

# Robotveiligheid : praktische richtlijnen en wettelijke bepalingen

***Citation for published version (APA):***

Klop, G. J. B. (1992). *Robotveiligheid : praktische richtlijnen en wettelijke bepalingen*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1284). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1992

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

BB 462824

**Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit der Werktuigbouwkunde  
Vakgroep Productietechnologie en Automatisering (WPA)**

## **ROBOTVEILIGHEID**

Praktische richtlijnen en wettelijke bepalingen

Door : G.J.B. Klop

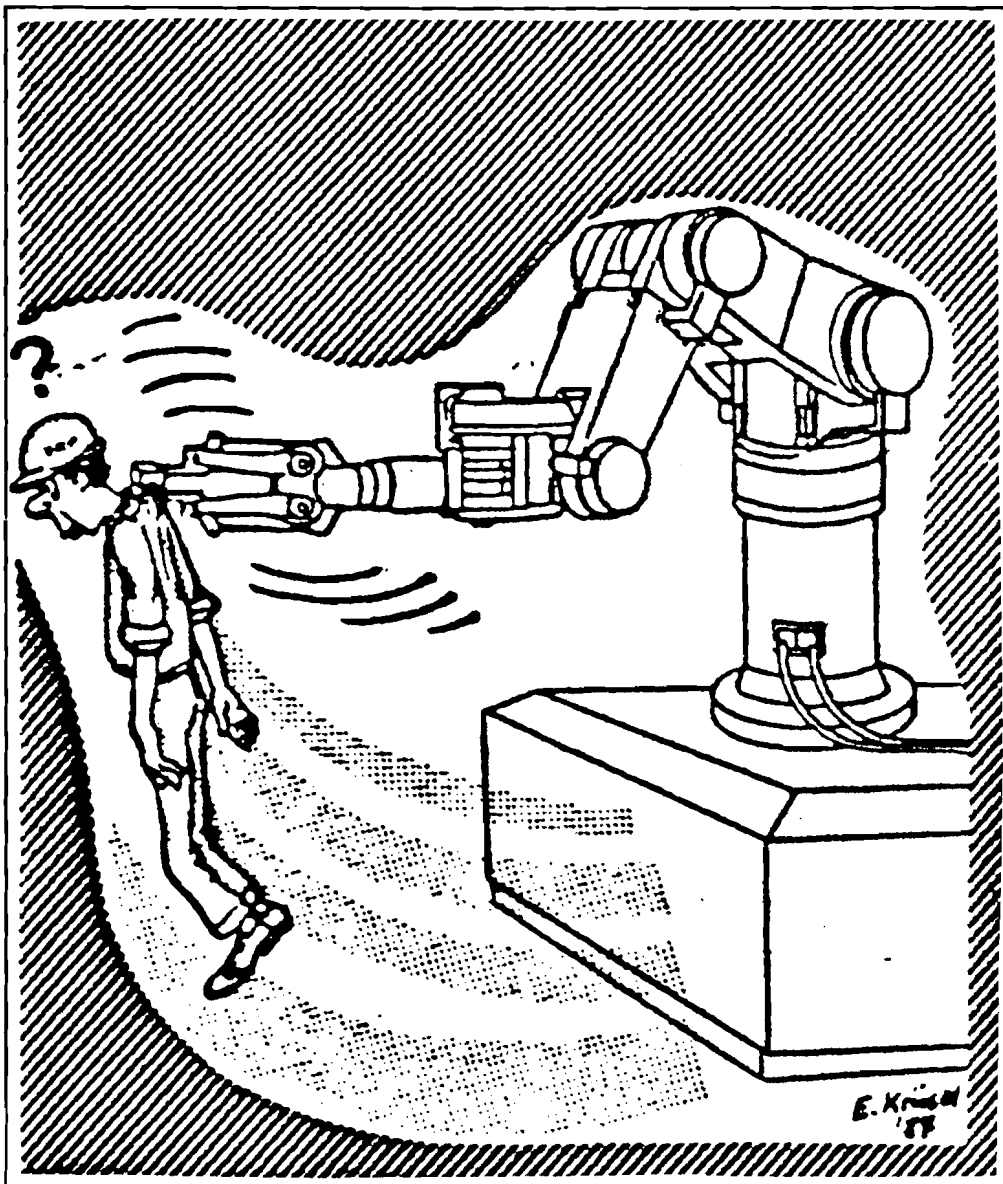
Rapportnummer : WPA-1284

Verslag : Literatuuronderzoek  
Afstudeerhoogleraar : Prof. Ir. J.M. van Bragt  
Mentor : Ir. A.T.J.M. Smals

Eindhoven, Maart 1992

# ROBOTVEILIGHEID

PRAKTISCHE RICHTLIJNEN EN WETTELIJKE BEPALINGEN



## **SAMENVATTING**

Industriële robots vinden steeds meer toepassing in het bedrijfsleven. Door de betrekkelijk nieuwe technologie en het onvoorspelbare karakter van de robot in vergelijking tot conventionele machines, zorgen ervoor dat de robot specifieke gevaren met zich meebrengt.

Dit rapport beoogt een overzicht te geven van de gevaren die robots met zich meebrengen, om vervolgens in te gaan op de maatregelen die getroffen kunnen worden om de veiligheid te verhogen.

Er wordt een overzicht gegeven van maatregelen die gebaseerd zijn op richtlijnen uit het bedrijfsleven en maatregelen die op grond van de wetgeving getroffen dienen worden. Deze beide vertonen onderling veel overeenstemming.

Het blijkt dat meeste maatregelen tot doel hebben om de mens van de robot te isoleren zodat de gevaren, die meestal mechanisch zijn van aard, niet op kunnen treden.

In de toekomst zal steeds meer gebruik gemaakt worden van detectie-systemen die kunnen signaleren of er een gevaarlijke situatie tussen mens en robot optreedt. Een dergelijk systeem gekoppeld aan een intelligente besturing kan ervoor zorgen dat op zo'n moment tijdig wordt ingegrepen.

# **INHOUDSOPGAVE**

<b>SAMENVATTING</b>	<b>2</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1 Robots in Nederland	5
<b>2. DEFINITIE VAN BEGRIPPEN</b>	<b>7</b>
<b>3. DE GEVAREN BIJ ROBOTGEBRUIK</b>	<b>10</b>
3.1 Wat zijn de gevaren	10
3.2 De oorzaken voor het optreden van de gevaren	11
3.3 Enkele gegevens over robotongevallen	12
<b>4. PRAKTISCHE RICHTLIJNEN</b>	<b>14</b>
4.1 Algemeen	14
4.2 Risicovolle situaties	15
4.3 Maatregelen uit de praktijk	16
4.4 Enkele opmerkingen	22
<b>5. WETTELIJKE BEPALINGEN</b>	<b>25</b>
5.1 De structuur van de veiligheidswetgeving	25
5.2 Wettelijke maatregelen	28
5.3 Verantwoordelijkheden	34
<b>6. CONCLUSIES</b>	<b>36</b>
<b>7. BRONVERMELDING</b>	<b>38</b>
<b>LITERATUURLIJST</b>	<b>39</b>

## BIJLAGEN

1. Artikel uit Japan	43
2. Reikwijdte operator bij verschillende hoogte van hekwerk	44
3. The three-position control device	45
4. De stopafstand van een robot	46
5. Controlelijst Veiligheid, Milieu en Ergonomie t.a.v. robots	48

## **1. INLEIDING**

De invoering van robots in het produktieproces heeft tal van gevolgen voor zowel de produktie als voor de mensen die in de produktie werkzaam zijn. Steeds vaker worden robots toegepast waarbij gevaarlijk, ongezond en zwaar werk van de mensen wordt overgenomen. Robots kunnen daardoor een gunstige invloed hebben op de arbeidsomstandigheden.

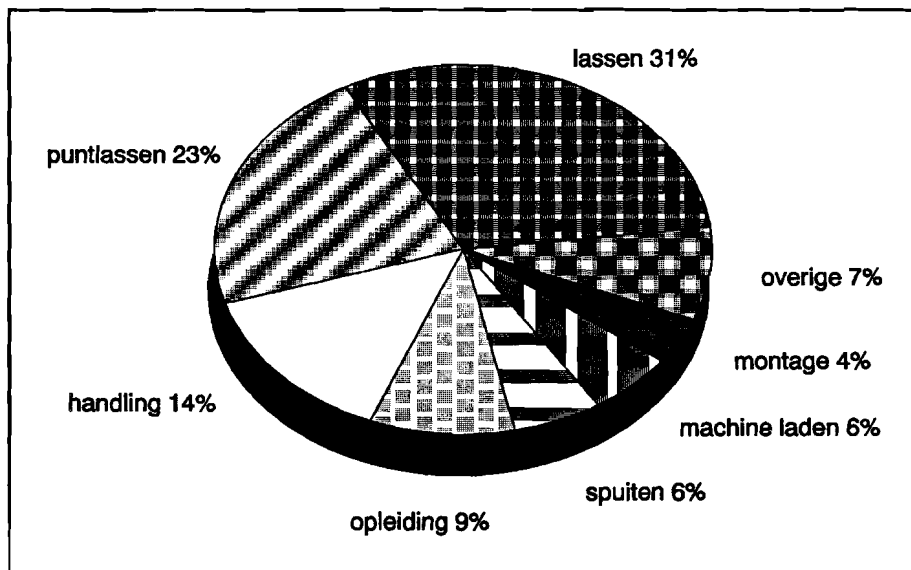
Echter de invoering van robots heeft ook zijn nadelige effecten. Met name de hogere werkdruk om de robot bij te houden en niet te vergeten de gevaren die robots met zich meebrengen. Gezien het feit dat robots gevaarlijk werk van de mensen overnemen wordt nog al eens gedacht dat daardoor de veiligheid automatisch toeneemt. Hierdoor bestaat het risico dat de gevaren worden onderschat. Ook het feit dat we hier te maken hebben met een betrekkelijk nieuwe technologie, waardoor er een zekere onbekendheid is ten aanzien van robots, zorgt er voor dat bepaalde gevaren over het hoofd worden gezien.

De afgelopen jaren is melding gemaakt van een aantal ongevallen met robots (zie bijlage I). Mede gezien het feit dat het aantal robots in de industrie ieder jaar toeneemt, waardoor een stijging valt te verwachten van het aantal robotongevallen, is voor sommige landen een reden geweest om normen en/of wettelijke bepalingen te formuleren ten aanzien van robotveiligheid.

In dit rapport zal aandacht worden besteedt aan praktische richtlijnen en wettelijke bepalingen met betrekking tot veiligheid en gezondheid tijdens het werken met robots. Hierbij zal de nadruk liggen op de robotveiligheid.

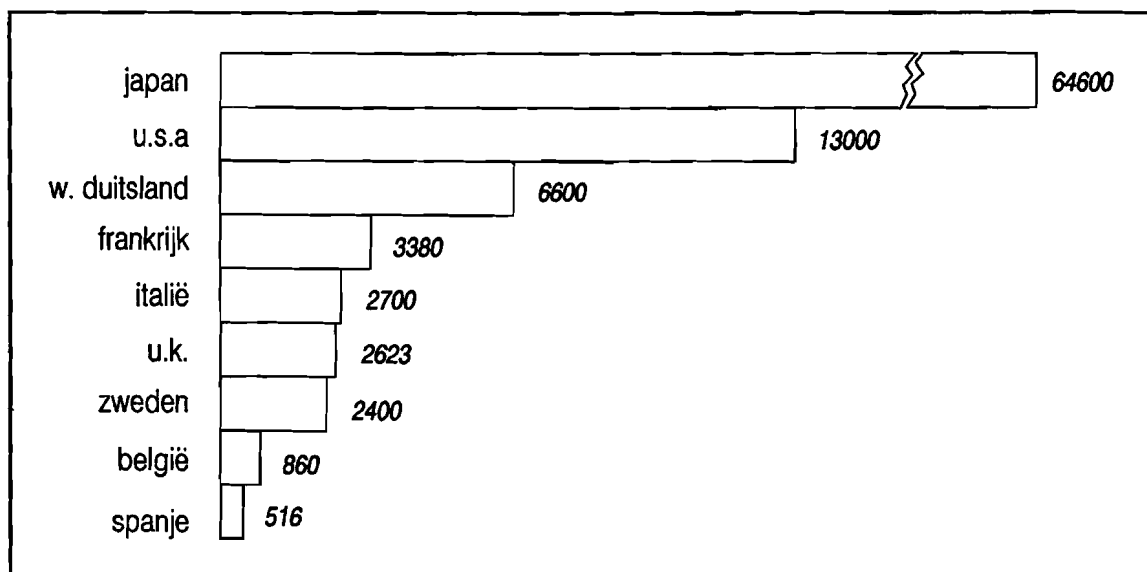
### **1.1 Robots in Nederland**

In vergelijking tot andere industrielanden zijn in Nederland nog betrekkelijk weinig robots in gebruik. Eind 1989 bedroeg het aantal robots ongeveer 750 stuks, met



Figuur 1. Overzicht van de toepassingsgebieden van robots in Nederland. [Anertek-1987]

een groei van ca. 25% per jaar [Arbeidsinspectie-1991/2]. Een belangrijk deel van de robots wordt ingezet bij de fabricage van personenauto's. Het ontbreken van een grote auto-industrie, wordt wel gezien als een van de redenen voor het achterblijven van Nederland op andere industrielanden, wat betreft het toepassen van robots. Een overzicht van de toepassingsgebieden van robots in Nederland wordt gegeven in figuur 1. Verder is in figuur 2 een diagram te zien waarin de verdeling van het aantal robots over de wereld in 1985 is weergegeven.



Figuur 2. Verdeling van het aantal robots in de wereld. [Bonney-1985]



## **2. DEFINITIE VAN BEGRIPPEN**

Om de gebruikte termen in dit verslag enigszins te verduidelijken volgen hier enkele definities:

### **Afscherming**

Beveiliging welke een gevaarlijk proces of bewerking isoleert ten opzichte van zijn omgeving tijdens normaal gebruik van de installatie.

### **Besturingskast**

Een bij het werkstation geplaatste besturingseenheid met hierop een bedieningspaneel waarmee alle noodzakelijke besturingsfuncties kunnen worden uitgevoerd.

### **Contactmat**

Zonebeveiliging in of op de vloer aangebracht met voldoende afstand tot gevaar veroorzakende plaatsen. Bij het betreden van de contactmat wordt een stopsignaal naar de besturing afgegeven zodat de machine binnen veilige marges wordt stopgezet.

### **Deurbeveiligingssysteem**

Een schakelaar op een toegangspoort naar de werkruimte van de robot, die bij bekrachtiging, omdat iemand het werkgebied wil betreden, de robot en de randapparatuur uitschakelt. Een vergrendeling zorgt er voor dat de deur pas vrijgegeven wordt nadat de gehele installatie tot stilstand is gekomen.

### **Dodemansknop**

Een schakelaar die ingedrukt gehouden moet worden om de robot te bedienen en te laten bewegen. Bij loslaten van de knop treedt een noodstop in werking.

### **Fail-to-safe**

Uitvoeringsvorm van een schakeling, besturing of technisch onderdeel die bij het optreden van een storing altijd een veilige toestand in stand houdt of teweegbrengt.

### **Handpaneel**

Een programmeerpaneel dat in de hand genomen kan worden, waarmee de besturingsfuncties uitgevoerd kunnen worden die nodig zijn bij het programmeren van de robot (teach-pendant). Hierdoor is het mogelijk om de bewegingen van dichtbij te coördineren en vast te leggen.

### **Maximale bereik van de robot**

Ruimte begrensd door de maximale reikwijdte van de robotarm inclusief gereedschap (zie Figuur 3).

### **Off-line programmeren**

Het schrijven van programma's voor de bewegingen van de robot zonder de robotinstallatie zelf te gebruiken. Op deze manier kan het programmeren dus ver van het werkstation plaatsvinden.

### **Optische beveiliging**

Veiligheidsvoorziening waarbij een optisch veld wordt toegepast (soms kan dit een elektromagnetisch veld zijn). Het doorbreken van het optisch veld met een lichaamsdeel of voorwerp zal het uitgangssignaal van de optische opnemer veranderen. Hierdoor wordt de beveiliging actief.

### **Robot**

Een universeel inzetbare manipulator met meerdere graden van vrijheid waarvan de bewegingen en de bewegingsvolgorde vrij programmeerbaar zijn. De robot kan uitgevoerd zijn met een grijper waarmee werkstukken gehanteerd kunnen worden, of met een gereedschap waarmee bewerkingen kunnen worden uitgevoerd.

[ Duitse norm VDI 2853]

### **Tweehandenbediening**

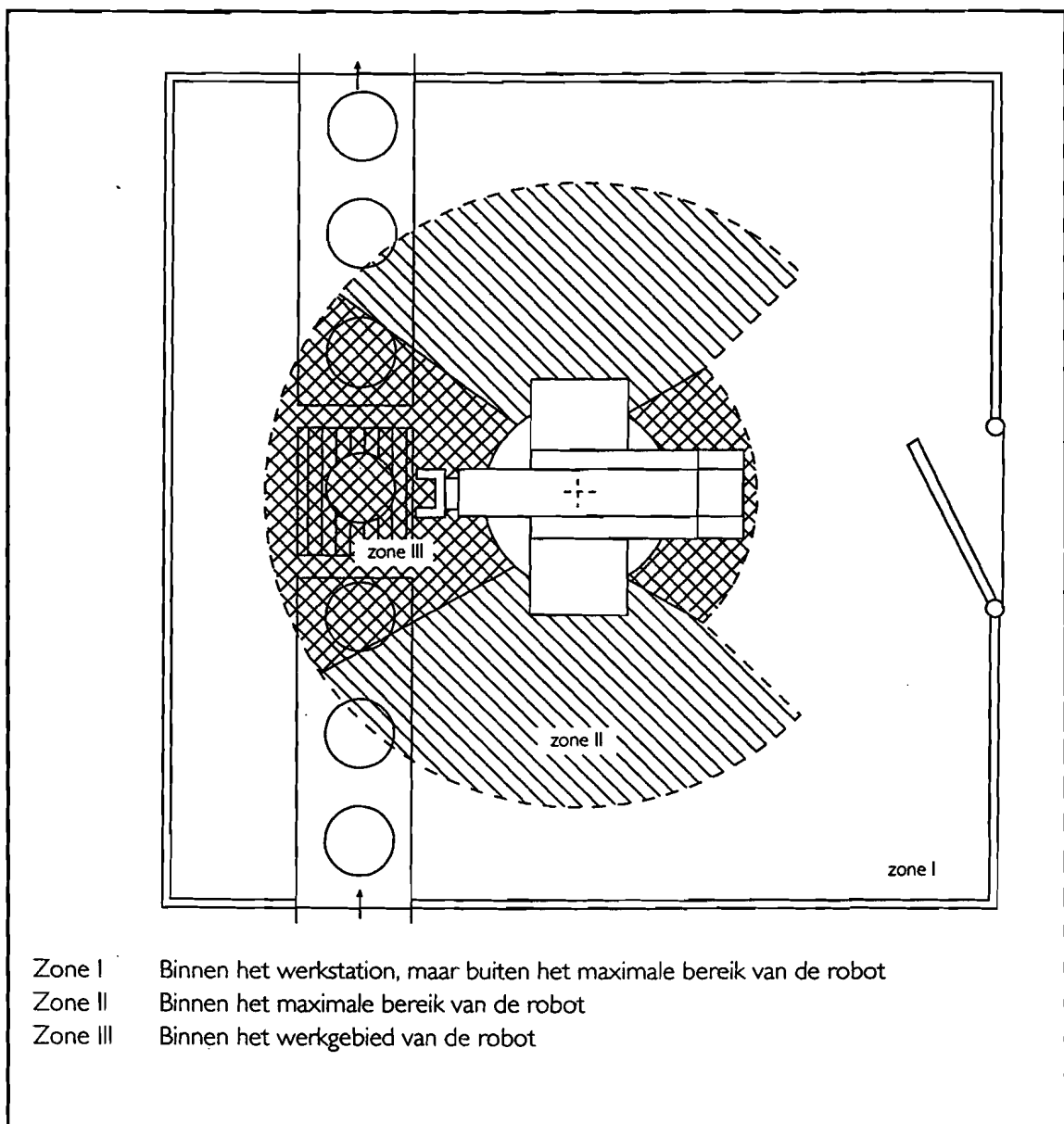
Een bedieningsvorm waarbij de operator altijd twee handen moet gebruiken om een bepaalde machine in werking te stellen. Deze tweehandenbediening moet voldoen aan de eisen gesteld in het publicatieblad P141 van de Arbeidsinspectie.

## Werkgebied van de robot

De ruimte waarbinnen de robot inclusief gereedschap werkzaam is om een bepaald programma uit te voeren (zie Figuur 3). Voor ieder programma is de omvang en vorm anders.

## Werkstation

Ruimte waarbinnen alle bewerkingen en handelingen plaatsvinden (zie Figuur 3). Binnen het werkstation bevinden zich zowel de robot als ook aanvullende randapparatuur.



Figuur 3. Verdeling van het werkstation in gevarenczones. [Arbeidsinspectie-1991]

### **3. DE GEVAREN BIJ ROBOTGEBRUIK**

#### **3.1 Wat zijn de gevaren.**

In de literatuur over robotveiligheid worden telkens een aantal gevaren genoemd, die bij het gebruik van robots naar voren komen. Door te bekijken waar deze gevaren aan ten grondslag liggen, kan men grofweg een verdeling maken in drie groepen. Te weten gevaren die ten grondslag liggen aan:

#### **De robot**

- botsing met de bewegende robotarm of een ander deel van de robot
- beknelling tussen de scharnierpunten of tussen de robot en de vaste wereld
- wegslingeren van het produkt door bijvoorbeeld een defecte gripper

#### **De energiebron**

- elektrische schok door slecht geïsoleerde kabels of kortsluiting
- losschieten van (pneumatische) slangen

#### **De bewerking**

- schadelijke gassen en dampen
- wegschietende vonken en spanen
- verbranding door hoge temperaturen
- schadelijke straling (UV)

De gevaren uit de eerste twee categorieën leveren *direct* gevaar op en hebben dus betrekking op de *veiligheid* van personen. De schadelijke gassen, dampen en straling ten gevolge van de bewerking leveren *indirect* gevaar op, daar deze pas na verloop van tijd een nadelige invloed kunnen hebben op de *gezondheid*. Aangezien dit verslag zich hoofdzakelijk richt op gevaren die ten grondslag liggen aan de robot zelf en niet op gevaren die ten grondslag liggen aan de robot-bewerking of de energiebron, beperken wij ons verder tot de robot-veiligheid.

---

### **3.2 De oorzaken voor het optreden van de gevaren.**

Voor het optreden van gevaren bij het gebruik van robots zijn een aantal oorzaken aan te wijzen. Op de eerste plaats is de robot qua karakter anders dan de meeste andere machines. De robot kan *vrij* bewegen in een ruimte die *groter* is dan hijzelf. Hierdoor is het bewegingspatroon van de robot vaak grillig en onvoorspelbaar, zeker voor personen die de robot *niet* geprogrammeerd hebben.

Verder zijn er nog een aantal specifiekere oorzaken aan te wijzen, die naar hun aard zijn te verdelen in de volgende categorieën:

#### **Techniek**

- defecten in de robot
- defecten in de stuurprogramma's / software

#### **Mens**

- onachtzaamheid van de operator
- onwilligheid om de veiligheidsmaatregelen in acht te nemen

#### **Omgeving**

- storingen door vuil, trillingen, hoge temperaturen etc.
- stroomuitval waardoor bijvoorbeeld de robot kan inzakken

#### **Organisatie**

- slechte instructie van de mensen die met de robot moeten werken
- slechte installatie van de robot, waardoor veel uitval en storingen
- onvoldoende veiligheidsmaatregelen

Meestal zijn de oorzaken uit de eerste drie categorieën niet te voorkomen, en moeten we er dus van uitgaan dat ze kunnen optreden. Met andere woorden de *organisatie* is het enige wat we kunnen beïnvloeden om de mens te beschermen tegen de techniek en zichzelf! De maatregelen die genomen kunnen of moeten worden komen aan de orde in hoofdstuk 4 en 5.

### 3.3 Enkele gegevens over robotongevallen

Over het algemeen zijn er weinig exacte gegevens over robotongevallen bekend. Dit komt enerzijds doordat robots relatief nog niet zo lang worden toegepast en anderzijds omdat robotongevallen vaak geregistreerd worden als een normaal machineongeval en dus niet als zodanig te herkennen zijn.

Echter met name in Zweden en Japan zijn in de afgelopen jaren een aantal gegevens over robotongevallen verzameld. In zijn algemeenheid blijkt dat veel van de ongevallen ontstaan doordat men denkt dat de robot uitgeschakeld of defect is, terwijl deze zich in een *waiting-state* bevindt [Linger-1987].

Activiteit	Contact met bewegende machine, onderdeel, materiaal	Andere incidenten
Aanpassing tijdens productie	14	-
Beweging van persoon richting robot	1	1
Reparatie, programmeren etc.	13	2
Overige	3	2
Totaal	31	5

Tabel 1. Een aantal robotongevallen gerangschikt naar de activiteit van de getroffen persoon. [Carlsson-1985]

Uit een Zweeds onderzoek van Carlsson blijkt dat 29 van de 36 robot-incidenten plaatsvonden tijdens reparatie, programmeren, en het uitvoeren van aanpassingen tijdens de productie [Carlsson-1985] (zie tabel 1)

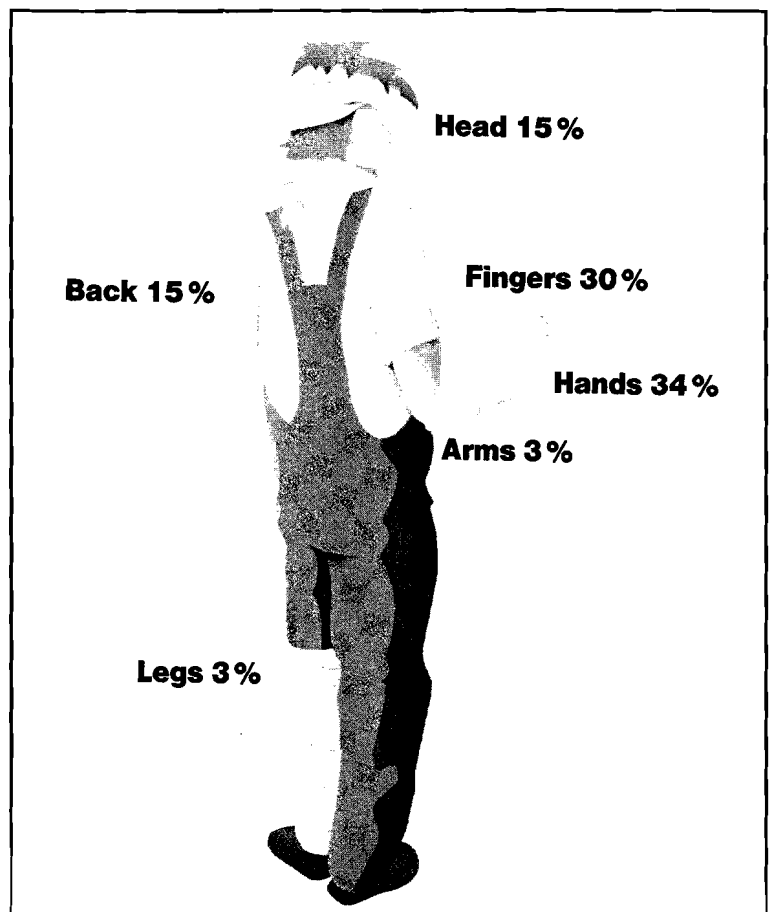
In een Duits onderzoek werden 170 ongevallen of incidenten gevonden waarbij robots of aanverwante machines betrokken waren. Hierbij was in 145 gevallen

sprake van bewegingscontrole problemen, zoals: een plotselinge, ongeprogrammeerde start; robot of aanverwante machines werden niet gestopt; of ongecontroleerde bewegingen [Etherton-1988/1].

In tabel 2 is te zien hoe de verdeling is van de *MeanTime Between Failures* voor robotsystemen. Deze gegevens zijn gehaald uit een Japans onderzoek van Sugimoti. Wat opvalt is het geringe percentage met een MTBF groter dan 2500 uur, hetgeen door fabrikanten van robots als te verwachten waarde wordt opgegeven [Goossens-1989].

MTBF (uren)	Verdeling (%)
< 100	28.7
100-250	12.2
250-550	19.2
550-1000	14.7
1000-1500	10.4
1500-2000	4.9
2000-2500	1.2
> 2500	8.5

Tabel 2. Meantime between failures van robots. [Goossens-1989]



Figuur 4. De aard van de robotongevallen onderzocht in Zweden. [Linger-1987]

Linger geeft een overzicht van de aard van de ongevallen met robots zoals die zijn voorgekomen in Zweden (zie figuur 4).

Welke maatregelen getroffen kunnen worden om deze ongevallen te voorkomen komen aan de orde in het nu volgende hoofdstuk.

## 4. PRAKTISCHE RICHTLIJNEN

### 4.1 Algemeen

Veiligheidsmaatregelen kunnen gebaseerd zijn op een aantal principes. Deze zijn naar hun **prioriteit** te rangschikken op de volgende wijze:

#### **Eliminatie**

Hierbij wordt het gevaar in zijn geheel *weggenomen* en kan dus niet meer optreden.

#### **Preventie**

Men weet dat het gevaar kan optreden, maar probeert de *kans* hierop te verkleinen.

#### **Detectie**

Het gevaar treedt op maar men wordt tijdig *gewaarschuwd*, waarna een correctieve actie kan plaatsvinden.

#### **Correctie**

Het gevaar treedt op maar wordt alsnog tijdig *voorkomen*. Deze actie kan pas na detectie plaatsvinden.

#### **Protectie**

Het gevaar treedt op en is niet meer te voorkomen. De *grootte* van de schade wordt hiermee beperkt.

#### **Reparatie**

Het gevaar heeft schade aangericht. De schade wordt *hersteld*.

In het algemeen zal een beveiligingsplan bestaan uit een combinatie van veiligheidsmaatregelen volgens bovengenoemde principes.

Verder zijn er drie verschillende niveaus waarop veiligheidsmaatregelen gebaseerd kunnen zijn [Strand-1990]. In volgorde van belangrijkheid zijn dit:

- persoonlijke veiligheid
- functionele en mechanische veiligheid van het productie-systeem



- gebruiks- en onderhoudsvriendelijkheid van de apparatuur

Tijdens de verschillende fasen van de levensduur van een robot kunnen veiligheidsmaatregelen genomen worden. Het heeft echter de voorkeur om zoveel mogelijk beveiligingen in te passen tijdens de ontwerp- en installatie-fase, omdat het achteraf nemen van veiligheidsmaatregelen tijdens de gebruiksfase vaak veel gecompliceerder is en extra kosten met zich meebrengt (zoals het stilleggen van de productie).

#### **4.2 Risicovolle situaties**

In de literatuur worden vele situaties tussen mens en robot geschetst, die gevaar kunnen opleveren of een extra risico met zich meebrengen. Wanneer we al deze gevallen nader bekijken blijkt dat ze te groeperen zijn tot *drie* essentieel verschillende situaties:

- **De persoon is in eerste instantie *buiten* het werkterrein van de robot, en wil deze *ongepand* binnentreden. <1>**
  - normale productie die om wat voor een reden dan ook stagneert.
  - het te bewerken produkt ligt verkeerd, en moet correct geplaatst worden.
- **De persoon is *binnen* het werkterrein van de robot wat echter van tevoren *gepland* is.**

Hierbij moeten we echter de volgende onderverdeling maken:

**Persoon werkt samen met de robot. <2>**

  - het inleggen van produkten die bewerkt moeten worden

**Persoon werkt aan de robot. <3>**

  - programmeren
  - reparatie, onderhoud en controle

De veiligheidsmaatregelen in de volgende paragraaf zullen op deze bovenstaande risicovolle situaties gebaseerd zijn.

### **4.3 Maatregelen uit de praktijk**

De genoemde situaties in paragraaf 4.2 zijn verschillend van aard en vragen ieder om andere veiligheidsmaatregelen. Er zijn echter veiligheidsmaatregelen die voor alle drie de situaties van belang zijn. Deze zullen nu eerst genoemd worden, om daarna de specifiekere maatregelen te behandelen.

#### **Algemene veiligheidsmaatregelen**

- Markeringen op de grond om het bereik van de robot aan te geven
- Waarschuwborden
- Zorgen voor voldoende zicht op de installatie

#### **Algemene eisen aan het ontwerp van de robot en randapparatuur**

- Scherpe randen dienen te worden voorkomen.
- Afscherming van klemmende of schurende delen.
- Handbediening moet mogelijk blijven na een noodstop, zodat personen of materialen die bekneld zijn geraakt bevrijdt kunnen worden.
- Remmen op de assen die in werking treden zodra de stroom wegvalt. Dit om inzakken van de robot te voorkomen.
- De grijper moet blijven klemmen wanneer de stroom wegvalt, zodat het produkt niet gelost wordt.
- Terugkeer van de spanning na een stroomuitval mag niet het opnieuw opstarten van de robot tot gevolg hebben !

- Veiligheid-schakelaars dienen dubbel uitgevoerd te worden met een controle voor kortsluiting, met andere woorden *fail-to-safe*.
- Indien omliggende machines ook gevaar kunnen opleveren, dienen deze bij een noodstop tegelijk met de robot stopgezet te worden.

### **Specifieke maatregelen ten aanzien van situatie < 1 > ongepland binnentreden**

- Een afscherming rondom van voldoende hoogte (zie bijlage 2), zodat personen niet zomaar in de beurt van de robot kunnen komen.

Een materiële afscherming heeft echter een aantal nadelen

[Goossens-1989]:

- De bereikbaarheid van de robot wordt minder. Dit is vooral van belang tijdens reparatie en programmeren. De kans bestaat dat mensen bekneld raken tussen afscherming en robot.
  - Een vermindering van het zicht op de gehele installatie.
  - De afscherming vormt een barrière voor in- en uitgaande materiaalstromen.
- Indien het werkstation wordt betreden dient dit gedetecteerd te worden met optische beveiligingen of contactmatten, waarna alle energietoevoer naar de robot en randapparatuur dient te worden afgesneden.
  - De optische beveiligingen of contactmatten dienen op voldoende afstand van het maximale bereik van de robot geplaatst te worden. Hierbij rekening houdend met de snelheid waarmee de persoon het werkstation kan binnentreden en de tijd waarmee de robot tot stilstand komt.
  - Indien in een zeer stoffige omgeving wordt gewerkt kunnen geen optische beveiligingen worden toegepast. Optische beveiligingen zijn zeer gevoelig en zullen bij het minste of geringste stofdeeltje de produktie onnodig stilleggen. Men zal dus in dat geval een deurbeveiligingssysteem of contactmatten moeten toepassen.

- De besturingskast moet buiten de afscherming geplaatst worden. Het mag namelijk niet mogelijk zijn dat het robotsysteem na een noodstop van binnen de afscherming gereset kan worden.

- Het plaatsen van indicators die aangeven of het te bewerken produkt goed gepositioneerd is wordt aanbevolen.

In de praktijk is al menig ongeval ontstaan nadat bleek dat een produkt niet goed gepositioneerd was, waarna de operator het werkgebied van de robot binnentrad. Vervolgens werd dan de robot opnieuw gestart en werd met de hand het produkt net zolang verschoven totdat deze zich zichtbaar in de baan van de bewegende grijper bevond.

Indien een positie-indicator wordt toegepast is het mogelijk het produkt goed te plaatsen zonder dat daarvoor de robot moet worden opgestart om de baan van de grijper te bekijken.

- Het plaatsen van voldoende noodstops rondom het werkstation, zodat ook andere personen in geval van nood de zaak kunnen stoppen.

- Om de weerstand van de operator tegen het stoppen van de produktie te verkleinen, is het nodig om stopfuncties te gebruiken die ervoor zorgen dat de produktie op een eenvoudige manier opnieuw opgestart kan worden. Deze onwilligheid wordt namelijk vergroot op het moment dat produkten de kans lopen beschadigd te worden of dat het opnieuw opstarten van de produktie problematisch is en lang duurt.

Om dit probleem op te lossen doet Linger aanbevelingen voor het toepassen van *drie* verschillende stopniveaus [Linger-1987]:

### **Produktie-stop**

Hierbij wordt de deelbewerking die op dat moment bezig is afgemaakt, waarna de robot direct stopt. Er treedt hierbij geen schade op aan machine of produkt, en tevens kan de produktie eenvoudig opnieuw worden opgestart. Hierdoor zal de operator zich vrij voelen om deze stop te gebruiken wanneer dit noodzakelijk is.

Een produktie-stop moet onmiddellijk overgaan in een *veiligheid-stop* wanneer het werkstation wordt betreden.

### **Veiligheid-stop**

De veiligheid-stop wordt gebruikt om veilig binnentreden van het werkstation mogelijk te maken. Bij een veiligheid-stop wordt de robot onmiddellijk gestopt, en de energietoevoer naar de robot en andere gevaarlijke functies wordt afgesneden. Het is dus noodzakelijk dat de assen van de robot zijn uitgevoerd met remmen om inzakken te voorkomen. Tevens wordt dan de huidige positie vastgehouden zodat opnieuw opstarten eenvoudig is.

Indien de bewerking niet op een willekeurig moment gestopt kan worden omdat anders schade optreedt aan machine of produkt dient de veiligheid-stop eerst voorafgegaan te worden door een produktie-stop. Tot die tijd mag de operator het werkstation niet binnentreden. Met andere woorden er dient gebruik gemaakt te worden van een deurbeveiligingssysteem die de toegangsdeur pas vrijgeeft zodra de produktie-stop in werking is getreden. Op het moment dat de toegangsdeur geopend wordt treedt de veiligheid-stop in werking.

Wanneer de produktie op een willekeurig moment gestopt mag worden, hoeft de veiligheid-stop niet voorafgegaan te worden door een produktie-stop, en is deze laatste overbodig. Er kan nu ook gebruik gemaakt worden van optische schermen omdat er *gelijk* een veiligheid-stop in werking treedt zodra het werkstation wordt betreden.

### **Nood-stop**

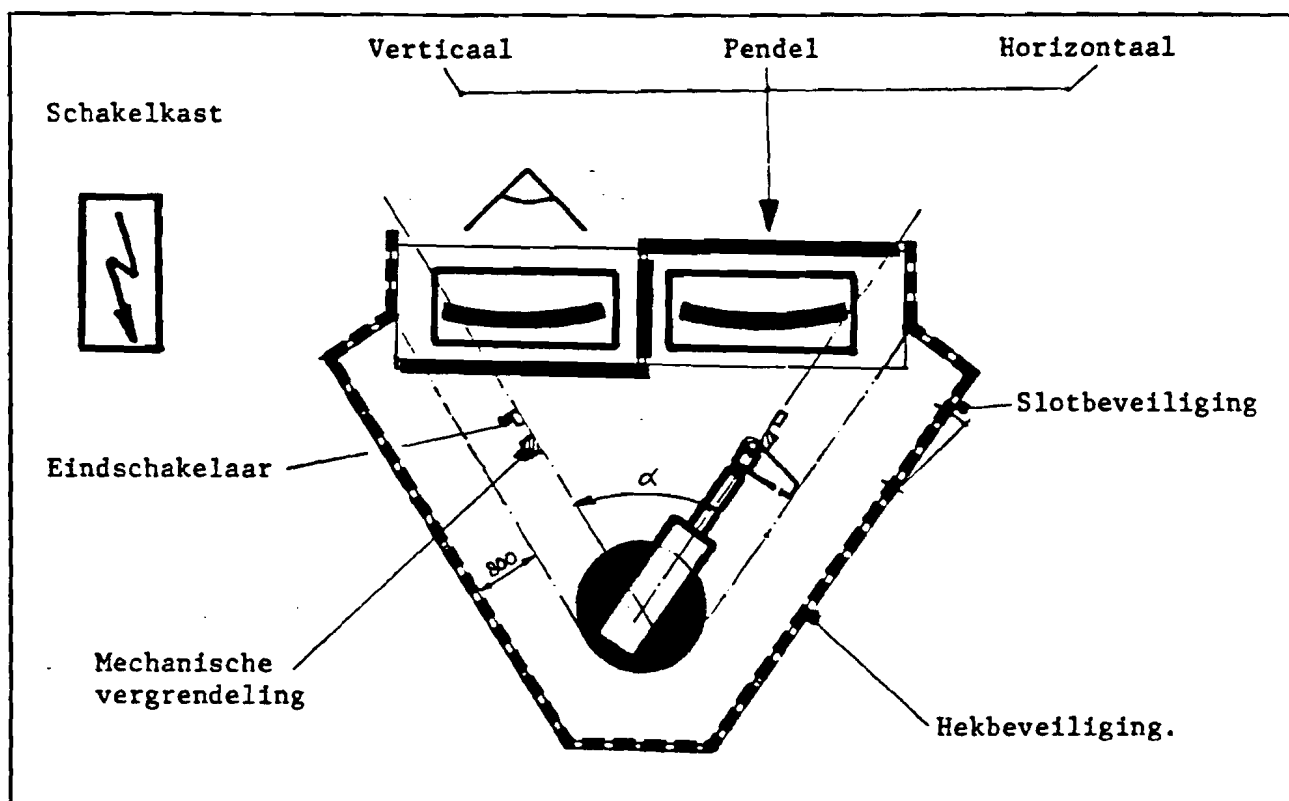
De nood-stop wordt gebruikt voor noodsituaties, om de robot *direct* te stoppen ongeacht de bewerkingsfase. De nood-stop breekt onmiddellijk de energietoevoer naar alle gevaarlijke operaties af. In tegenstelling tot de veiligheid-stop is het bij een nood-stop vaak noodzakelijk het systeem opnieuw te initialiseren.

## Specifieke maatregelen ten aanzien van situatie <2> *samenwerken met robot*

- Op de eerste plaats dient vermeld te worden dat de situatie waarbij de mens samenwerkt met de robot waar mogelijk vermeden moet worden.
- In grote lijnen gelden dezelfde maatregelen als die voor situatie <1> worden toegepast. Er valt hier echter een extra veiligheidsmaatregel te noemen voor het geval dat het werkgebied van de robot en de operator elkaar overlappen:

De ruimte waarin de operator werkzaam is mag pas vrij worden gegeven voor de robot indien de operator zichzelf de toegang tot deze ruimte heeft ontnomen. Andersom wordt deze ruimte voor de operator pas weer toegankelijk wanneer de robot deze ruimte heeft verlaten [Vakgroep Veiligheid Robotica-1985].

Dit zou bijvoorbeeld verwezenlijkt kunnen worden door toepassing van schuif- of pendel-hekken (zie figuur 5).



Figuur 5. Beveiliging met pendel-hekken bij overlapping werkgebieden. [Vakgroep Veiligheid Robotica-1985]

### **Specifieke maatregelen ten aanzien van situatie <3> werken aan de robot**

Indien het mogelijk is om reparatie of onderhoud te plegen aan de robot zonder dat deze een of meerdere keren bekrachtigd hoeft te worden is er in principe geen gevaar. Anders gelden de nu volgende maatregelen:

- De bediening van de robot wordt door de operator binnen de afscherming door middel van een handpaneel uitgevoerd, hierdoor dient alle bediening van buitenaf geblokkeerd te zijn behalve de noodstops.
- Het handpaneel dient een noodstop-knop te bevatten en verder een dodemansknop met liefst drie standen (zie bijlage 3). Deze dodemansknop dient in de middenstand vastgehouden te worden om de robot te kunnen besturen. Zodra de knop wordt ingedrukt of losgelaten stopt iedere beweging.
- De maximale snelheid dient begrensd te worden tot 150-250 mm/s. In Japan is wettelijk een maximale snelheid van 140 mm/s voorgeschreven. Dit is gebaseerd op een optimale kijkafstand van 200 tot 300 mm, dit geldt met name tijdens het programmeren. Er wordt hierbij rekening gehouden met de reactietijd van de operator en de stopafstand van de robot (zie bijlage 4).
- Een snelheidsbegrenzer dient voortdurend te controleren of de maximaal toelaatbare snelheid niet wordt overschreden. Wanneer dit wel gebeurt moet de noodstop in werking treden.
- De ijlgang moet geblokkeerd zijn.
- Test-runs op volle snelheid moeten alleen mogelijk zijn indien de operator c.q. programmeur zich buiten de afscherming heeft begeven. In dat geval gelden weer de veiligheidsmaatregelen van situatie <1>.

#### 4.4 Enkele opmerkingen

Hier volgen enkele algemene opmerkingen die maar deels terug te vinden zijn in de literatuur:

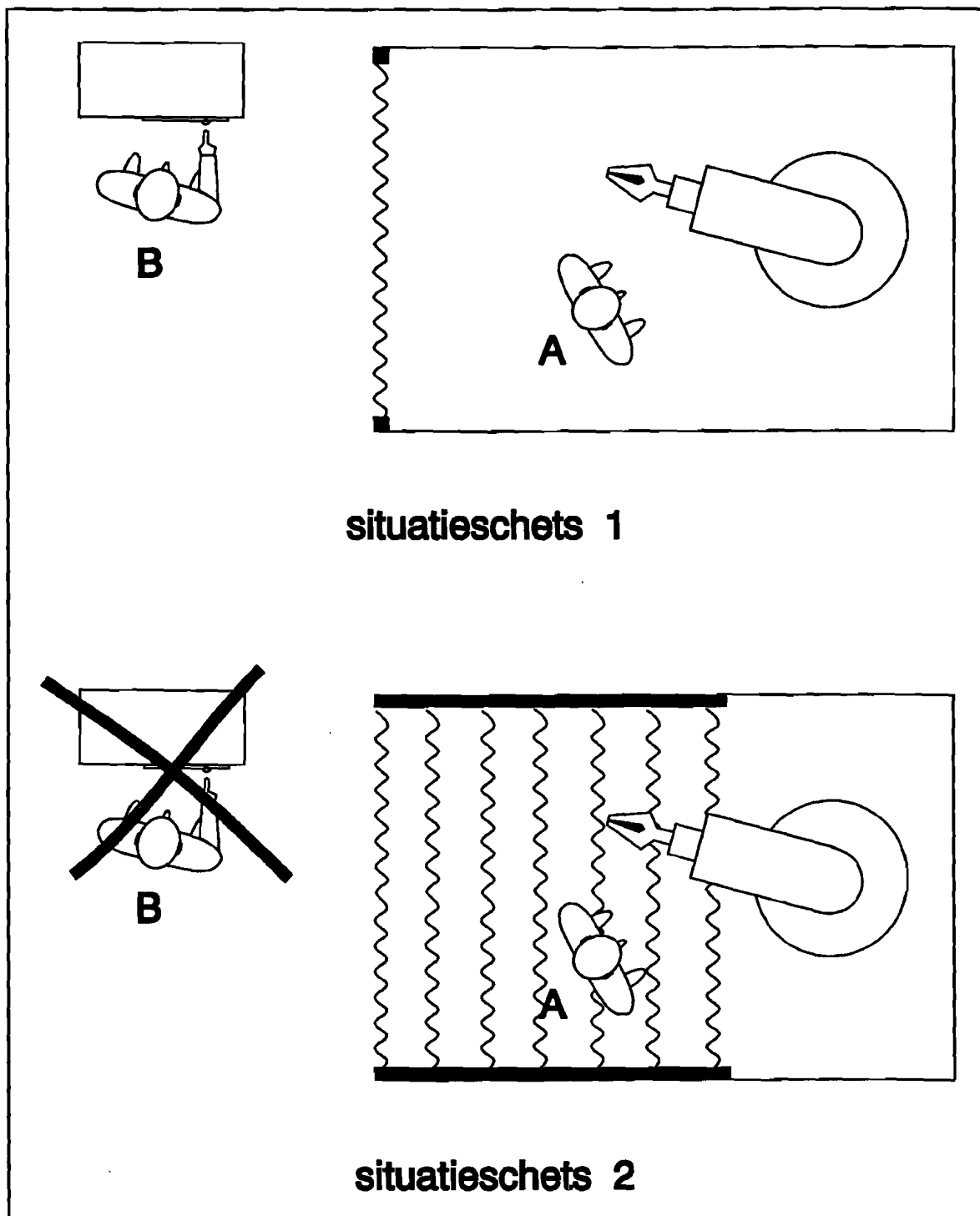
- Het plaatsen van een aparte optische beveiliging, die bij onderbreking een waarschuwingssignaal laat horen, zorgt ervoor dat men erop attent gemaakt wordt dat men zich op gevaarlijk terrein begeeft. Deze beveiliging dient op enige afstand voor de optische beveiliging die de noodstop activeert geplaatst te worden. Dit heeft het voordeel dat de productie niet onnodig onderbroken wordt door onoplettendheid van medewerkers.
  
  - Het installeren van een robot brengt vaak extra risico's met zich mee omdat:
    - Er meestal nog geen beveiligingen aanwezig zijn.
    - Men nog relatief onbekend is met de robot.
    - Er door het testen van het systeem meer storingen zijn als normaal .
    - Men meestal onder tijdsdruk staat omdat de productie zo snel mogelijk op gang moet komen.
  
  - Detecteren of een persoon het werkstation binnentreedt door middel van beveiligingen op discrete plaatsen heeft het volgende nadeel:

Stel een persoon betreedt het werkstation. Dit wordt door een beveiliging aan de rand van de afscherming gesignaleerd, waardoor de noodstop in werking treedt. Vervolgens blijft deze persoon binnen het werkstation en vraagt een andere medewerker om het systeem via de besturingskast te resetten, waarna de robot zijn taak hervat.

Deze gevaarlijke situatie kan niet optreden wanneer beveiligingen worden toegepast die over het hele werkstation kunnen controleren of er zich iemand binnen de afscherming bevindt. Er valt hier te denken aan continue beveiligingen zoals contactmatten over het gehele vloeroppervlak of liggende optische schermen. Wanneer nu iemand van buitenaf probeert het systeem te resetten wordt onmiddellijk gedetecteerd dat er zich
-



iemand binnen de afscherming bevindt waarna de noodstop weer in werking treedt (zie figuur 6).



Figuur 6. Het verschil tussen een discrete en een continue beveiliging ten aanzien van het resetten door derden.

- Naast het menselijk leed verhoogt ieder ongeval de weerstand tegen het invoeren van nieuwe technologieën.
- In zijn algemeenheid geldt dat een toename van de bedrijfszekerheid c.q. betrouwbaarheid van een installatie, een toename van de veiligheid betekent.

## 5. WETTELIJKE BEPALINGEN

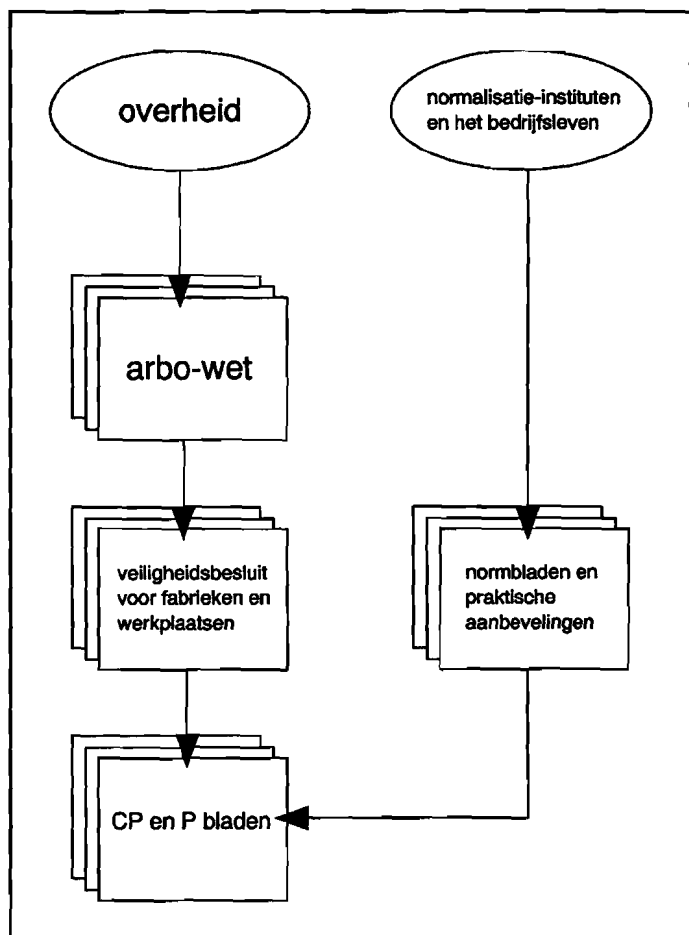
### 5.1 De structuur van de veiligheidswetgeving

De Nederlandse veiligheidswet is opgebouwd uit een aantal niveaus (zie figuur 7). Allereerst is er de **ARBO-wet**. Deze wet regelt de algemene zorg voor veiligheid, gezondheid en welzijn. Tevens worden de verplichtingen van werkgevers en werknemers ten aanzien van veiligheid vastgelegd. Deze wet is zeer algemeen en ruim van opzet, en daardoor weinig concreet wat betreft *technische* veiligheidseisen die gesteld worden.

Daarom is er als aanvulling op de ARBO-wet het zogenaamde **Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en Werkplaatsen**. Dit besluit geeft concretere en specifiekere eisen die gesteld worden aan de techniek, en vormt als het ware een afspiegeling van de ARBO-wet.

Om de bovenstaande bepalingen in een voor de gebruiker gemakkelijk te interpreteren vorm te presenteren, zijn er de **CP- en P-bladen**. Dit staat voor Concept-Publikatie en Publikatie bladen,

die informatie geven over veiligheid betreffende een specifiek onderwerp, zoals bijvoorbeeld robots. Deze bladen worden uitgegeven door de Arbeids-inspectie, en zijn naast bovengenoemde wettelijke bepalingen tevens gebaseerd op normen en praktische richtlijnen uit het bedrijfsleven. Een P-blad is richtgevend en hanteerbaar



Figuur 7. Structuur van de veiligheidswetgeving.

binnen het kader van de wet. CP-bladen lopen vooruit op P-bladen zolang de wetgeving die op dit blad van toepassing is nog niet is uitgewerkt of is goedgekeurd door de Minister. Zolang een CP-blad nog niet de status heeft van P-blad staat de inhoud open voor kritiek van buitenaf [Arbeidsinspectie-1991/3]. In het algemeen is van CP-bladen te verwachten dat zij op korte termijn goedgekeurd worden en overgaan in een P-blad. Het is daarom aan te raden om alvast zoveel mogelijk te voldoen aan de eisen die gesteld worden in een CP-blad indien nog geen P-blad voorhanden is.

Dan volgen nu overzichten van alle wettelijke artikelen, P-bladen en normen die, in de ruimste zin van het woord, betrekking hebben op veiligheidseisen tijdens het ontwerp, onderhoud en gebruik van *industriële robots* [Melgers-1988] [Arbeidsinspectie-1991/1]:

<b>ARBO-WET</b>	
ARTIKEL-NR.	ONDERWERP
3	algemene zorg voor veiligheid, gezondheid en welzijn
4	beleidsvoering en jaarplan
6	voorlichting en onderricht
11	voorkomen van gevaar voor andere personen
12	algemene verplichtingen van de werknemers
24	regeling ter verzekering van veiligheid, gezondheid etc.
26	verplichting van werkgevers en werknemers
47	algemene maatregelen van het bestuur die geacht worden te zijn vastgelegd

## VEILIGHEIDSBESLUIT VOOR FABRIEKEN EN WERKPLAATSEN

ARTIKEL-NR.	ONDERWERP
98	beschutten van gevaarlijke delen
109	het stilzetten van werktuigen bij diverse werkzaamheden
112	het stilzetten van werktuigen tenzij doeltreffend afgeschermd
113	het bieden van voldoende brede doorgangen
114	noodstop-inrichting
115	waarschuwen bij het in gang brengen van een werktuig
118	zodanig opstellen dat gevaar zoveel mogelijk voorkomen wordt
119	reinigen, poetsen en herstellen alleen bij stilstand
121	inrichting tegen vonken, splinters etc.
123	staat van onderhoud
148	doelmatige voorziening tegen wegvliegende delen
173	persoonlijke beschermingsmiddelen

## P-BLADEN EN CP-BLADEN

CODE	TITEL
P62	Persoonlijke beschuttingsmiddelen
P115-1	Hijsgereedschappen; Wettelijke bepalingen
P115-2	Hijsgereedschappen; Constructie, sterkte, beproeving, onderh.
P115-3	Hijsgereedschappen en hijswerktuigen; Veilig hijsen
P141	Veiligheidseisen van electr. gestuurde tweekandenbedieningen
P178 <sup>1</sup>	Metaalbewerkingsmachines; Wettelijke bepalingen
P180	Lichtschermen en andere amateriële beveiligingsschermen
<u>CP23</u>	<u>Industriële robots</u>
CV20 <sup>2</sup>	Werken met robots

<sup>1</sup>) Op dit moment nog niet uitgeven, maar al wel aangekondigd.

<sup>2</sup>) CV staat voor concept-voorlichtingsblad. Dit blad heeft geen *directe* relatie met de wetgeving.

<b>NORMBLADEN</b>	
CODE	TITEL
NEN-EN 292	Veiligheid van machines, grondbeginselen, ontwerp principe
NEN-EN 294	Veiligheid van machines. Veiligheidsafstanden
NEN 1010	Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties
NEN 3011	Veiligheidskleuren en -tekens
NEN-EN-60-204-1	Elektrische uitrusting van industriële machines
VDI 2853	Sicherheitstechnische Anforderungen an Bau, Ausrüstung und Betrieb von Industrie-robotern

## **5.2 Wettelijke maatregelen**

De nu volgende wettelijke maatregelen zijn alle gebaseerd op het **CP-blad 23 'Industriële robots'** [Arbeidsinspectie-1991/1]. Van dit CP-blad is te verwachten dat het binnenkort overgaat in een P-blad met een wettelijke status.

In deze publikatie wordt een andere onderverdeling van de veiligheidsmaatregelen toegepast als in paragraaf 4.2. Deze maatregelen zijn hier onderverdeeld in de volgende categorieën. Maatregelen ten aanzien van:

- ontwerp
- installatie
- normaal bedrijf
- programmeren
- onderhoud en reparatie
- software en hardware

Deze wettelijke maatregelen zullen op een aantal punten overeenkomen met de reeds genoemde maatregelen uit de praktijk in hoofdstuk 4. Voor de volledigheid wordt hier toch een beknopt overzicht gegeven van de te nemen maatregelen volgens de wet.

## Ontwerp

- De mechanische sterkte van robot, gereedschap en mechanische eindstops moet voldoende groot zijn om de maximale belasting, bijvoorbeeld als gevolg van een plotselinge noodstop, te kunnen weerstaan.
- De constructie van de robot moet zodanig zijn dat grote traagheidskrachten worden vermeden (licht construeren, balanceren van de armen).
- Knelpaatsen en bewegende delen moeten zijn afgeschermd. Scherpe kanten en uitstekende delen moeten worden vermeden.
- De hoofdaandrijving moet uitgevoerd zijn volgens het *ruststroomprincipe* vastgelegd in norm NEN-EN-60-204-1. Dit betekent dat bij een storing (bijv. energie-uitval) of een noodstop alle bewegingen direct moeten stoppen en dat geen andere bewegingen worden opgewekt. Om dit te realiseren moet de robot zijn uitgevoerd met remmen.
- Hoofdstroomschakelaars moeten geborgd kunnen worden om inschakeling bij onderhouds- of reparatiewerkzaamheden te voorkomen.
- De noodstop zelf en het opnieuw starten na een noodstop dient uitgevoerd te worden volgens NEN-EN-60-204-1.
- De noodstop moet duidelijk zichtbaar en makkelijk bereikbaar zijn. Bij bediening dienen alle bewegingen binnen de kortst mogelijke tijd te stoppen zonder extra risico's te scheppen.
- Beveiligingsschakelingen moeten altijd *fail-to-safe* worden uitgevoerd.

## Installatie

- Zolang de definitieve beveiliging nog niet werkzaam is moeten aanvullende
-

maatregelen getroffen worden, zodat veilige werkcondities en procedures gehandhaafd blijven.

- De uiteindelijke beveiliging na installatie dient te worden vergeleken met wat in de ontwerpfase werd beoogt. Modificaties moeten worden vastgelegd in een documentatie.

### **Normaal bedrijf**

- In het algemeen zal het werkstation moeten worden afgeschermd door middel van hekwerken van voldoende hoogte en sterkte volgens NEN-EN 294.
  - Indien de afscherming tevens bescherming moet bieden tegen wegvliegend materiaal, gassen/dampen of een schadelijk geluids- of stralingsniveau, dan dient de aard van de afscherming hierop te zijn aangepast.
  - Tussen het maximale bereik van de robot met gereedschap en de afscherming dient een afstand aanwezig te zijn van minimaal **80 cm**.
  - Toegangsdeuren in het hekwerk naar het werkstation kunnen pas geopend worden op het moment dat de robot is uitgeschakeld en tot stilstand is gekomen. Het openen van deuren zonder dat dit voorbereid is via de besturing, moet een noodstop tot gevolg hebben.
  - Wanneer het werkgebied van robot en operator elkaar overlappen mag de een het werkgebied van de ander niet binnentreden zolang diegene hier nog werkzaam is. Pas op het moment dat deze ruimte wordt vrijgegeven wordt binnentreden mogelijk. Indien de operator de ruimte waar de robot op dat moment werkzaam is binnentreedt, dienen alle bewegingen van de robot te stoppen.
  - De doorvoeropeningen in de hekwerken voor de aan- en afvoer van produkten dienen zo klein mogelijk gehouden te worden.
-



- Wanneer de doorvoeropeningen zodanig groot zijn dat een persoon zich toegang kan verschaffen tot het werkstation, dienen deze openingen apart beveiligd te worden. Ook moet met waarschuwingsborden of markeringen aangegeven worden dat deze openingen niet bestemd zijn als toegang voor personen.

## **Programmeren**

- Alvorens tot programmeren te kunnen overgaan moet eerst het automatisch bedrijf zijn uitgeschakeld.
- Het programmeren terwijl de operator zich binnen het werkstation bevindt, mag slechts gebeuren door middel van het handpaneel.
- Het handpaneel moet zijn voorzien van een dodemansknop en een noodstopshakelaar. Loslaten van de dodemansknop of het indrukken van de noodstopshakelaar moet onmiddellijk stoppen van de robot tot gevolg hebben.
- Tijdens het programmeren moet de snelheid van de robotbewegingen gereduceerd worden tot maximaal **15 cm/s**.
- Wanneer in een productie meerdere robots staan opgesteld die in elkaars werkgebied kunnen komen, mag het programmeren alleen plaatsvinden als aangrenzend geplaatste robots spanningsloos zijn gemaakt.

## **Onderhoud en reparatie**

- Onderhoud en reparatie mag slechts plaatsvinden indien de energietoevoer naar de robot is uitgeschakeld.
- Testen en controleren van functies mag uitsluitend plaatsvinden bij kruipsnelheid en wanneer de dodemansknop op het handpaneel is ingedrukt.

- Testen en controleren op normale snelheid mag slechts via de besturingskast buiten de afscherming gebeuren.
- Om onderhoud en reparatie aan een robot mogelijk te maken zonder de voortgang van de overige produktie te belemmeren moeten speciale reparatiezones worden ingericht. Deze reparatiezones moeten aan de volgende voorwaarden voldoen:
  - de zone moet door middel van hekwerken of lichtschermen gescheiden zijn van de rest van het produktiesysteem
  - de zone moet buiten het werkgebied van normaal bedrijf liggen
  - de zone mag niet bereikbaar zijn voor andere robots
  - de zone kan alleen betreden worden via reeds genoemde toegangsdeuren

## **Software en hardware**

- Een goed werkend systeem brengt minder risico's met zich mee. Om dit te bereiken dient het systeem als geheel inclusief software betrouwbaar te zijn en ongevoelig voor storingen van buitenaf.
- Om de effecten van elektrische storingen op elektronische systemen tot een minimum te beperken moeten de volgende maatregelen genomen worden:
  - de kwaliteit van de voedingen mag niet minder zijn dan de kwaliteit van de apparatuur
  - kabels en verbindingen die voor de transmissie van signalen worden gebruikt, moeten voldoende zijn afgeschermd
  - het naast elkaar lopen van signaal- en voedingskabels moet zijn vermeden
  - de verbindingen moeten zo kort mogelijk zijn
  - elke eindverbinding moet van een impedantie-adapter zijn voorzien
  - kabelmantels, verbindingen en kasten moeten goed met elkaar zijn verbonden, waarbij de massa's slechts op één punt aan aarde mogen liggen
  - de meest gevoelige delen moeten met een beplating worden afgeschermd
  - het signaalniveau moet zo hoog mogelijk zijn

- o de transmissiekanalen moet zodanig gedimensioneerd zijn, dat fluctuaties in het signaalniveau geen invloed hebben op de 1 of 0 status van het signaal
  - o de circuits moeten zodanig zijn ontworpen dat het potentiaalverschil constant blijft en externe factoren geen invloed hebben
- Zolang het niet mogelijk is een zichzelf controlerend betrouwbaar elektronisch systeem te maken is een beveiliging van de robot met alleen een elektronisch bewakingssysteem vooralsnog niet toegestaan. Er dient altijd een hardwarematige beveiliging aanwezig te zijn naast een eventuele softwarematige beveiliging.
  - De Watch dog veiligheidscomputer is een nieuw systeem dat iedere 50 milliseconde de as-posities van de robot bewaakt. Indien een afwijking van de geprogrammeerde posities wordt geconstateerd, wordt de robot door de Watch dog gestopt. Hoewel de Watch dog een geavanceerd bewakingssysteem van de software mag worden genoemd, wordt het systeem voor de beveiliging van personen vooralsnog niet geaccepteerd.

Verder wordt in CP-blad 23 kort aandacht besteedt aan onderwijssituaties. Hierover wordt het volgende gezegd.

### **Onderwijssituaties**

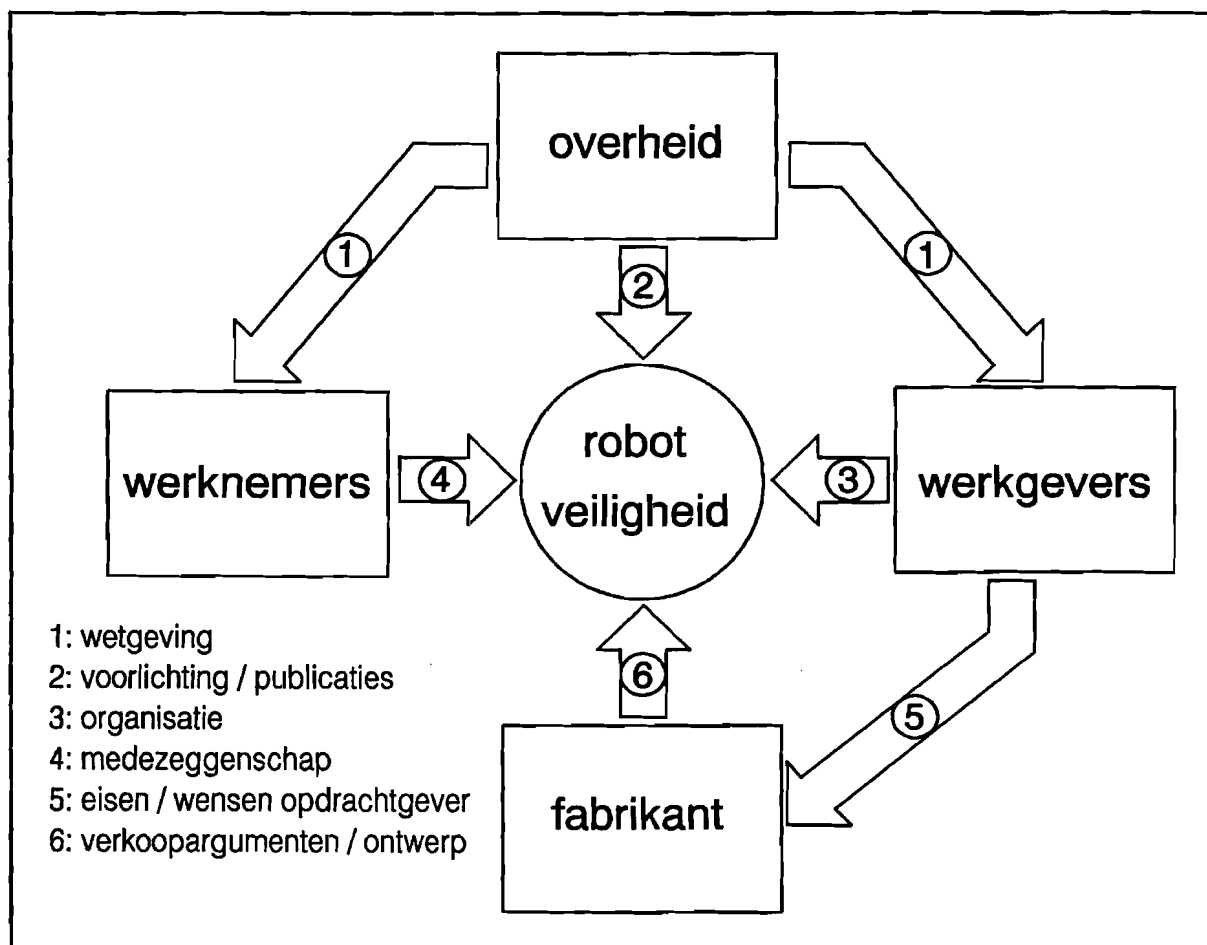
Bij robots die in het onderwijs gebruikt worden, zijn de risico's aanzienlijk groter. De geoefendheid en de basiskennis met betrekking tot robots is in het algemeen bij studenten minder aanwezig dan in vergelijkbare bedrijfsituaties. Voorts zullen in onderwijssituaties meestal meer personen tegelijk zijn blootgesteld aan eventuele gevaren. Het is dan ook noodzakelijk dat voortdurend deskundig toezicht wordt gehouden bij werkzaamheden van studenten met robots. Dit geldt in het bijzonder wanneer gewerkt wordt met door studenten ontworpen software.

Bij robotinstallaties in gebruik voor opleiding en training moet de staat van de

beveiligingen zodanig zijn, dat deze overeenkomt met de normale praktijkomstandigheden.

### 5.3 Verantwoordelijkheden

Er zijn een aantal instanties c.q. betrokkenen die invloed kunnen uitoefenen op de robotveiligheid (zie figuur 8).



Figuur 8. Instanties en betrokkenen welke invloed kunnen uitoefenen op robotveiligheid.

Allereerst de overheid die via de wetgeving een aantal eisen stelt met betrekking tot veiligheid aan werkgevers en werknemers <1>. Verder kan de overheid direct invloed uitoefenen op de veiligheid via de Arbeidsinspectie, die voorlichting geeft en publikaties over dit onderwerp verspreid <2>.

Dan zijn er de werkgevers die met de wetgeving in hun achterhoofd organisatorische beslissingen kunnen nemen ten aanzien van installatie, onderhoud en gebruik van robots <3>.

Verder zijn er de werknemers die in het kader van de ARBO-wet verplicht zijn gevaarlijke situaties te melden en te voorkomen <4>.

Als laatste zijn er de fabrikanten van robots die niet direct met de wet te maken hebben, omdat er geen veiligheidseisen worden gesteld aan de door hen geproduceerde robots. Echter de gebruikers, in dit geval de werkgevers, hebben wel te maken met wettelijke bepalingen en mogen alleen veilige robots in gebruik nemen.

Kortom: wil de fabrikant zijn robots verkopen dan zal hij terdege rekening moeten houden met de wettelijke eisen waar de gebruikers mee te maken hebben <5>. De fabrikant heeft dus *indirect* met de wetgeving te maken, en zal via het ontwerp de veiligheid van de robot beïnvloeden en dit gebruiken als verkoopargument <6>.

## 6. CONCLUSIES

Zoals uit het voorgaande blijkt zijn er nogal wat voorschriften voor ontwerp, installatie, onderhoud en gebruik van robots. Ter afsluiting van dit rapport volgen nu enkele opmerkingen c.q. conclusies:

- Wanneer voldaan wordt aan de praktische richtlijnen uit de literatuur zoals die zijn genoemd in hoofdstuk 4, wordt in grote lijnen voldaan aan de wettelijke bepalingen zoals die zijn vastgelegd in het CP-blad 23 'Industriële robots' van de Arbeidsinspectie.
- In bedrijfsleven en onderwijs is er behoefte aan een P-blad over robots zodat men weet waaraan hij, in het kader van de wet, dient te voldoen.
- Voor het onderwijs gelden dezelfde eisen ten aanzien van veiligheid als voor het bedrijfsleven.  
**NB:** Op de Technische Universiteiten is vanaf 1 november 1991 de ARBO-wet 1<sup>e</sup> fase ingegaan. Dit houdt in dat aan de wettelijke eisen voldaan moet worden die gelden voor gezondheid en veiligheid met uitzondering van welzijn. Naast deze bepalingen zijn er nog aparte richtlijnen vastgelegd in het ARBO-besluit Onderwijs.
- Veilige en praktische werkplaatsen kunnen alleen gerealiseerd worden wanneer veiligheids- en onderhoudseisen in harmonie zijn met de produktiedoelstellingen. [Linger-1987]
- In de Europese Gemeenschap zijn diverse commissies bezig wetten en regelgevingen op te stellen die o.a. het vrije verkeer van machines binnen de EEG vanaf 1992 mogelijk moet maken. De regelgeving voor de veiligheid van industriële machines dient zoveel mogelijk gebruik te maken of te verwijzen naar reeds bestaande internationale normen [Bredie-1988].

- In de toekomst zal voor de verbetering van de veiligheid steeds meer gebruik gemaakt worden van systemen die kunnen detecteren of een persoon zich binnen het gebied begeeft wat de robot wil gaan bestrijken. Hierdoor kan vooraf gesignaleerd worden of er een gevaarlijke situatie gaat optreden en kan tijdig worden ingegrepen. Er valt hierbij te denken aan radar of infra-rood in combinatie met intelligente robotsystemen.

## **7. BRONVERMELDING**

Bij de totstandkoming van dit rapport is gebruik gemaakt van de volgende informatiebronnen:

- Het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden (NIA).
- Het Directoraat-Generaal van de Arbeid (Arbeidsinspectie).
- De Vakgroep Veiligheidskunde, TU Delft.
- De Regionaal Bedrijfsgeneeskundige Dienst, Rotterdam.
- Het Bureau Veiligheid en Milieu, TU Eindhoven.
- De Bibliotheek (VUBIS, Engineering Index), TU Eindhoven.
- Interviews met wetenschappelijk medewerkers en studenten.

### **OPMERKING:**

De in paragraaf 5.2 genoemde NEN-normen waren niet in de bibliotheek voorhanden en zouden apart besteld moeten worden bij het Normalisatie-instituut (kostbaar). Vandaar dat zij niet zijn opgenomen in een van de bijlagen.



## LITERATUURLIJST

- [Arbeidsinspectie-1991/1] *Industriële robots.*  
Den Haag: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1991.  
Concept-Publikatieblad 23 (CP 23).
- [Arbeidsinspectie-1991/2] *Werken met robots.*  
Den Haag: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1991.  
Concept-Voorlichtingsblad 20 (CV 20).
- [Arbeidsinspectie-1991/3] *Publikaties: lijst 1.*  
Den Haag: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, oktober 1991.
- [Bonney-1985] Bonney, M.C. and Y.F. Yong.  
*Robot safety: International Trends in Manufacturing Technology.*  
Kempston, Bedford: IFS (Publications) Ltd., 1985.
- [Bredie-1988] Bredie, Th. A.  
*Wettelijke aspecten in relatie tot industriële robots: Voordracht tijdens congres 'Mens en Arbeid' 1988.*  
Nederlandse Philipsbedrijven B.V., Personeelszaken/Veiligheid, Willemstraat 22a, Gebouw ECY-4, Eindhoven, 3 augustus 1988.
- [Breuer-1983] Breuer, J.M.D.  
*Robot en de benodigde beveiligingen.*  
Afdeling Veiligheidsdienst, Volvo Car Productie B.V., Born, juni 1983.
- [Carlsson-1985] Carlsson, J.  
*Robot accidents in Sweden.*  
In: *Robot safety: International Trends in Manufacturing Technology.*  
Kempston, Bedford: IFS (Publications) Ltd., 1985. p. 49-64.
- [Eijkelenboom-1985] Eijkelenboom, A.  
*Checklist robotveiligheid.*  
Vakgroep Veiligheidskunde, TU Delft, september 1985.

- [Etherton-1988/1] Etherton, J. et al.  
*Human response to unexpected robot movements at selected slow speeds.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I*. Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 381-389.
- [Etherton-1988/2] Etherton, J.  
*Unexpected motion hazard exposures on a large robotic assembly system.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I*. Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 411-419.
- [Fukaya-1988] Fukaya, K. and N. Sugimoto.  
*A study on the safety operations of robots using monitor hold.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I*. Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 437-444.
- [Goossens-1989] Goossens, L.H.J. en W.A.M. Hoefnagels.  
*Robotveiligheid.*  
Vakgroep Veiligheidskunde, TU Delft, augustus 1989.
- [Graham-1988/2] Graham, J.H.  
*Overview of research issues in robot safety.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I*. Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 477-482.
- [Helander-1988] Helander, M.G. and M.H. Karwan.  
*Methods for field evaluation of safety in a robotics workplace.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I*. Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 403-410.
- [Hoefnagels-1988] Hoefnagels, W.A.M.  
*Preventie robotongevallen: Bijdrage aan de Studiedag Robotveiligheid 1988.*  
Vakgroep Veiligheidskunde, TU Delft, 22 september 1988.
- [IME-1982] Institution of Mechanical Engineers.  
*Getting robots and automation systems to work: Appraisal, installation, maintenance and safety.*  
Seminar organised by the IME. London, 1 nov. 1982.  
London: MEP, 1982.

- [Karwowski-1988] Karwowski, W. et al.  
*Human perception of the work envelope of an industrial robot.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I.* Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 421-428.
- [Kemmer-1984] Kemmer, K.H.  
*Arbeitsicherheit beim Einsatz von Industrie-Robotern.*  
Fachausschluss Eisen und Metal II, W.T. Römheld Strasse 15, 6500 Mainz-Weisenau, September 1984.
- [Kuivanen-1988] Kuivanen, R.  
*Experiences from the use of an intelligent safety sensor with industrial robots.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I.* Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 553-558.
- [Linger-1987] Linger, M.  
*Robot safety - Are robots safe ? : A Manual on the art of creating safe, practical workplaces in FMS-Systems.*  
Göteborg, Mölndalsvägen 85, S-41285: IVF, 1988.
- [M.T.T. Association-1982] Machine Tool Trades Association, The.  
*Safeguarding industrial robots: Part 1 Basic Principles.*  
M.T.T.A., Bayswater road 62, London W2 3PH, 1982.
- [Melgers-1988] Melgers, Th.J.W.P.  
*Flexibele automatisering (robots) en veiligheid.*  
Bureau Veiligheid en Milieu, TU Eindhoven, januari 1988.
- [Nagamachi-1988] Nagamachi, M.  
*Ten fatal accidents due to robots in Japan.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I.* Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 391-396.
- [Nanthavanij-1988] Nanthavanij, S. and Abdel-Malek, L.  
*Ergonomic evaluation of safety devices in robotic systems.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I.* Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 753-759.
- [Odendaal-1990] Odendaal, J.H.  
*Veiligheids-, gezondheids- & milieu-zorg bij lasprocessen.*  
Vakgroep Productie Technologie en Automatisering, TU Eindhoven, juni 1990.
-

- [Parsons-1988] Parsons, H.M.  
*Some recent documentation on robotic safety from Sweden.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I.* Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 397-402.
- [Ryan-1988] Ryan, J.P.  
*Safety considerations in robot design.*  
In: *Ergonomics of Hybrid Automated Systems I.* Proc. 1st. Int. Conf., Louisville, 15-18 august 1988. Edited by W. Karwowski. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 483-490.
- [Segantini-1990] Segantini, E.  
*Safety in the use of robots.*  
TE International, Vol. 14, No. 5, Sept.- Oct. 1990, p. 72-77.
- [Strand-1990] Strand, U. et al.  
*Safer robot welding stations: Safety a standard feature of the new generation of the esab orbit system.*  
Svetsaren (Engl. Ed.), No. 2, 1990, p. 23-26.
- [Vakgroep Veiligheid Robotica-1985] Vakgroep Veiligheid Robotica.  
*Robot en veiligheid: Informatie voor veiligheidskundigen en bedrijfsleiders.*  
Nederlandse Vereniging van Veiligheidskundigen, Amsterdam / Rotterdam, 12 juni 1985.

ARTIKEL UIT JAPAN

# Robot Murders On Rise Over The Past 8 Years

Ten people have been killed by industrial robots over the past eight years, some under unusual circumstances, a Labor Ministry report revealed Tuesday.

Four of the deaths were the result of operational errors made by the staff, but the remaining cases were caused by robots which suddenly started working, crushing their victim with their arms.

In addition, the ministry reports that five or six people are injured every year by robots in similar incidents while there have been many other reports of close calls.

As a result of the accidents,

and considering that industrial robots have become such a vital part of factory operations in Japan, the Labor Ministry is to begin studying the reasons why a machine will unexpectedly go into action of its own accord and find ways to bring such causes under control.

The first death by an industrial robot was in October 1978 when an employee in a machine making factory in Osaka was crushed by a robot from behind.

Since then nine other deaths have occurred. Six of them were brutal "murders" in which the robot reached over with its arm crushing the victim's head or

body without having been instructed to move by its operator.

At present the safety division of the ministry is at a loss as to how to control accidents caused by the sudden movement of robots.

The most likely cause, experts say, is the phenomenon of "nise," whereby electromagnetic waves in the factory activate a robot's electronic circuits setting it into motion.

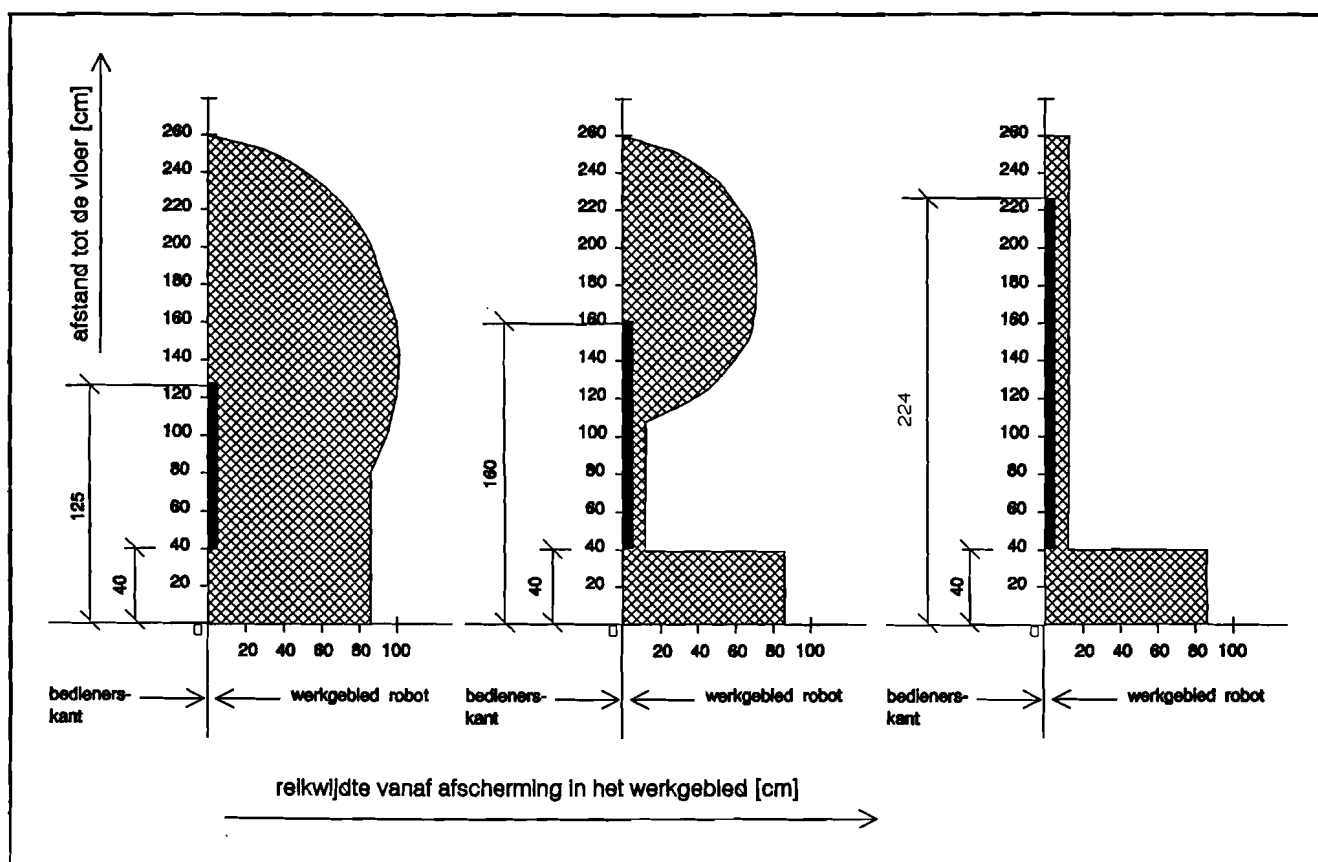
But there is no way of checking whether or not this was the cause of a particular accident because it is impossible to reproduce exactly the same conditions in the factory at the time of the accident.

According to the Japan Industrial Robot Association based in Tokyo, there are 80,000 to 100,000 industrial robots presently employed in factories across the country, and their numbers are increasing in spite of a decrease in industrial output. The ministry is concerned that the more robots employed, the greater the potential for accidents.

In studying ways to combat the robot murders, the ministry is to spend two years questioning factory workers and investigating the locations where robots are placed and the internal environments of factories with the aim of finding a solution to the problem as soon as possible.

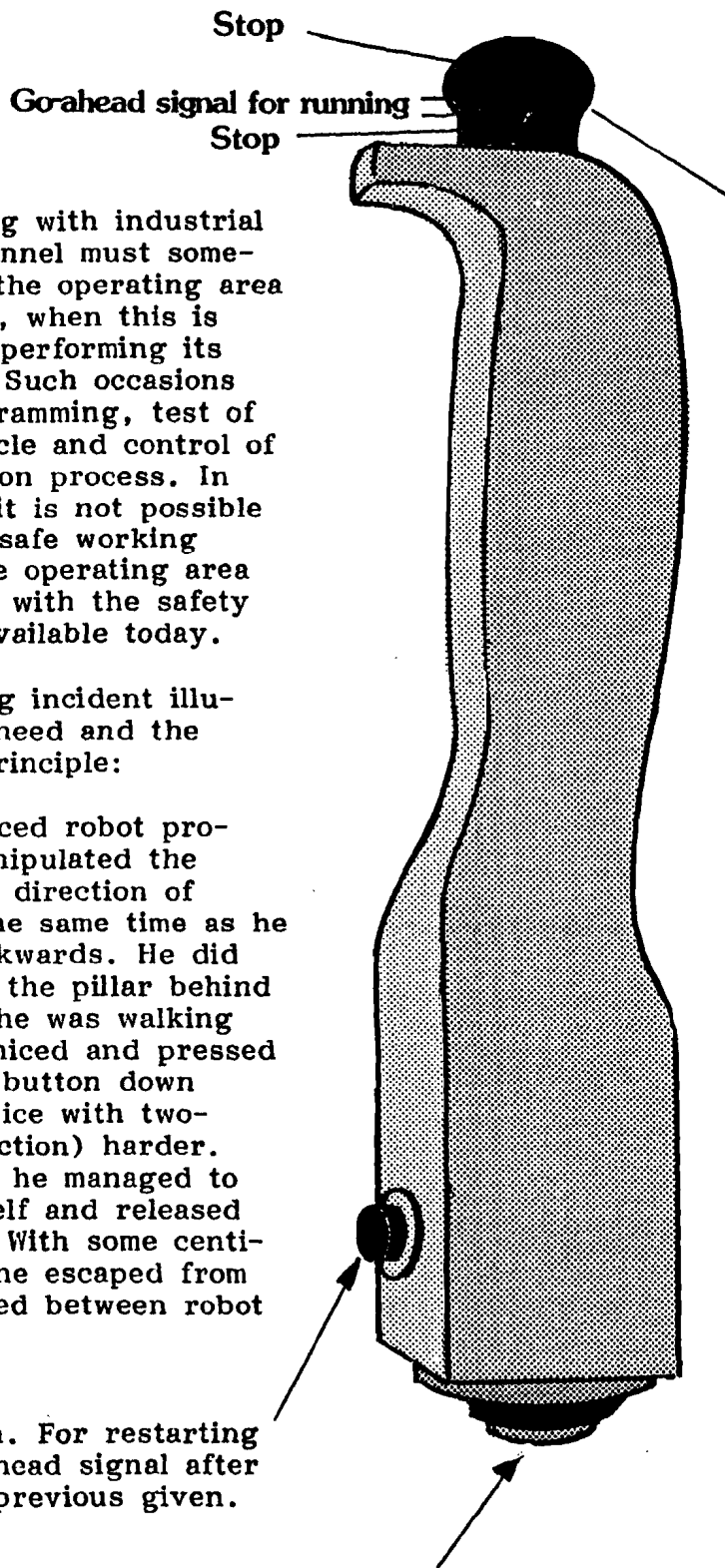
REIKWIJDTE OPERATOR BIJ VERSCHILLENDE HOOGTE VAN HEKWERK

In onderstaande figuur is te zien wat de reikwijdte van de operator is in het werkgebied van de robot bij verschillende hoogte van het hekwerk. Hierbij staat het hekwerk steeds 400 mm boven de vloer. De begazing is gemaakt van staaldraad van rond 3 mm en heeft een maaswijdte van 30 x 30 mm (standaardhek).



Figuur 9. De reikwijdte van de operator bij verschillende hoogte van het hekwerk. [Breuer-1983]

## The three-position control device



When working with industrial robots personnel must sometimes be in the operating area of the robot, when this is operated or performing its work cycle. Such occasions can be programming, test of the work cycle and control of the production process. In many cases it is not possible to build up safe working places in the operating area of the robot with the safety equipment available today.

The following incident illustrates the need and the functional principle:

An experienced robot programmer manipulated the robot in the direction of himself at the same time as he stepped backwards. He did not observe the pillar behind him, which he was walking into. He panicked and pressed at first the button down (control device with two-position function) harder. Just in time he managed to collect himself and released the button. With some centimeters left he escaped from being pressed between robot and pillar.

Extra button. For restarting at new go-ahead signal after stop signal previous given.

Connecting contact

Button in middle position gives go-ahead signal for running robot/machinery.

Button fully released or fully pressed (panic situation) stops robot/machinery.

The stop signals are duplicated and monitored against short circuits, according to the recommendations of the labour welfare authorities.

This device developed by IVF and Liros Elektronik, is intended to be used as personnel guard in hazardous spaces, where other guards are not useful, e.g. when programming and controlling industrial robots.

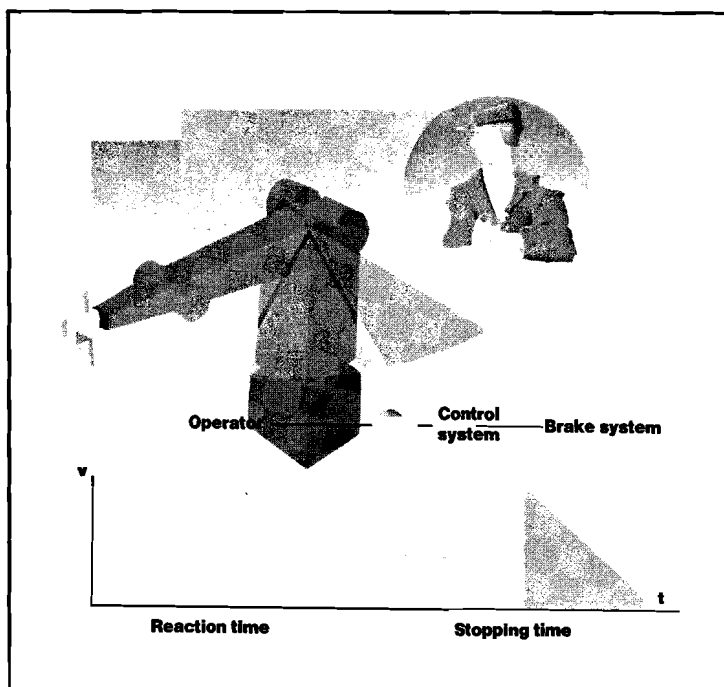
The control device can be used separately or mounted to a programming unit.

Patent applied for.

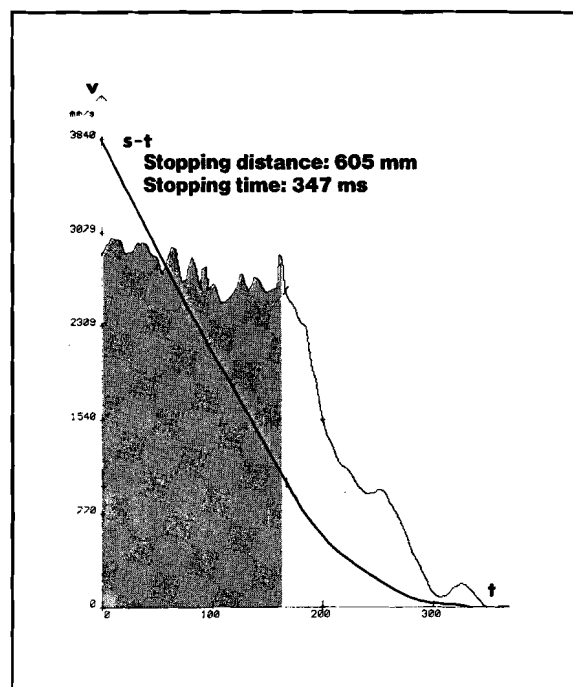
## DE STOPAFSTAND VAN EEN ROBOT

De stopafstand van een robot wordt door de volgende factoren bepaald. De stopafstand van de robot = de gemiddelde snelheid waarmee de robot beweegt \* de tijd die nodig is om de robot te stoppen. Deze stoptijd wordt bepaald door: de reactiesnelheid van de operator, de reactietijd van de elektronische stopschakelingen, en de remtijd die nodig is om de robot te stoppen nadat de remmen zijn ingeschakeld.

De reactietijd van een getraind persoon ligt tussen de 0.3 en 1 seconde en moet verder als gegeven worden beschouwd. De reactietijd van de elektronische schakelingen en de remtijd van de robot zijn wel te beïnvloeden. Er valt hierbij te denken aan resp. het toepassen van eenvoudige, kwalitatief goede schakelingen en licht construeren. Hierbij heeft verkorten van de reactietijd van de elektronische schakelingen het meeste effect, omdat gedurende dit tijd-traject de robot nog met de hoge ongeremde snelheid beweegt (zie figuur 10).



Figuur 10. De verschillende tijdsintervallen die van invloed zijn op de stopafstand van de robot. [Linger-1987]



Figuur 11. V-t diagram van een robot met een lange stopafstand. [Linger-1987]



In figuur 11 is het v-t diagram te zien van een robot met een lange stopafstand. Zoals uit de figuur blijkt wordt 80% van de totale stopafstand bepaald door de tijdsvertraging in de elektrische circuits voordat de remmen worden ingeschakeld.

De maximaal toelaatbare snelheid tijdens programmeren kan bepaald worden aan de hand van de totale stopafstand bij deze snelheid en de optimale kijkafstand. In Japan wordt, uitgaande van een optimale kijkafstand van 200 tot 300 mm, een maximale snelheid van 140 mm/s voorgeschreven.

Kontrolelijst Veiligheid, Milieu en Ergonomie t.a.v. robotsToepassing

De controlelijst moet worden toegepast bij het opstellen van de order-specificatie, aanschaf en afname van robotinstallaties.  
 Tevens bij het wijzigen van bestaande installaties.

Opmerkingen

1. Algemeen

1. 1. In welke omgeving moet het systeem geplaatst worden:
  - Brandgevaarlijke ruimte?
  - Ruimte waar extreme temperaturen kunnen heersen?
  - Ruimte met korrosieve dampen?
  - Ruimte met stof- of rookproblemen?
  - Ruimte met veel trillingen of lawaai?
1. 2. Behandelt de robot gevaarlijke produkten?  
 Zijn de noodvoorzieningen voldoende bestand tegen dit verhoogde risico?
1. 3. Werkt de robot:
  - Hydraulisch?
  - Elektrisch?
  - Pneumatisch?
1. 4. Wat is de maximum bewegingssnelheid van de robot?
1. 5. Hoe hoog is de veilige werkbelasting van de robot?  
 Is die duidelijk aangegeven op de robotarm?
1. 6. Kan de energie van de robot gereduceerd worden als iemand binnen de werkingszone van de robot komt?  
 Zo ja, hoe wordt dit gerealiseerd?
1. 7. Kan de robot mechanisch vergrendeld worden aan de uiteinden van de gewenste beweging?
1. 8. Als de bewegingssnelheid beperkt wordt, gebeurt dit dan door:
  - Reduktie van de primaire stroombron? (Voorkeur).
  - Controlecircuits?
1. 9. Kan de aanwezigheid van personen binnen de werkingszone van de robot gedetekteerd worden d.m.v. sensors?
- 1.10. Is een risico-analyse gemaakt van het falen van de verschillende robotonderdelen? (B.v. kleppen met geprogrammeerde beweging, loslaten van klemmen, wijzigen van snelheid).
- 1.11. Is het geheugen beschermd tegen stroomstoringen?
- 1.12. Kan elk veiligheidssysteem beproefd en gecontroleerd worden?
- 1.13. Is er in de robotinstallatie energie opgeslagen?  
 (Lucht- en oliedrukreservoirs).

2. Software

2. 1. In welke vorm wordt het programma opgeslagen?
2. 2. Worden er meerdere programma's tegelijk in het geheugen opgeslagen?
2. 3. Hoe is de beveiliging tussen de programma's verzekerd?
2. 4. Hoe worden programma's gewisseld?  
 Welke fouten kunnen daarbij gemaakt worden?
2. 5. Welke dokumentatie is beschikbaar voor het opnemen en wijzigen van programma's?
2. 6. Gebeurt het programmeren met een mobiele teach-control?  
 Zo ja, voldoet deze aan de ergonomische normen?  
 Zijn de knoppen duidelijk gemerkt en voldoende gescheiden, zodat fouten hierdoor worden voorkomen?

2. 7. Wordt bij gebruik van de teach-control automatisch de bediening van de hoofdunit weggenomen?
2. 8. Kan m.b.v. de teach-control een volledige cyclus gestart worden?
2. 9. Is de teach-control uitgevoerd met een dodemansknop?
- 2.10. Wordt de werking van de robot beperkt als hij op "teach" wordt geschakeld?  
Zo ja, hoe is dit uitgevoerd?
- 2.11. Bevat de software specifieke veiligheidsinterlocks?  
Zo ja, welke?
- 2.12. Worden programma-checksystemen gebruikt tijdens het testen en tijdens normale werking van de robot?
- 2.13. Welke informatie toont de robot?  
Hoe wordt die informatie weergegeven?
- 2.14. Is er een schatting gemaakt van het effect van gegevensverlies tijdens de informatie-overdracht?
- 2.15. Kan de robotarm zich bewegen tussen 2 punten via een ongedefinieerde weg?

### 3. Inrichting van de werkplek

3. 1. Zijn de beveiligings- c.q. constrolesystemen beveiligd tegen elektrische storingen?
  - Zijn er storingen mogelijk aan de hoofdvoeding?
  - Wat zijn de effecten van schommelingen in de voeding?
  - Wat zijn de gevolgen van de aanwezigheid van elektromagnetische c.q. elektrostatische velden?
  - Wordt de stroomvoorziening gefilterd?
3. 2. Kunnen personen die niet direkt betrokken zijn bij de werking van de robot binnen de bewegingszone komen?
3. 3. Welke maatregelen zijn gewenst voor een adequate beveiliging van de robot en zijn gegevens, tegen toevallige of opzettelijke akties?
3. 4. Zijn er in de bewegingszone obstakels aanwezig in combinatie met de robotarm die knelgevaar kunnen opleveren?
3. 5. Worden er speciale gevaren geïntroduceerd bij het plaatsen van de robot en bijbehorende machines?
3. 6. Voorkomt een omsluitend hekwerk te verwachten ongevallen? (Uitgooien materiaal, lasspatten, U.V.-licht, knelpunten e.d.).
3. 7. Heeft het plaatsen van de robot invloed op beveiligingen van bijbehorende machines (transportband)?
3. 8. Welke schattingen zijn gemaakt met bijbehorende machines en hoe worden de beveiligingen bediend?

### 4. Programmering, bediening, onderhoud

4. 1. Wie moet toegang hebben tot de bewegingszone van de robot:
  - Programmeurs?
  - Onderhoudsmensen?
  - Bedieningsmensen?
  - Anderen?
4. 2. Is er een inventaris gemaakt van activiteiten die in de bewegingszone moeten plaatsvinden?  
Is er aangegeven welke personen welke activiteiten doen?  
Hebben die personen specifieke instructies?
4. 3. Kan bij toepassing van een "techarm" de robotenergie uitgeschakeld worden?

Opmerkingen

4. 4. Is er een inventaris gemaakt van mogelijke gevaren en/of foute werking van of door robot?
  - Wat is het gevolg van stroomonderbreking?
  - Welke ongevallen kunnen er plaatsvinden?
  - Kan de robotenergie worden verminderd als iemand de bewegingszone binnengaat?
  - Houden de klemmen het werkstuk vast i.g.v. noodstop of stroomonderbreking?
  - Is het mogelijk het signaal "hold in laatste stand" te overbruggen?
4. 5. Hoeveel personen hebben bevoegdheid tot het laden en/of wisselen van programma's?
4. 6. Welke instructies krijgen die personen?
4. 7. Zijn de programmaprocedures doorgelicht op veiligheidsaspecten?
4. 8. Is er visuele controle nodig in de bewegingszone tijdens de werking van de robot?
4. 9. Worden er "dry runs" uitgevoerd?
- 4.10. Welke beveiligingen zijn er overwogen:
  - Reducerende kracht c.q. snelheidsbeveiligingen?
  - Interlocks?
  - Vaste afschermingen?
  - Drukmatten?
  - Lichtschermen?
  - Andere beveiligingen?