

# Ondersteuning van Ontwerpen: Is er een veiligheidskundig standpunt?

Andrew Hale en Paul Swuste\*

## Samenvatting

Er bestaat een gespannen verhouding tussen ontwerpdisciplines en arbedisciplines. Dit vindt zijn oorzaak in de traditionele indeling in type gevaren, kenmerkend voor de arbedisciplines. Dit artikel beschrijft het proces van ontwerpen en de mogelijkheden van beïnvloeding en ondersteuning door de verschillende arbedisciplines, inclusief de methoden en technieken die daarbij een rol spelen. Het artikel is een bewerking van de presentatie gehouden op 26 maart 1998 op het symposium 'Arbeidshygiëne in ontwerp, beheersmaatregelen in de ontwerpfase' van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne

## Stelling

Veel van de problemen en conflicten op het gebied van arbeidsomstandigheden zijn terug te voeren op het ontwerp van technologie, van processen, van werkplekken en van organisaties die deze gebruiken. Als uitgangspunt wordt de stelling geponeerd, dat alle arbedisciplines streven naar een optimalisatie van het ontwerp, zodat criteria voor optimale arbeidsomstandigheden in het ontwerp zijn geborgd.

Met deze stelling krijgt het ontwerpproces een centrale plaats in de arbedisciplines. De analyse is daarmee ondergeschikt gemaakt aan het ontwerp. Vanuit de veiligheidskunde gezien is deze stelling niet revolutionair. De geschiedenis van de discipline illustreert deze stelling. In het begin van deze eeuw, was de veiligheidskunde het geweten van de 'politieaan', die regels controleerde over afscherming van draaiende machineonderdelen en andere beschermingsmiddelen. Nu is de veiligheidskunde gericht op complexe technologie en beheerst verschillende methoden en technieken, zoals de risicoanalyse, de ontwerpbeoordeling, de safety cases en de opzet van lerende organisaties om gevaren en risico's van techniek blijvend te beheersen. Er blijven veiligheidskundigen bestaan die betrekkelijk weinig invloed op het ontwerpproces hebben. Echter, de noodzaak van deze verschuiving is internationaal erkend (Hale en Kroes, 1997). Binnen de ergonomie is een vergelijkbare ontwikkeling te bespeuren. Nu lijkt de arbeidshygiëne dezelfde weg op te gaan, maar met zichtbaar meer aarzelingen. De arbeidshygiëne heeft mogelijk een grotere angst om haar wetenschappelijke wortels te verlaten.

## Ontwerpen

De essentie van het ontwerpen is dat iets gerealiseerd wordt en dat een functie vervuld kan worden. De functie is gedefinieerd door de criteria die in een programma van eisen worden vertaald. De taak van de ontwerper is een weg te vinden naar de eisen, gebruik makend van beschikbare kennis en creativiteit (figuur 1). Deze aan-

## Summary

The traditional division in types of hazards creates a tension between technical design disciplines and occupational safety and health disciplines. This paper describes the design process and possible influences by occupational safety and health disciplines. Relevant methods are included.

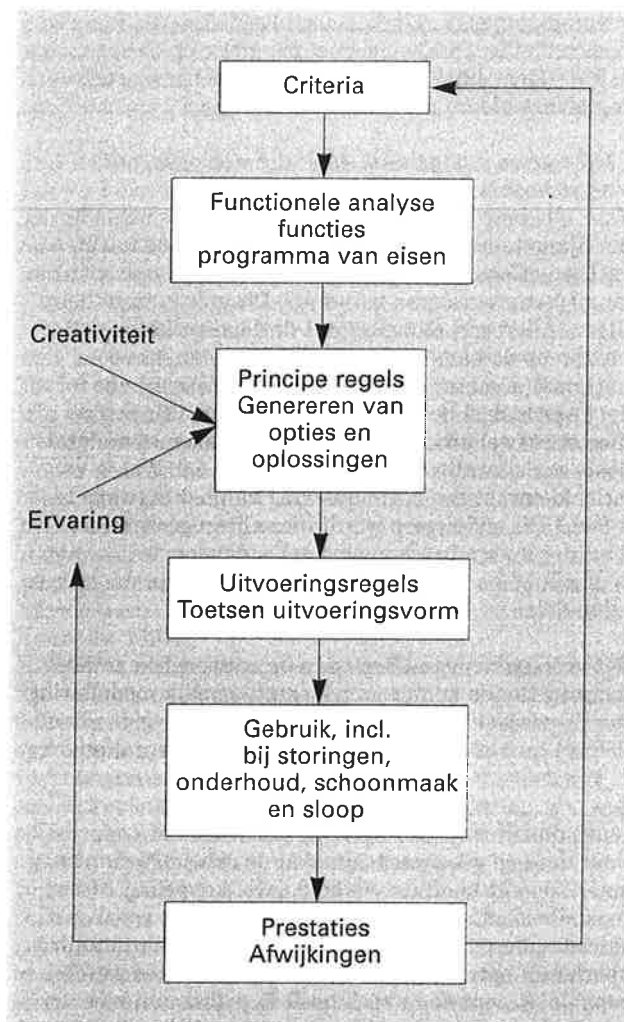
The paper is based upon a presentation at the 1998 annual conference of the Dutch Occupational Hygiene Society 'Occupational hygiene during design, control measures at the design stage'.

pak verschilt van een onderzoeker in zijn 'richting van redenering'. De ontwerper denkt probleemgestuurd en oplossingsgericht. De onderzoeker daarentegen is meer gericht op oorzaken.

Figuur 1 geeft het ontwerpproces in een aantal stappen weer. Zij lijken op de stappen van een probleemoplossende cyclus, waarin analyse en creativiteit elkaar afwisselen. Er is altijd een spanningsveld in de ontwerpreeks geweest tussen analyse en creativiteit. Een architect zoals Le Corbusier heeft veel weerstand opgeroepen door zijn stelling dat een huis primair 'une machine à vivre' is. Het ontwerpen van een huis zou dan logischerwijs gebaseerd moeten zijn op een gedetailleerde analyse van het proces van leven en huishouden. Zijn tegenstanders vonden dat door deze benadering de creativiteit van de architect ondergewaardeerd werd. Om analyse en creativiteit met elkaar te verenigen is het ontwerpproces vaak als iteratief proces beschreven. Niet alleen moeten analyse en creativiteit zich afwisselen, ook de focus van de analyse en toetsing moet zich voortdurend verplaatsen.

De ontwerper moet van een algemene verzameling van functie-eisen, via beslissingen over principes om deze uit te voeren, tot een gedetailleerde vorm komen (zie Swuste, 1996 voor een beschrijving hiervan toegepast op arbeidsomstandigheden). De eisen kunnen betrekking hebben op een aantal verschillende gebieden, zoals levensduur en onderhoud, kwaliteit, productie en prestatie, kosten, veiligheid en gezondheid, milieu en duurzaamheid, gebruiksgemak, ethiek en esthetiek. Niet alleen kan het aantal eisen en criteria omvangrijk zijn, ze kunnen ook tegenstrijdig zijn. Een ontwerper kan nooit in één keer aan alle eisen voldoen. Daarom loopt de ontwerper de eisen meermaals na om te toetsen of oplossingen voor de ene eis niet leiden tot problemen elders. Bij elke stap wordt, op basis van analyse, een kader gegeven voor het gebruik van een combinatie van creativiteit en ervaring om dicht bij het doel te komen. Het voorgaande geeft een beschrijving van het ontwerpproces. Of het zo werkt wordt soms betwijfeld. Dit model lijkt wellicht te rationeel als beschrijving en gaat aan vele sprongen en short-cuts voorbij. Het levert echter een

\*Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft, Kanaalweg 2<sup>B</sup>, 2628 EB Delft



**Figuur 1**

overzichtelijke basis voor sturing en beïnvloeding door arbobdisciplines.

Vooraf is het belangrijk vast te stellen dat tot nu toe nog niet is bepaald wie de ontwerper is. Het kan iemand zijn met een formele titel van 'ontwerper', maar het kan ook zijn dat een technische dienst, een supervisor of een klusjesman het ontwerp maakt en uitvoert, zonder zich expliciet te realiseren dat het om ontwerpen gaat.

#### Sturing van het ontwerpproces

Er wordt voortdurend ontworpen en herontworpen.

Sturing van het proces is een constante bezigheid, waar direct betrokkenen, zoals werknemers, een actieve rol in horen te spelen. Arbobdisciplines kunnen het ontwerp op vier verschillende niveaus beïnvloeden:

1. Het leveren van criteria voor het programma van eisen.
2. Het leveren van regels.
3. Het leveren van opties en ervaringen.
4. Het toetsen van gebruik, inclusief storingen, onderhoud, schoonmaak en sloop.

#### 1. Het leveren van criteria voor het programma van eisen

Een arbodeskundige zal de normen en standaarden van zijn vakgebied specificeren in ontwerpcriteria. MAC-waarden en antropometrische normen voor veiligheidsafstand in termen van bereik zijn hiervan voorbeelden. De veiligheidskunde heeft van oudsher veel minder moeite gehad met het definiëren van deze criteria. Dit in tegenstelling tot arbobdisciplines die gezondheidseffecten beschouwen. Voor gezondheidseffecten zijn de oorzaak-gevolg ketens meestal ingewikkeld. De scherpte van snij-

vlakken, de kracht van botsingen, de penetratie van de huid, of de kracht waartegen een lichaam bestand is, is relatief eenvoudig met een test vast te stellen. De arbeidshygiëne en de epidemiologie hebben doorgaans uitgebreid onderzoek nodig om tot criteria te komen voor bijvoorbeeld blootstelling aan chemicaliën, geluid of tillen. Wellicht is dit de reden waarom de veiligheidskunde veel eerder naar een ondersteuning van het ontwerp-proces is overgestapt.

Binnen de rol als leverancier van criteria bestaat behoefte aan samenwerking tussen arbodeskundigen, omdat de criteria die zij afzonderlijk aanleveren een interactief effect kunnen hebben. Mogelijke interacties kunnen plaatsvinden tussen chemicaliën onderling, tussen chemicaliën en werkomgeving (bijv. warmte), en tussen vermoeidheid of stress en ongevallen. Deze zijn bekend, maar lang niet alle interacties zijn voldoende onderzocht om nauwkeurige criteria aan de ontwerper te kunnen geven.

Het laatste voorbeeld van interactie, tussen vermoeidheid en ongevallen, geeft ook het probleem aan van de termen waarin criteria gesteld worden. Vermoeidheid leidt zowel rechtstreeks als indirect tot nadelige gevolgen. De indirecte weg loopt via een grotere kans op de fouten en misstappen waardoor mensen rechtstreeks in contact komen met gevaren; bijvoorbeeld door beschermende barrières te verwijderen. Met andere woorden: de kans op blootstelling aan welk gevaar dan ook wordt groter.

Tot nu toe is alleen gesproken in termen van criteria voor schade mits blootstelling optreedt. De veiligheidskunde levert criteria voor het ontwerp-proces in de vorm van scenario's, omdat blootstelling aan veiligheidsgevaren bijna altijd stochastisch optreedt. Mechanisering, automatisering of afstandsbenadering van processen zal de kans op chronische blootstelling aan gezondheidsrisico's en gevaren geleidelijk beperken. De blootstelling zal dan alleen onder bepaalde omstandigheden optreden, bijvoorbeeld tijdens onderhoud, schoonmaak of tijdens een productiestoring. De aandacht zal zich dan moeten verplaatsen naar de ondersteuning van ontwerpers in het voorspellen van deze scenario's en het tegengaan van de gevaren die aan deze activiteiten verbonden zijn. Dit onderzoek komt onder punt 4 aan de orde.

#### 2. Het leveren van regels

De criteria die onder punt 1 zijn beschreven, zijn feitelijk doel-criteria. Zij laten de ontwerper vrij om te beslissen hoe eraan voldaan wordt. Als de ontwerper bekwaam is, geeft dit veel flexibiliteit en vrijheid zonder risico, maar het legt een grote nadruk op de toetsing van mogelijke oplossingen (zie punt 4). Waar men de ontwerper niet kan of wil vertrouwen, of waar oplossingen zo gestandaardiseerd zijn dat niemand daarvan af wil wijken, is de stap naar vastgelegde (deel)oplossingen te nemen. De ondersteuning kan dan in de vorm van een regel geleverd worden, zoals een normblad, waarin staat dat een drukvat zoveel millimeter dik moet zijn om een druk van 10 bar te weerstaan, of dat een afzuigkap zoveel zuigkracht moet leveren, of dat een steiger een leuning op een bepaalde hoogte moet hebben. De nadruk is de laatste jaren gelegd op zelfregulering, waardoor men de beslissing over deze uitwerkingen op een laag (bedrijfs) niveau heeft willen leggen en niet bij de overheid. Echter, de invoering van doelstellende beleidsregels in plaats van P-bladen heeft tot veel protest geleid van het midden- en kleinbedrijf, omdat men onzekerheid over de wettigheid van eventueel gemaakte keuzen vreest en opziet tegen de tijdsinvestering om de vertaalslag te maken.

Het informatiegat dat nu ontstaan is, creëert een kans voor arbodeskundigen om met eigen vertalingen, per proces, activiteit of werkplek, van geschikte (minimumregels) te komen (Hale et al., 1997). De indicatie dat de regels proces- of functiegericht en niet gevaarsgericht zijn, geeft aan dat deze normstellende activiteit een samenwerkingsverband tussen de verschillende deskundigen vereist.

### 3. Het leveren van opties en ervaringen

Uit interviews met professionele ontwerpers (Swuste en Hale, 1992) is gebleken dat zij niet staan te springen om door arbodeskundigen ondersteund te worden bij het bedenken van oplossingen voor ontwerpisen. De ondersteuning wordt overbodig gevonden. Hun opleiding heeft ze methoden aangereikt om via analyse van functie, principe en vorm tot een scala aan mogelijke opties voor een ontwerp te komen (Kroonenberg en Swiers, 1983; Eekels, 1987). Deze professionals zien de rol van de arbodeskundigen beperkt tot het toetsen van hun oplossingen (zie onder 4).

Er is reden genoeg om te twijfelen of het ontwerpproces uitgevoerd door professionele ontwerpers wel zo ideaal loopt. Een studie van de ontwerppraktijk van olieplatforms in de Noordzee (Wulff, 1997) laat zien dat het ontwerpproces door een ingehuurd bureau gedaan wordt. Deze ontwerpers worden bijna nooit in staat gesteld praktijkervaring op te doen en de condities te zien waaronder hun ontwerp zal moeten functioneren. Hierdoor is er weinig of geen mogelijkheid voor het leren van ervaring. Bovendien wordt het te ontwerpen object meestal in onderdelen opgesplitst en door afzonderlijke deskundigen ontworpen. Hierdoor is het niet mogelijk om creatieve oplossingen buiten de streng gedefinieerde grenzen van dat onderdeel te verzinnen. Deze Tayloriaanse opsplitsing van het ontwerpproces zorgt ervoor dat ervaring met oplossingen, die invloed op meerdere onderdelen hebben, niet makkelijk wordt verzameld.

Voor de niet-professionele 'ontwerper', die in het begin van het artikel is genoemd, ligt het in ieder geval anders. De interviews lieten zien dat zij, bij het zoeken naar oplossingen, vaak gevangen bleven in hun eigen ervaring uit hun bedrijfstak. Hiervoor is, in opdracht van de EG, software ontwikkeld om de denkwijze van de professionele ontwerper in een vraag-en-antwoordspel te vangen. De creativiteit wordt gestimuleerd door andere mogelijke oplossingen voor gespecificeerde productiefuncties uit andere bedrijfstakken te presenteren (Swuste ea, 1993; Swuste en Hale, 1994).

Zelfs als de professionele ontwerper geen behoefte heeft aan kant en klare oplossingen, wil hij het effect kennen van een bepaalde oplossing op de criteria die in het programma van eisen zijn gesteld. Informatie over de veiligheids- en gezondheidseffecten van de oplossingen kunnen zeer nuttig zijn, als deze in een oplossingenbestand beschikbaar gemaakt worden.

Dit soort informatie is door arbodeskundigen en consultants verzameld, maar vindt zijn weg zeer moeizaam en langzaam naar de openbare literatuur. Ervaring met het opsporen van oplossingen voor genoemd EG-project heeft dit bewezen. Het ontbreekt veiligheidskundigen en arbeidshygiënisten aan tijd of aan motivatie om oplossingen vast te leggen. En soms wordt een oplossing als bedrijfsgeheim, concurrentievoordeel of intellectueel eigendom (voor verkoop door de consultant) gezien en derhalve door de deskundige of bedrijf niet openbaar gemaakt. Om dergelijke problemen te doorbreken is een initiatief van de beroepsvereniging(en) nodig. Het vullen van een oplossingenbestand zou als primaire taak van

de verenigingen (het liefst samen) gedefinieerd kunnen worden; het leveren van één of meerdere oplossingen zou als eis tijdens initiële opleiding en/of voor hercertificering geformuleerd kunnen worden.

### 4. Het toetsen van gebruik, inclusief storings-, onderhoud-, schoonmaak en sloop

Waar alle betrokkenen in het ontwerpproces behoefte aan lijken te hebben, is een uitspraak over de te verwachten effecten van een bepaald ontwerp op de criteria vanuit het programma van eisen. Dit valt in twee delen uiteen. Allereerst de vraag wat de daadwerkelijke effecten zijn op de kans op schade of letsel (aan persoon, materiaal of materieel) en hoe ernstig deze schade is? Het tweede deel bestaat uit de afwegingen tussen de effecten; zowel arbo-effecten onderling als met andere eisen, zoals kwaliteit, prestatie, kosten, e.d. Wat is veroorloofd om tot een optimalisering van het ontwerp te komen? Dit ontwerp wordt hier alleen gesignaleerd en is verder buiten beschouwing gehouden, omdat het een te moeilijke en omvangrijke discussie oproept om hier te behandelen.

Het voorspellen van effecten in de ontwerpfasen vereist een uitgebreide kennis en wetenschappelijk modelleren van de oorzaak-gevolg relaties. De arbeidshygiëne heeft zich tot nu toe voornamelijk beperkt tot uitspraken over de gezondheidseffecten van gemeten blootstellingen.

Deze zijn af te leiden uit de criteria die onder punt 1 genoemd zijn en zijn zo goed of slecht als het onderzoek waar deze op gebaseerd zijn. Wat de arbeidshygiëne nog maar beperkt heeft ontwikkeld, is de koppeling tussen gezondheidseffect en ontwerp. In dat traject speelt een aantal andere factoren mee, die bepalen of blootstelling überhaupt optreedt en hoe de immissie-routes worden bepaald. Recent onderzoek heeft deze factoren meer in acht genomen. Studies (bijv. Swuste ea, 1993; Swuste en Kromhout, 1996; Ulenbelt, 1991; Lumens, 1997) hebben de consequenties op gezondheidseffecten gemeten van gedrag, zoals eten of roken op de werkplek, de contaminatie van kleding of persoonlijke beschermingsmiddelen door oplosmiddelen, snuiten of nagels bijten, e.d. In vele gevallen zijn deze invloeden significant. Deze factoren zijn voorbeelden van een generieke categorie van factoren die definiëren wanneer en hoe scenario's van blootstelling zullen optreden.

Het begrip 'scenario' is één van de essentiële determinanten van risico (Kaplan and Garrick, 1981), naast de kans van optreden en de gevolgen. Een scenario is een te onderscheiden set factoren en omstandigheden die samen voldoende zijn om schade te laten optreden. Een activiteit kan meerdere scenario's voor dezelfde of verschillende soort schade in zich hebben. Scenario's treden op als er afwijkingen zijn van ontworpen veilige situaties, doordat maatregelen falen (mensen volgen regels niet, gesloten processen worden geopend, instrumenten falen, enz.), of door onverwachte omstandigheden waar geen beheersmaatregelen voor ontworpen zijn.

De omschrijving van scenario's geeft aan dat het voorspellen van afwijkingen cruciaal is. Succes is afhankelijk van het gebruik van technieken die de creativiteit stimuleren in het bedenken en beoordelen van faalkansen van een ontwerp of van condities waaronder een ontwerp buiten de ontwerp-envelop gebruikt kan worden. Ontwerpers zelf zijn psychologisch niet geporteerd voor dit soort creativiteit. Hun aandacht is op het normatief gebruik van hun hardware gericht; zij ontwerpen installaties, machines of productielijnen nu eenmaal om deze volgens hun instructies te gebruiken en denken niet graag na over misbruik ervan. De eis in de Europese

norm EN 292 voor Machineveiligheid (CEN, 1992) om ontwerpers het 'voorspelbaar misbruik' expliciet in hun ontwerp mee te laten nemen heeft derhalve voor veel opschudding gezorgd.

Een succesvolle voorspelling vereist dat het ontwerp in een veel breder kader wordt gezien: Hoe wordt het ontwerp daadwerkelijk gebruikt? Hoe zou het kunnen falen? Hoe kunnen de omstandigheden veranderen, zodat de aannames van de ontwerper niet meer gelden? Hierin kunnen arbobdisciplines het ontwerpproces steunen. De ervaring met de veiligheidskundige technieken voor ontwerpanalyse kunnen nuttig zijn.

Tot nu toe zijn deze technieken vooral in de procesindustrie ontwikkeld en gebruikt, daar deze industrieën te weinig en te rampzalige ongevallen hebben gekend om steeds door schade en schande wijs te worden. Een voorbeeld van een techniek voor storingsanalyse is de HAZOP-techniek (Hazard and Operability Analysis). Het is mogelijk deze techniek aan te passen voor toepassingen in andere bedrijfstakken en andere niveaus van het zorgsysteem (zie bijv. Swuste ea, 1997; Heijer ea, 1997; Kennedy, 1997).

HAZOP is een gestructureerde manier om vragen te stellen aan een conceptontwerp en mogelijke type storingen de revue te laten passeren. De techniek wordt uitgevoerd op basis van een beschrijving van het ontwerp, die de vorm kan hebben van een procesdiagram, een stroomschema voor een product, een tabulaire taakomschrijving of een organisatorisch beslisschema. De kritische parameters van het proces zijn gedefinieerd, die binnen bepaalde grenzen moeten blijven zodat het proces veilig verloopt. Per parameter worden geschikte 'gidswoorden' gebruikt om mogelijke afwijkingen buiten deze grenzen te definiëren (zoals te veel/te weinig/verkeerd - druk, temperatuur, product, grondstof, enz.). Een groep van deskundigen, inclusief uitvoerenden, beoordeelt of de voorgestelde afwijking kan optreden, gegeven de ontworpen beheersmaatregelen. En zo ja, of dit significante consequenties kan hebben. Als dit het geval is, worden suggesties voor verbetering gedaan. De deskundigheid van de groep omvat de ontwerper, een operator, een supervisor en een vertegenwoordiger van de onderhoudsdienst, soms met een human factors-deskundige. In de chemische industrie is de veiligheidskundige doorgaans de voorzitter en animeert de groep door te zorgen dat de discussie breed en multidisciplinair genoeg blijft. De parallel met participatieve ergonomie zal duidelijk zijn.

De HAZOP-techniek heeft nog ontwikkeling en beproeving nodig voordat het efficiënt en effectief bruikbaar is voor de voorspelling van risico's in industrietakken buiten de procesindustrie. Als zodanig biedt het een nuttige aanvulling op de meer statische checklists van de RI&E, die meestal beperkt blijven tot het noemen van gevarentypen en/of lange checklists van relevante maatregelen. Het ontwikkelingswerk moet zich met name concentreren op de vraag welke presentatie van een activiteit, proces of werplek de beste basis geeft voor een HAZOP-groep om afwijkingen en ongewenste gedragingen (van mens, software of hardware) te kunnen voorspellen. Wellicht is behalve een schema van het werk zelf, een schema van mogelijke immissie-routes, en een beschrijving van andere activiteiten die deze geplande activiteit kunnen doorkruisen of storen voldoende (Faverge, 1970). Bijvoorbeeld onderhoud, transportroutes, schoonmaak. Als de mogelijke afwijkingen in de primaire processen in kaart gebracht zijn, blijven de mogelijke faalkansen van preventieve maatregelen over. Die kunnen ook opgespoord worden. Audit-technieken zijn hiervoor ontwikkeld (zie bijv. Oortman Gerlings, 1990 voor een review).

Veel van deze technieken geven geen of onvoldoende aansluiting met de RI&E (Hale ea, 1997). Weer is methode-ontwikkeling nodig. Als de levering van de essentiële middelen en controles voor de beheersmaatregelen (bijv. hardware, competentie, beschikbare mensen, procedures, motivatie, enz.) wederom als processen gezien worden, kunnen dezelfde HAZOP-achtige technieken wellicht helpen in het voorspellen van tekortkomingen en afwijkingen van een zorgsysteem in een gegeven organisatie (Hale ea, op. cit.).

Een risico-inventarisatie en -evaluatie is een activiteit 'par excellence' voor samenwerking tussen de verschillende arbobdisciplines. Gezamenlijke ontwikkeling van betere methoden lijkt hiervoor dan ook geschikt.

### Conclusie

Verschillende rollen voor arbobdisciplines en -deskundigen zijn geschetst voor de ondersteuning van het ontwerpproces en de ontwerper. Alleen de eerste rol als leverancier voor criteria voor het programma van eisen kan door afzonderlijke experts uitgevoerd worden, en zelfs daar heeft samenwerking zin. Het nadeel van de beperkte rol is dat de ontwerper nog steeds betaalt en de toon mag aangeven. Het is de ontwerper die dan alle criteria moet samenvoegen en afwegen. Onderzoek en ervaring geven aan dat dat vaak niet tot bevredigende resultaten leidt. Maar, als de arbodeskundige meer invloed wil uitoefenen moet hij en zijn discipline meer aanbieden. De rol van het toetsen van de uitwerkingen en van het beoordelen en terugkoppelen van ervaring met maatregelen in een vorm die ontsluitbaar is voor de ontwerper, vergen een bredere deskundigheid, die functiegericht is en niet beperkt blijft tot de wetenschappelijke analyse van gevaren. Vanuit de veiligheidskunde zijn er methoden hiervoor beschikbaar die hun sporen hebben verdiend; maar een breder toepassing vereist aanpassing en de samenwerking van meerdere deskundigen, met name de veiligheidskundige, de arbeidshygiënist en de ergonoom. De HAZOP-techniek en het oplossingenbestand zijn hier als voorbeelden voorgesteld.

### Referenties

- CEN. 1992. Safety of Machinery: Basic concepts, general principles for design. Part 1: basic terminology, methodology. Part 2: technical principles and specifications. EN292-1 and EN292-2. Brussels. CEN.
- Eekels J. 1987. Ontwerpmethodologie: mogelijkheden en grenzen. (Design methods: possibilities and limits). Delft University of Technology.
- Faverge J.M. 1970. L'homme agent d'infirmité et de fiabilité du processus industriel. Ergonomics 13(3) 301-328.
- Hale, A.R., B. Heming, Y. Musson, B. vd. Broek. 1997. De Veiligheidskundige Professie: Kansen en Bedreigingen, Jubileumonderzoek NvVK 1947-1997.
- Hale A.R., B. Kirwan, and F. Guldenmund. (1996). Capturing the river: multi-level modelling of safety management. 2nd International Workshop of International Power Operators (INPO). Technical University of Berlin, Germany.
- Hale A.R. en J. de Kroes, 1997. System in safety: 10 years of the chair in safety science at the Delft University of Technology. Safety Science 26, p. 3-9.
- Hale A.R., P. Swuste, B. Tymensen and S. Pantry. 1994. Collection and dissemination of information on solutions for improving working conditions at the workplace. Report to EC. DG V. Safety Science Group. Delft University of Technology.
- Heijer, T. and P. Swuste en E. Wiersma. 1997. Onderzoek (on)veiligheid wegwerkers. Vakgroep Veiligheidskunde, TU Delft.
- 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 theses, Univeristy of Birmingham.
- Kroonenberg H.H. van den and F. Swiers. 1983. Design

methods. Postgraduate course book. Design and Construction group, Twente University. Enschede.

- Lumens M. 1997. Aspects of control measures in occupational hygiene. Proefschrift Landbouw Universiteit Wageningen.
- Oortmans Gerlings, P.D. 1990. Safety audits: een verkenning. In: *Maandblad voor Arbeidsomstandigheden* (66), No. 4, p. 219-227.
- Oortmans Gerlings, P.D. 1990. Safety audits (2): het gebruik van doorlichten en inspecties. In: *Maandblad voor Arbeidsomstandigheden* (66), No. 5, p. 301-317.
- Swuste, P., and A.R. Hale. 1992. Databases on measures to prevent Occupational exposure, Dutch Ministry of Social Affairs and Employment. Pub. S-151. Labour Inspectorate, The Hague, The Netherlands.
- Swuste, P., A.R. Hale and G. Zimmerman. 1993. Databases on measures to prevent occupational exposure: a proposal for a data bank structure. Ministry of Social Affairs & Employment. The Hague. Publication S-151.1.
- Swuste, P., H. Kromhout and D. Drown. 1993, Prevention in the rubber manufacturing industry in the Netherlands, *Annuals of Occupational Hygiene*, 37, p. 117-134.

- Swuste P. and A.R. Hale. 1994. Databases on measures to prevent occupational exposure to toxic substances. *Applied Occupational & Environmental Hygiene*, 9, pp 57-61.
- Swuste P. 1996. Occupational hazards, risks and solutions. Doctoral thesis. Delft University of Technology.
- Swuste, P. and H. Kromhout. 1996. Improving working condition in the rubber manufacturing industry in the Netherlands, *Occupational Hygiene*, 3, p. 341-349.
- Swuste, P., L. Goossens, F. Bakker, J. Schrover. 1997. Evaluation of accident scenario's in a Dutch steel works using a Hazard and operability study. *Safety Science*, 26, No. 12, p. 63-74.
- Ulenbelt, P. 1991. Omgaan met blootstelling aan chemische stoffen. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.
- Wulff I.A. 1997. Implementing ergonomics in large-scale engineering design: communicating and negotiating requirements in an organisational context. Doktor ingeniöravhandling. Institutt for Industriell økonomi og Teknologiledelse. NTNU Trondheim.