een hoge blootstelling. De storingsanalyse en de veiligheidskunde hebben een andere benadering. Zowel het agens als het proces en de werkmethode worden bepaald door het ontwerp. Ontwerp moet in deze context ruimer gezien worden dan alleen het ontwerp van de machine of installatie en omvat eveneens het ontwerp van de werkplek. Een (ideaal) proces is ontworpen om gevaar en dus ook blootstelling te beheersen. Blootstelling is daarmee een afwijking van een procesontwerp. Deze afwijkingen, processtorings, zijn met storingsanalysetechnieken te achterhalen en te transformeren naar blootstellingsscenario's. Videoregistraties van werkplekken, gekoppeld aan continue stofmetingen, laten zien dat bronafstand en luchtstromingen ten opzichte van blootgestelden belangrijke parameters zijn (Gressel e.a., 1992; Rosen, 1993; WHO, 1999). Deze parameters zijn in een storingsanalysematrix op te nemen.

Naast de traditionele veiligheidskundige matrix is de techniek uit te breiden met een matrix die zich op arbeidshygiënische en ergonomische gevaren richt. Door de aard van de gidswoorden worden alleen de afwijkingen, de gevaren of de ongeval- en blootstellings-scenario's tijdens de gestoorde procesgang geadresseerd. Voor arbeidshygiënische en ergonomische gevaren is niet alleen de gestoorde, maar ook de ongestoorde procesgang relevant. Het betreft hier de gevaren die procesinherend zijn. Daartoe is een matrix uit te breiden met een kolom voor de ongestoorde procesgang en een gevaarclassificatie die ook in een risico-inventarisatie en -evaluatie (RIE) gebruikt wordt.

De storingsanalyse geeft een kwalitatieve beschrijving van mogelijke gevaren middels de scenario's en een semi-kwantitatieve ordening van de frequentie van

voorkomen van de scenario's. Voor aanpassingen in de ontwerpfasen lijkt deze informatie adequaat. Voor kwantitatieve informatie in de vorm van berekende kansen op bijvoorbeeld blootstelling, zijn andere methoden beschikbaar die naast de storingsanalyse kunnen worden gebruikt. Gebeurtenissenbomen en systematische expertmetingen zijn hier voorbeelden van (Hale e.a., 1999b).

Momenteel is nog geen antwoord te geven op de vraag naar de bruikbaarheid van de techniek voor arbeidshygiënische en ergonomische gevaren. Naar de mening van de auteurs is de voorgestelde uitbreiding in potentie waardevol en biedt de mogelijkheid om naast veiligheidskundige kennis ook kennis van andere arbobdisciplines in het ontwerpproces te incorporeren.

#### Literatuur

- Arbeidsinspectie, 1982. Storingsanalyse, waarom?, wanneer?, hoe? Voorlichtingsblad nr 2. Directoraat Generaal van de Arbeid, Voorburg.
- Centre for Chemical Process Safety (CCPS), 1992. Guidelines for hazard evaluation procedures. American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Gressel, M. and Heitbrink, W., 1992. Analyzing workplace exposures using direct reading instruments and video exposure monitoring techniques. DHHS-NIOSH publication 92-104.
- Hale, A., Swuste, P., Wiersma, E., Guldenmund, F., 1995. Gevarenclassificatie voor veiligheid in de bouw. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Stichting Arbouw. Vakgroep Veiligheidskunde, TUDelft.
- Hale, A., Swuste, P., 1999a. Ondersteuning van ontwerpen: is er een veiligheidskundig standpunt? Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 12 nr 1, p 2-6. Zie ook: Arbeidshygiëne in ontwerp, beheersmaatregelen in de ontwerpfasen. Symposiumverslag van het 7e symposium van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, 1998, p. 7-18.
- Hale, A., Costa, M., Goossens, L., 1999b. Relative importance of maintenance management influences on equipment failure and availability in relation to major hazards. In: safety and reliability. Schuëller, G., Kafka, P. (eds) p. 1327-1332. Proceedings of Esrel 1999, the tenth European conference on safety and reliability. Balkema, Rotterdam.
- Kaplan, S. and J. Garrick. 1981. On the quantitative definition of risks, Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, p. 11-27.
- Kennedy, R., 1997. The development of a HAZOP-based methodology to identify safety management vulnerabilities and their associated safety culture factors. Doctoral thesis, University of Birmingham.
- Kromhout, H., Swuste, P., 1990. Arbeidsomstandigheden in de rubberverwerkende industrie. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 3 nr 2, p 16-22.
- Rooij, J. van, Jongeneelen, F., 1999. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 12 nr 3, p 26-29.
- Rosen, G., 1993. Pimex, combined use of air sampling and video filming: experience and results during six years of use. Applied Occupational and Environmental Hygiene 8, p. 344-347.
- Russel, R., Maidment, S., Brooke, I., Topping, M., 1998. An introduction to a UK scheme to help small firms control health risks from chemicals. Annals of Occupational Hygiene, 42, p. 367-376.
- Russel, R., 1999. Een nieuwe benadering in het Verenigd Koninkrijk om blootstelling aan chemische stoffen in MKB-bedrijven te helpen beheersen. In: Arbeidshygiëne en arbozorg in het midden- en kleinbedrijf. Symposiumverslag van het 8e symposium van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, p. 11-12. Zie eveneens; Russel, R., 1999. A new approach to chemical control for small firms - COSHH essentials. In: Arbeidshygiëne en arbozorg in het midden- en kleinbedrijf. Symposiumverslag van het 8e symposium van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, p. 37.
- Suokas, J. and Rouhiainen, V. (eds), 1993. Quality management of safety and risk Analysis. Elsevier, Amsterdam.
- Swann, C., Preston, M., 1995. Twenty-five years of HAZOPs. Journal of Loss Prevention, Process Ind., 8 nr 6, p. 349-353
- Swuste, P., Kromhout, H., 1990. Beheersmaatregelen in de rubberverwerkende industrie. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 3 nr 2, p 23-28.
- Swuste, P., Guldenmund, F., Hale, A., Heimplaetzer, P., Heming, B., Oortman Gerlings, P., 1993. Evaluatie van een gedecentraliseerd veiligheidsmanagementsysteem in een geïntegreerd staalbedrijf. Vakgroep veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft.
- Swuste, P., 1996. Occupational hazards, risks and solutions. Proefschrift, Delftse Universitaire Pers.
- Swuste, P., Goossens, L., Bakker, F., Schrover, J., 1997. Evaluation of accident scenarios in a Dutch steel works using a hazard and operability study. Safety Science 26 no. 12, p. 63-74.
- Swuste, P., Heijer, T., 1999. (On)veiligheid van wegwerkers. Onderzoek in opdracht van de Stichting Arbouw, Amsterdam. Vakgroep Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft.
- Topping, M., 1999. Controlling chemicals. In: Arbeidshygiëne en arbozorg in het midden- en kleinbedrijf. Symposiumverslag van het 8e symposium van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, p. 38-50.
- Vermeulen, R., J. de Hartog, P. Swuste, H. Kromhout, 2000. Inhalable dust and fumes exposure in rubber manufacturing industry; A comparison between the 1988 and 1997 Dutch exposure survey. Annals of Occupational Hygiene (in press).
- Wely, P. van, 1970. Design and disease. Applied Ergonomics 1.5 p 262-269.
- World Health Organisation (WHO), 1999. Hazard prevention and control in the work environment. Prevention and control exchange (PACE). Rapport: WHO/SDE/OEH/99.14. Occupational and environmental health. Department of protection of the human environment. World Health Organisation, Geneva.