

## Literatuurstudie naar richtelementen in trilvoeders

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

Gorissen, E. G. (1991). *Literatuurstudie naar richtelementen in trilvoeders*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1183). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1991

***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.

**Literatuurstudie naar richtelementen  
in trilvoeders.**

Door: E.G. Gorissen

Rapportnummer: WPA-1183

Verslag: Literatuurstudie  
Afstudeerhoogleraar: Prof. ir. J.M. van Bragt  
Coach: Ir. A.T.J.M. Smals

Eindhoven, oktober 1991

# Samenvatting

Toevoersystemen vormen een belangrijke schakel in de hedendaagse produktiesystemen. Het succes van flexibele automatisering zou zelfs in belangrijke mate af kunnen hangen van het juist toevoeren en richten van produkten. Trilvoeders nemen binnen de groep van toevoerinrichtingen een belangrijke plaats in. Ze zijn er in twee soorten: in lineaire en ronde vorm, waarvan de laatste uitvoering het meest toegepast wordt, omdat de ronde trilvoeder over een kleine voorraadbuffer beschikt.

Trilvoeders worden voorzien van richtsystemen, zodat produkten, die aan de trilvoeder toegevoerd worden, deze allen met dezelfde oriëntatie verlaten. Zo'n richtsysteem is opgebouwd uit richtorganen, die elk hun eigen invloed op de oriëntatie van het produkt uitoefenen. Door verschillende onderzoekers zijn modellen opgesteld voor deze richtsystemen. Met deze modellen is het mogelijk om een computer het systeem, dat de hoogste efficiency heeft, uit te laten rekenen. Dit optimale systeem kan vervolgens in de trilvoeder aangebracht worden.

Het gebruik van vision systemen is een nieuwe trend in de toevoertechiek. Een vision systeem kan de oriëntatie van een produkt herkennen en deze vergelijken met de gewenste oriëntatie, die in een computergeheugen opgeslagen is. Het voordeel hiervan is dat zo'n systeem zeer veel verschillende produkten kan verwerken. Steeds meer bedrijven gaan over op flexibele productie-automatisering en de verwachting is dan ook dat vision systemen in de toekomst meer en meer toegepast gaan worden als het om het richten (in dit geval selecteren) van produkten gaat.

# Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Inleiding	3
1.1 Toevoeren	3
1.2 De opdracht	4
2. Toevoerinrichtingen	5
3. Trilvoeders	7
4. Analyse van richtsystemen	9
4.1 Produktcodeersystemen	9
4.2 Het richtsysteem	11
4.2.1 Model van een richtsysteem	11
4.2.2 Vereenvoudigd model van een richtsysteem	14
4.2.3 Voorbeeld van een richtsysteem	16
4.3 Optimaliseren	17
4.4 Stabiele evenwichtstoestanden	18
5. Nieuwe richtsystemen	20
5.1 Instelbare richtsystemen	20
5.2 Vision systemen	21
5.3 Richten zonder richtorganen	22
6. Conclusies	24
Literatuurlijst	25
Bijlagen	27
1. Produktcodeersysteem van Smals	27
2. Produktcodeersysteem van Boothroyd	30
3. Woordenlijst	32
4. De gevolgde werkwijze tijdens het literatuuronderzoek	33
5. Geraadpleegde literatuur die niet in de literatuurlijst voor komt	35

## Hoofdstuk 1

# Inleiding

### 1.1 Toevoeren

Bij het vervaardigen van produkten zijn er een aantal produktiefactoren van belang: arbeid, kapitaal, grondstoffen en informatie. Hierbij wordt er van uit gegaan dat de produkten door mensen gemaakt worden. Het belang van de factor arbeid neemt echter continu af. Een groeiend aantal produktieprocessen wordt geautomatiseerd. Voor degenen die zich bezig houden met bedrijfsmechanisatie is het dan ook belangrijk om de factoren kapitaal en grondstoffen zo efficiënt mogelijk te combineren, waarbij kapitaal in machines vertaald mag worden en grondstoffen in uitgangsmateriaal en halffabrikaten/componenten/onderdelen opgesplitst kunnen worden.

Machines kunnen natuurlijk eindprodukten voortbrengen, maar vaak produceren zij slechts onderdelen. Deze onderdelen kunnen dan samen met andere onderdelen tot één produkt samengesteld worden. Deze samenstelling kan natuurlijk ook weer door een machine gemaakt worden. Voorwaarde is dan echter wel dat deze machine de onderdelen op de juiste tijd en plaats en in de juiste oriëntatie aangeboden krijgt.

Het belang van correct toevoeren is al sinds het ontstaan van de massafabricage bekend. Er is dan ook veel geld en moeite gestoken in de ontwikkeling van goede toevoersystemen. De logistiek bij massafabricage is echter relatief eenvoudig, omdat steeds dezelfde onderdelen toegevoerd worden. Daarom zal een eenmaal ontwikkelde - produktafhankelijke - voeder dan ook lange tijd kunnen functioneren.

De laatste jaren worden echter veel produkten, die vroeger in massa's gemaakt werden, in series vervaardigd. Dit, om aan de vraag van de consument, naar een steeds groter wordende diversiteit in produkten, te kunnen voldoen. Hiertoe dienen produktiesystemen flexibeler te worden. Dit betekent dat ook de toevoersystemen flexibeler moeten worden. Ze worden geacht geschikt te zijn voor meerdere produkttypes.

Het ontwerpen van dergelijke toevoersystemen blijkt echter niet eenvoudig te zijn. De flexibiliteit in toevoerinrichtingen is vaak nog ver te zoeken. Toch is het voor de geautomatiseerde assemblage van groot belang dat deze problemen opgelost worden, hetgeen blijkt uit het volgende citaat:

*The most difficult assembly problem continues to be parts feeding and orienting. Parts feeding and orienting is still something of a "black art". Whether or not programmable assembly devices succeed could very well be determined by the succes or failure of parts feeding and orienting mechanisms.*

[Beecher, 1979, p. 143]

## **1.2 De opdracht**

In het kader van deze literatuurstudie is onderzocht wat er de laatste jaren (lees: na ± 1985) gepubliceerd is over richtorganen in trilvoeders. In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd waarom juist trilvoeders zo belangrijk zijn in de geautomatiseerde assemblage. In hoofdstuk 3 wordt de trilvoeder globaal besproken, waarna in hoofdstuk 4 één onderdeel van de trilvoeder, namelijk het richtsysteem geanalyseerd wordt. Tot slot wordt in hoofdstuk 5 nog heel kort op andere richtprincipes, die nauw verbonden zijn met het richten in een trilvoeder, ingegaan.

# Toevoerinrichtingen

Het toevoeren van onderdelen betekent in een assemblage-omgeving in feite niets anders dan dat onderdelen, naast op de juiste tijd en plaats, in de juiste oriëntatie aan een montage apparaat aangeboden worden. Deze montage-eenheid kan een machine, maar ook een robot zijn. De onderdelen kunnen door een machine gemaakt zijn, en deze machine kan de produkten vaak één voor één en allen in dezelfde oriëntatie afleveren. In principe kan dus de oriëntatie tussen de machines, die de onderdelen fabriceren, en de machine die de onderdelen assembleert, gehandhaafd blijven. Voor het toevoeren zijn er nu een aantal mogelijkheden [Automated assembling - orientating mechanisms and escapements - part 2, 1968, p. 1]:

## 1. Toevoeren met behoud van oriëntatie.

- a. Vanaf de fabricageplaats de onderdelen direct aan de montageplaats toevoeren.
- b. Op een drager (bijv. plakband) de oriëntatie van onderdelen vasthouden.
- c. Oriëntatie in magazijnen vasthouden (op bijv. pallets).

## 2. Toevoeren zonder behoud van oriëntatie.

- a. Bulkopslag.

Nu is het natuurlijk zo dat mogelijkheid 1a niet altijd te realiseren is. De fabricageplaats van onderdelen kan namelijk zeer ver verwijderd zijn van de montageplaats (andere afdeling, fabriek, land, werelddeel). Alternatieven 1b en 1c kunnen zeer hoge kosten met zich meebrengen, doordat opslag met behoud van oriëntatie vaak om meer opslagruimte vraagt.

Om deze redenen is bulkopslag dan ook nog steeds een veel toegepaste methode. Dit betekent echter wel dat de onderdelen eerst uit de bulk afgezonderd moeten worden en een bepaalde oriëntatie moeten krijgen vóór ze aan de montagemachine toegevoerd kunnen worden. Voor dit probleem zijn in de loop der

jaren verschillende voedertypen ontwikkeld. Deze voeders zijn in grofweg zes categorieën in te delen [Castelij, 1990]:

1. Schijfvoeders.
2. Trommelvoeders.
3. Band- of kettingvoeders.
4. Voeders met heen- en weer gaande beweging.
5. Trilvoeders, in lineaire en ronde uitvoering.
6. Diverse soorten, die niet in andere categorieën zijn onder te brengen.

In *Toevoerinrichtingen* [Smals, 1981] en *Literatuuronderzoek naar voedertypen voor kleine discrete produkten* [Castelij, 1991] worden een groot aantal voorbeelden van bovenstaande typen genoemd. Uit alle literatuur blijkt echter dat categorie 5 het meest toegepast wordt. In *An introduction to mechanical assembly* [Tipping, 1969, p. 79] wordt dit als volgt onder woorden gebracht:

*There are more proprietary vibratory feeders than any other type. They have become the general "maid of work" and although they are not ideal for many components there are few which cannot now be handled by this means. As this is, perhaps, the most important feeder by reason of its widespread use we should look at some of the characteristics of the type.*

In hoofdstuk 3 worden trilvoeders nader besproken.



## Hoofdstuk 3

# Trilvoeders

Trilvoeders zijn er in twee verschillende uitvoeringsvormen: ronde trilvoeders en lineaire trilvoeders. De laatste groep bestaat uit een rechte goot, die door middel van schuinstaande bladveren met een kontra-massa verbonden is. De goot wordt door een elektromagneet in trilling gebracht. producten die in de goot liggen zullen door de schuine stand van de veren in één richting gaan bewegen. In de goot kunnen bepaalde richtorganen aangebracht worden, die er voor zorgen dat de produkten een zekere gewenste oriëntatie hebben bij het verlaten van de goot. Het nadeel van de lineaire uitvoering is echter dat deze trilvoeder geen buffer voor produkten heeft.

De meest voorkomende uitvoering, de ronde trilvoeder, heeft wel een kleine buffer. Het werkingsprincipe van beide uitvoeringsvormen is gelijk. De ronde trilvoeder is schematisch weergegeven in figuur 3.1.

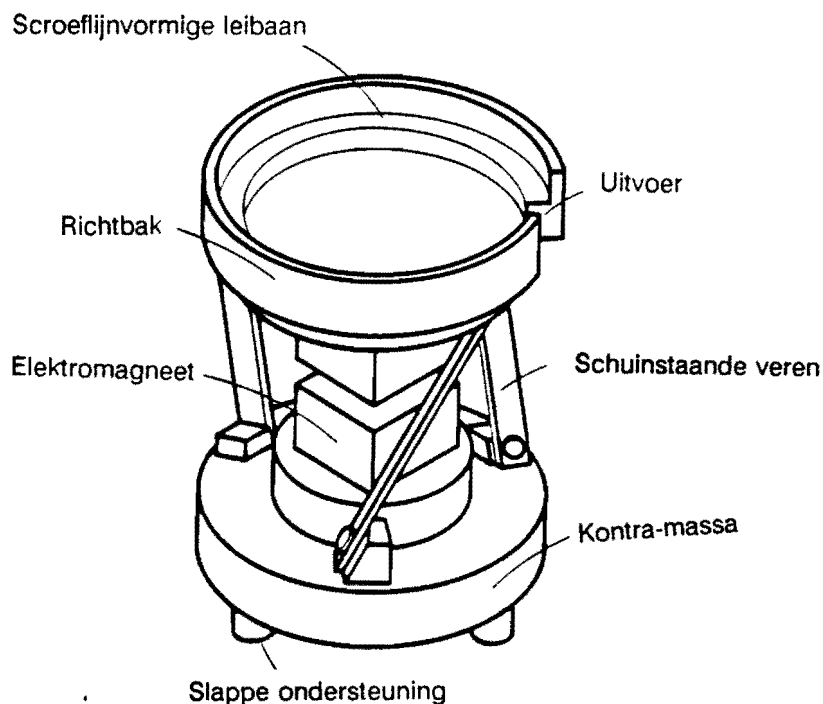
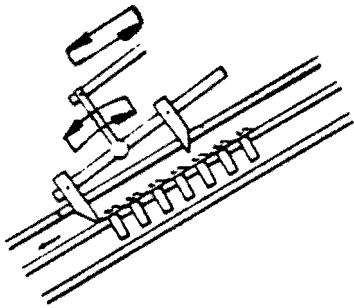


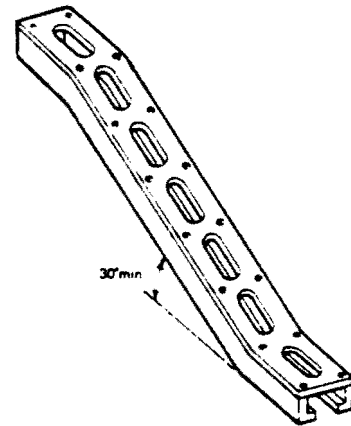
Fig. 3.1: Ronde trilvoeder [Boothroyd, 1982, p. 28].

De onderdelen die op de bodem van de richtbak liggen zullen door de trillingen via de schroeflijnvormige leibaan omhoog klimmen. Op de leibaan kunnen richtorganen geplaatst worden, zowel binnen als buiten de trilvoederbak. De richtorganen zijn onder te verdelen in twee soorten: actief en passief. Een passief richtorgaan zorgt er voor dat een produkt weer in de richtbak terugvalt als het niet de gewenste oriëntatie heeft. een actief richtorgaan tracht de oriëntatie van een produkt zodanig te verdraaien tot de gewenste oriëntatie ontstaat. Vaak zijn hiervoor echter meerdere richtorganen nodig.

Na het verlaten van de trilvoeder vormen de produkten een aaneengesloten rij. Uit deze rij moet het gewenste aantal (meestal één) onderdelen aan de montagemachine toegevoerd worden. De onderdelen worden uit de rij losgemaakt door een zogenaamd afzondermechanisme (zie figuur 3.2). Vervolgens verlaten zij het toevoersysteem in een afvoergoot, die het produkt naar de gewenste plaats bij de montagemachine brengt (zie figuur 3.3).



*Fig. 3.2: Voorbeeld van een afzondermechanisme [Smals, 1981, p. 22].*



*Fig. 3.3: Voorbeeld van een afvoergoot [Smals, 1981, p. 10].*

De volgende twee hoofdstukken behandelen de richtorganen van een trilvoeder. Hoofdstuk 4 analyseert een richtsysteem en hoofdstuk 5 behandelt nieuwe richtsystemen.

# Analyse van richtsystemen

## 4.1 Produktcodeersystemen

Toevoersystemen zijn meestal produktgebonden. Dat wil zeggen dat een bepaald type voeder slechts een beperkt aantal gelijksoortige produkten kan verwerken. Als men dus een bepaald produkt toe wil voeren, dan zal daarvoor de meest geschikte voeder gezocht moeten worden, met de voor dat produkt benodigde richtorganen. Het is dan noodzakelijk om het produkt eerst in een bepaalde produktgroep te plaatsen. Hiertoe zijn door verschillende onderzoekers produktcodeersystemen ontwikkeld. Twee van deze systemen zullen nu kort besproken worden.

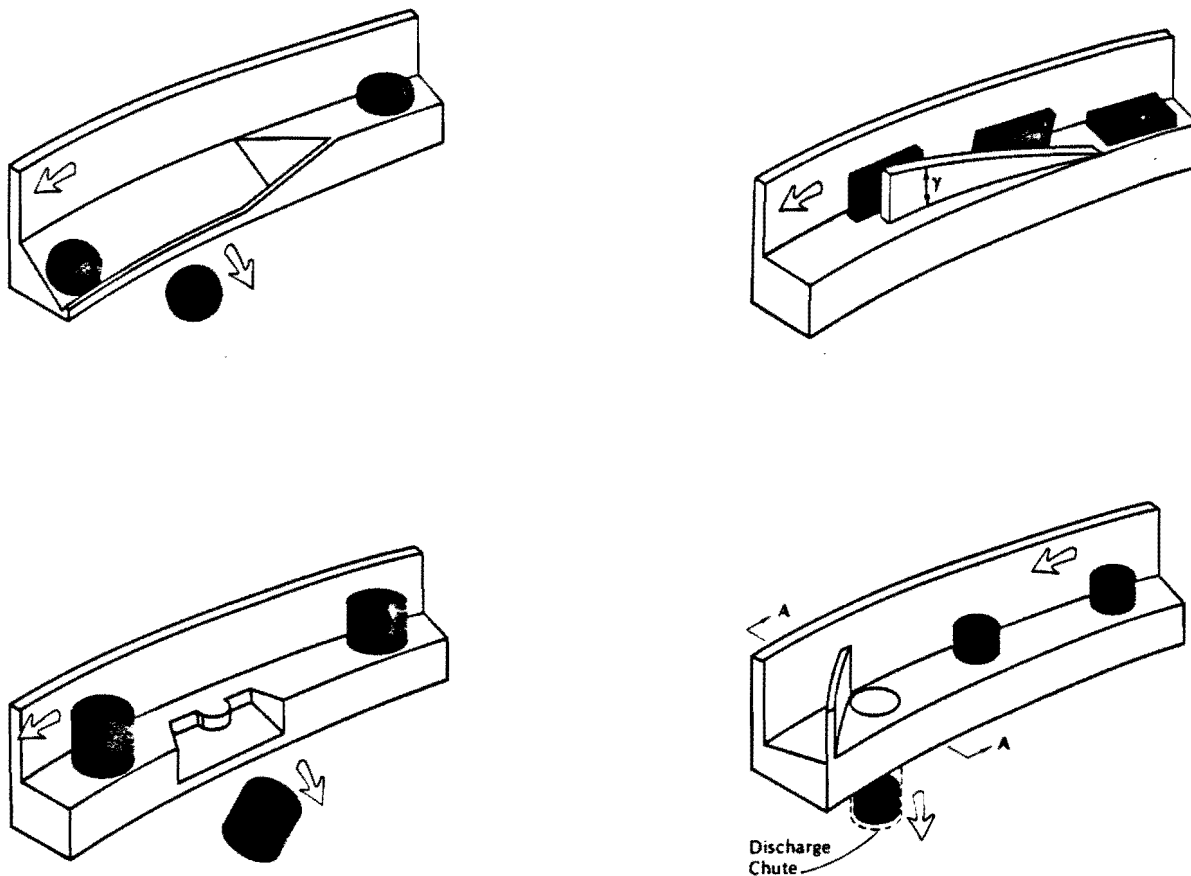
Het systeem van Smals in *Toevoerinrichtingen* [Smals, 1981, p. 28-33] is gebaseerd op het feit dat met een onderdeel, dat meer symmetrie in zich heeft, minder richtoperaties uitgevoerd hoeven te worden. Onderdelen worden verdeeld in zes groepen en elke groep wordt weer verdeeld in subgroepen. De subgroep geeft aan hoe groot de staphoek is, die bij verdraaiing om een kenmerkende as van het onderdeel, weer dezelfde oriëntatie oplevert:

- R1 = rotatie om een kenmerkende as over  $2\pi$  radialen.
- R2 = rotatie om een kenmerkende as over  $\pi$  radialen.
- |
- R $\infty$  = rotatie om een kenmerkende as over  $\infty$  radialen.

De subgroepen zijn - met voorbeelden - weergegeven in bijlage 1. Als de subgroep, waartoe een onderdeel behoort, bekend is, dan kunnen aan de hand daarvan de benodigde richtoperaties geformuleerd worden en deze kunnen vervolgens gebruikt worden om de juiste richtorganen uit te zoeken.

Ook het systeem van Boothroyd in het *Handbook of feeding and orienting techniques for small parts* [Boothroyd, 1979] gaat uit van enkele symmetrie-eigenschappen, maar de codering komt voornamelijk tot stand door aan ieder produkt een zo goed mogelijk passende omhullende toe te kennen. Deze

omhullende kan gevonden worden door gebruik te maken van coderingstabellen, waarin iedere omhullende een driecijferige code krijgt (zie bijlage 2). Met deze code kan in de bijgeleverde standaardbladen een voeder uitgekozen worden. Daarnaast is het *Handbook* behulpzaam bij het uitzoeken van richtorganen, door een groot aantal voorbeelden van richtorganen in de vorm van standaardbladen te geven. In figuur 4.1 staan een aantal van deze richtorganen.



*Fig. 4.1: Voorbeelden van richtorganen [Boothroyd, 1979].*

In principe kan nu het toevoer-probleem opgelost worden. Er wordt hier echter uitgegaan van het meest ideale geval. De coderingstabellen geven namelijk al aan dat sommige produkten niet, of zeer moeilijk, toe te voeren zijn. In deze gevallen zou echter nagegaan kunnen worden of het produkt zodanig gewijzigd kan worden, dat het wel toe te voeren is.

## 4.2 Het richtsysteem

### 4.2.1 Model van een richtsysteem

Een richtsysteem bestaat uit een aaneenschakeling van meerdere richtorganen. Het meest voorkomende systeem is een serieschakeling, maar uit *Models of part orienting systems* [Yeralan, 1986] blijkt dat er meer mogelijkheden zijn. Yeralan zet het volgende model op:

Een verbinding tussen twee richtorganen wordt een link genoemd. Het model is gebaseerd op kansrekening:

$$X_{n,k} = i$$

Gebeurtenis  $X_{n,k} = i$  is de doorsnijding van twee andere gebeurtenissen: het produkt  $n$  passeert link  $k$  en produkt  $n$  heeft oriëntatie  $i$  op link  $k$ .

$$b_{n,k} = (P[X_{n,k}=1], P[X_{n,k}=2], \dots, P[X_{n,k}=i], \dots, P[X_{n,k}=m])$$

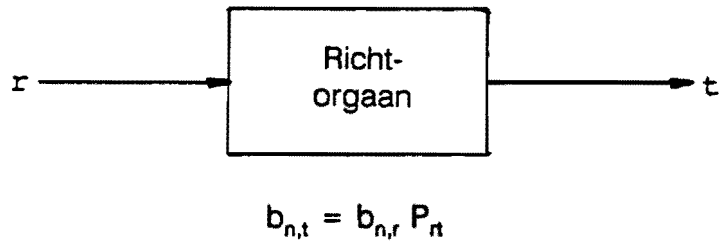
Het  $i$ -de element van vector  $b_{n,k}$  is de kans dat produkt  $n$  door link  $k$  gaat en dat produkt  $n$  de oriëntatie  $i$  heeft als het door link  $k$  gaat.

$$P_{ij}^{rs} = P[X_{n,s}=j/X_{n,r}=i] \quad \text{voor elke } n$$

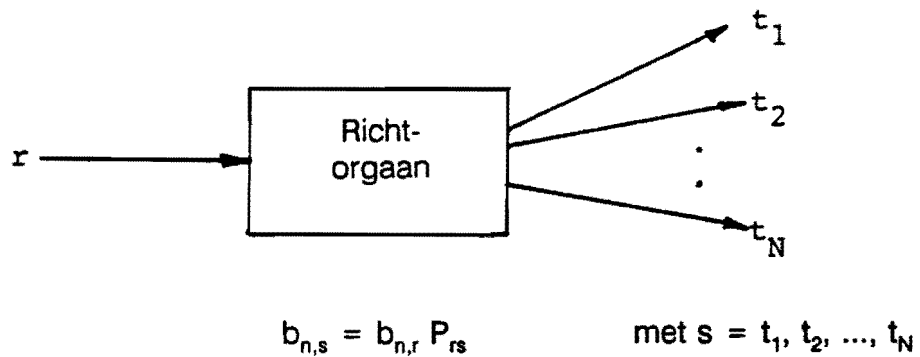
De overgangs - kans matrix  $P_{rs} = \{ p_{ij}^{rs} \}$  legt het verband tussen de twee kansvectoren  $b_{n,s}$  en  $b_{n,r}$ .

Er zijn drie soorten richtorganen te onderscheiden:

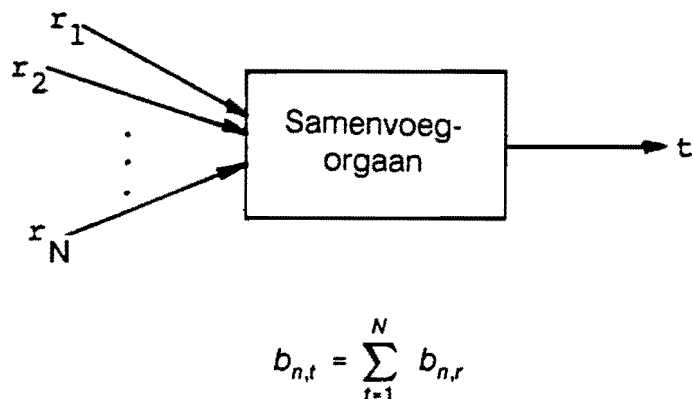
A) Eén ingang en één uitgang.



B) Eén ingang en meerdere uitgangen.



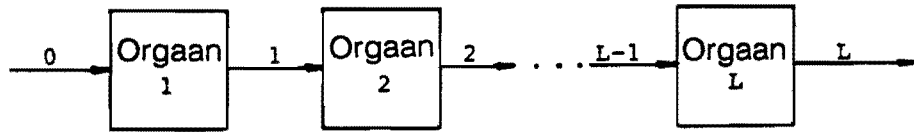
C) Meerdere ingangen en één uitgang.



Meerdere ingangen en één uitgang worden gebruikt om de uitgangsstromen van verscheidene richtorganen samen te voegen. De oriëntatie van de produkten verandert dus niet !

Met deze drie richtorganen zijn de volgende drie basisrichtsystemen te bouwen:

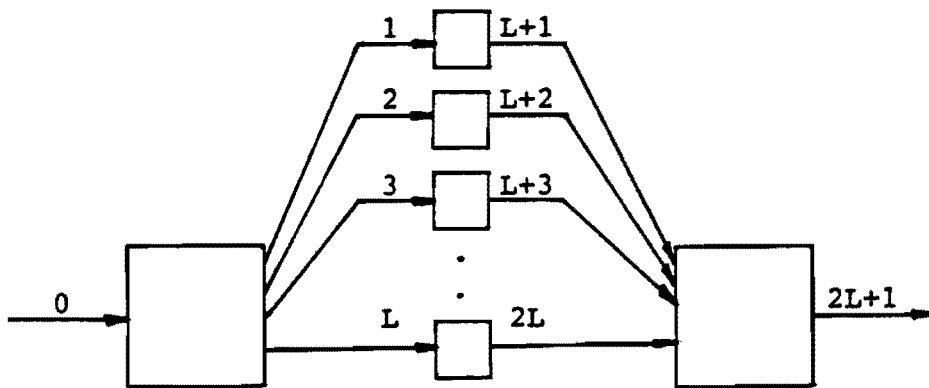
1) Het pure serie-systeem.



$$b_{n,L} = b_{n,0} P_s$$

$$\text{met } P_s = \prod_{i=1}^L P_{i-1,i}$$

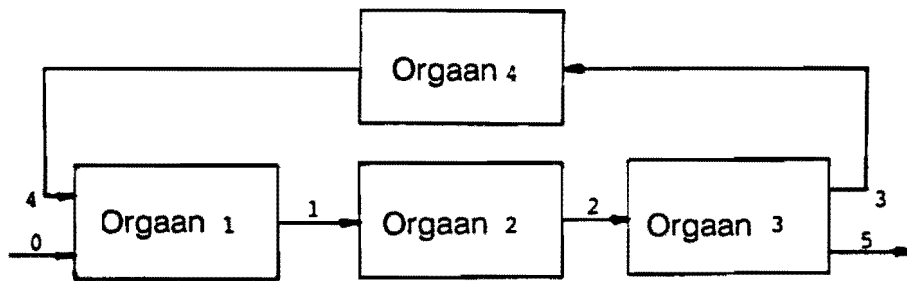
2) Het pure parallel systeem.



$$b_{n,2L+1} = b_{n,0} P_p$$

$$\text{met } P_p = \sum_{k=1}^L P_{0,k} P_{k,L+k}$$

### 3) Het pure teruggekoppelde systeem.



$$b_{n,5} = b_{n,0} P_f$$

$$\text{met } P_f = P_{12} [I - P_{23} P_{34} P_{12}]^{-1} P_{25}$$

Met deze drie basisrichtsystemen is het mogelijk om ontelbare combinaties te maken en dus evenzovele richtsystemen zodat inderdaad een model van een richtsysteem gemaakt kan worden.

#### 4.2.2 Vereenvoudigd model van een richtsysteem

Het model van Yeralan is zeer uitgebreid. In de trilvoeder praktijk is het echter zo dat het serierichtsysteem het meest voor komt. Het nu volgende model uit *Design parameters selection and ordering of part orienting devices* [Jaumard, 1990] richt zich dan ook alleen op seriesystemen en is daardoor al een stuk eenvoudiger. Bovendien wordt het model steeds opgesteld voor slechts één type produkt.

$$M_k = [m_{ij}^k]_{l \times l}$$

$M_k$  is de overgangsmatrix van richtorgaan k.

met:  $\{1,2, \dots, l\}$  : set van alle mogelijke oriëntaties  
 $P = \{1,2, \dots, p\}$  : set van alle mogelijke richtorganen  
 $m_{ij}^k$  : de kans dat een produkt dat met oriëntatie i richtorgaan k binnenkomt, dat richtorgaan met oriëntatie j verlaat



$$\eta_0 = [\eta_0^1, \eta_0^2, \dots, \eta_0^l]$$

$\eta_0$  is de beginoriëntatievector van het produkt bij het binnengaan van het

richtsysteem, met de volgende randvoorwaarden:  $0 < \eta_0^i < 1$  ,  $\sum_{i=1}^l \eta_0^i = 1$

$$\eta = \eta_0 \prod_{k=1}^p M_k$$

De efficiency van het systeem wordt gegeven door het eerste element  $\eta^1$  van  $\eta$  .

Bij het model horen de volgende veronderstellingen:

(i)  $0 \leq m_{ij}^k \leq 1$  voor elke i,j,k

$m_{11}^k > 0$  voor elke k

$\sum_{i=1}^l m_{i1}^k > 0$  voor elke k

(ii) Produkten worden niet verworpen in actieve richtorganen.

$\sum_{j=1}^l m_{ij}^k = 1$  voor elke i,k

(iii) Produkten met de juiste gewenste oriëntatie worden bevoordeeld door het systeem.

$m_{11}^k \geq m_{ij}^k$  voor  $2 \leq i \leq l$

voor elke k

### 4.2.3 Voorbeeld van een richtsysteem

Deze modellen kunnen toegepast worden op een reëel richtsysteem. Het systeem uit dit voorbeeld bestaat uit 3 richtorganen [Boothroyd, 1982]. Het cupje waarvoor dit richtsysteem is gemaakt kent vier oriëntaties (zie figuur 4.2). De *stap* (actief) zorgt er voor dat zoveel mogelijk produkten in oriëntatie a vallen. De *uitsparing* (passief) verwijdert alle produkten met oriëntatie c en de *richel* (passief) verwijdert alles met oriëntatie b<sub>1</sub> of b<sub>2</sub>.

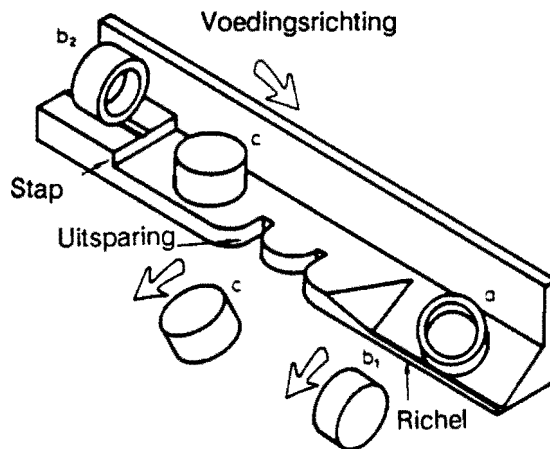


Fig. 4.2: Richtsysteem [Boothroyd, 1982, p. 111].

Het model van het richtsysteem wordt nu als volgt:

	<i>stap</i>				<i>uitsparing</i>			<i>richel</i>	<i>uitgang</i>	
	<i>a</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>a</i>	<i>a</i>	
<i>a</i>	0.5	0	0.5	0	1	0	0	1	=	0.5
<i>b<sub>1</sub></i>	1	0	0	0	0	<i>q<sub>1</sub></i>	0	0		1
<i>b<sub>2</sub></i>	0.3	0	0.64	0.06	0	0	<i>q<sub>2</sub></i>	0		0.3
<i>c</i>	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0		0.8

Deze uitgangsvector kan nu voorvermenigvuldigd worden met de beginoriëntatievector. Het ontstaan van deze beginoriëntatievector wordt in paragraaf 4.4 behandeld.

$$[0.27 \ 0.35 \ 0.35 \ 0.03] \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1 \\ 0.3 \\ 0.8 \end{bmatrix} = 0.61$$

Dit betekent dat de efficiency van het systeem 61% bedraagt. Bij een toevoer van 100 onderdelen per minuut zullen er 61 aan de uitgang verschijnen met de juiste oriëntatie.

### 4.3 Optimaliseren

Het volgende voorbeeld illustreert wat optimaliseren eigenlijk inhoudt: Zoals in de vorige paragraaf al werd opgemerkt, zorgt de *stap* er voor dat zoveel mogelijk producten oriëntatie a mee krijgen. Het aantal producten dat van een verkeerde in een juiste oriëntatie gericht wordt, hangt af van de staphoogte. Er zijn eigenlijk oneindig veel stap-richtorganen, ieder met hun eigen staphoogte en dus ook met hun eigen karakteristiek en daardoor ook met hun eigen overgangsmatrix. Dit houdt in dat er voor een bepaald produkt een staphoogte is, die het grootst mogelijke "aantal producten in oriëntatie a" oplevert, en dus de grootst mogelijke efficiency aan het systeem geeft. In dit geval betekent optimaliseren dat voor elke staphoogte de efficiency van het systeem berekend wordt om zo de maximale efficiency te bepalen [Boothroyd, 1982, p. 115].

In het algemeen betekent optimaliseren niet alleen het wijzigen van een richtorgaan, maar ook het selecteren en ordenen van meerdere richtorganen in een systeem. Dit alles om een zo hoog mogelijke efficiency van het systeem te verkrijgen.

Een zeer bewerkelijke oplossing is het doorrekenen van alle mogelijke permutaties van richtorganen om zo de volgorde te bepalen die de hoogste efficiency oplevert. Vervolgens kunnen dan de richtorganen die de efficiency het meest verhogen geselecteerd worden. Voor een eenvoudig produkt is dit geen probleem, maar voor een zeer complex produkt met veel verschillende oriëntaties worden de overgangsmatrices van de richtorganen erg groot. Het gevolg is dat het doorrekenen van alle mogelijke combinaties zeer veel computertijd in beslag neemt, een rekentijd die soms zelfs op kan lopen tot dagen.

Om deze rekentijd te verkorten hebben een aantal onderzoekers matrixconversies en heuristische procedures bedacht waarmee grote matrices in een eenvoudigere vorm geschreven kunnen worden [Sethi, 1990] [Jaumard, 1990]. Het zou hier te ver voeren om deze methodes te bespreken, maar het resultaat van hun onderzoek is dat, op een krachtige computer, de rekentijd teruggebracht kan worden tot seconden. Hierdoor wordt het interessant om een trilvoeder te voorzien van instelbare richtorganen, omdat nu de richtsystemen, die zo ontstaan, snel doorgerekend kunnen worden. Zie ook paragraaf 5.1.

## 4.4 Stabiele evenwichtstoestanden

Stabiele evenwichtstoestanden is de Engelse (vrije) vertaling van *Natural Resting Aspects*. Hiermee worden de verschillende toestanden bedoeld, die een produkt, liggend op een vlak, kan hebben. Deze natural resting aspects zijn nodig om de beginoriëntatievector van een produkt te kunnen bepalen (zie paragraaf 4.2.2).

Er moet overigens wel onderscheid gemaakt worden tussen stabiele evenwichtstoestand enerzijds en oriëntatie anderzijds. De produkten in figuur 4.3 hebben dezelfde toestand, maar verschillen in oriëntatie.

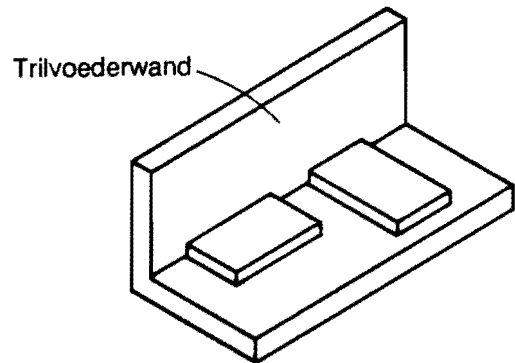


Fig. 4.3: Verschil tussen stabiele evenwichtstoestand en oriëntatie [Boothroyd, 1982, p. 127].

De kansen waarmee de verschillende toestanden voor komen kunnen allereerst empirisch bepaald worden door simpelweg een aantal produkten op een tafel te laten vallen en te tellen in welke aantallen een bepaalde toestand voor komt. Voor de produktfamilie cupjes (zie figuur 4.2) kan dan een grafiek opgesteld worden, die afhankelijk is van de lengte/diameter verhouding. Zie figuur 4.4. In deze figuur zijn de punten experimenteel bepaalde waarden. De getrokken lijnen komen voort uit een theoretische analyse.

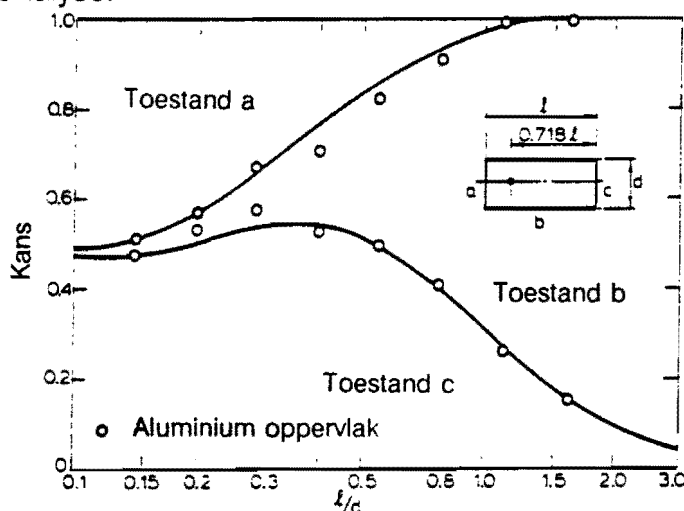


Fig. 4.4: Natural resting aspects van een cupje [Boothroyd, 1982, p. 110].

Bij een theoretische analyse moet er eerst onderscheid gemaakt worden tussen de vlakken waarop de produkten vallen. Deze kunnen grofweg ingedeeld worden in twee soorten: Op zachte oppervlakken zal het produkt de neiging hebben om ten gevolge van horizontale krachten (de wrijvingskrachten met het oppervlak) om te rollen. Op harde oppervlakken zal het produkt op en neer springen en zo een andere oriëntatie krijgen.

De analyse gaat er van uit dat het produkt een bepaalde energiebarrière moet overwinnen om in een andere toestand over te kunnen gaan; het zal zijn zwaartepunt immers moeten verplaatsen. Deze energiedrempel wordt in figuur 4.5 voor een vierkant blokje grafisch weergegeven.

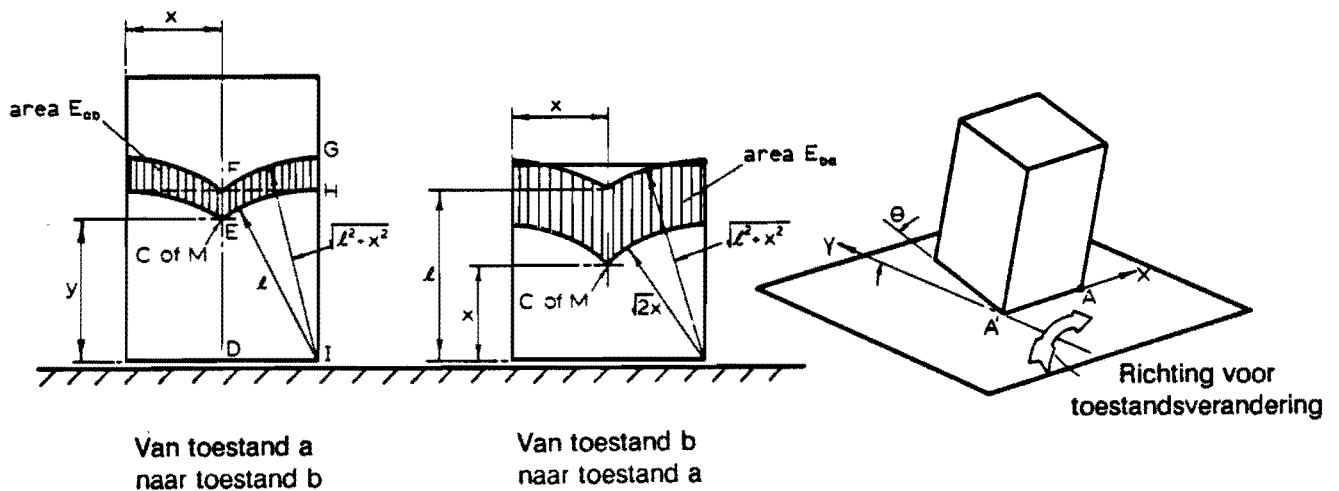


Fig. 4.5: Energiedrempel van een rechthoekig blokje [Boothroyd, 1982, p. 129].

Het blokje zal nu net zo vaak van toestand veranderen tot het zijn kinetische energie verbruikt heeft. Dit betekent dat de energiedrempel, die een bepaalde oriëntatie opwerpt, recht evenredig is met de frequentie waarin deze toestand voor zal komen als produkten op een tafel geworpen worden. Op deze manier kunnen dus vrij eenvoudig, aan de hand van de energiedrempels, de kansen op een stabiele evenwichtstoestand berekend worden.

# Nieuwe richtsystemen

In dit hoofdstuk worden kort de laatste ontwikkelingen op het gebied van richtsystemen voor trilvoeders aangestipt. Deze nieuwe richtsystemen staan voor een belangrijk deel nog in hun kinderschoenen, maar kunnen in de toekomst een belangrijke rol gaan spelen op het terrein van toevoeren met behulp van trilvoeders.

### 5.1 Instelbare richtsystemen

Tot nu toe worden trilvoeders, als het om het richten van produkten gaat, eigenlijk alleen maar in de massafabricage toegepast. Voor kleine series worden de produkten vaak nog handmatig gericht. De reden hiervoor is dat het inrichten van een trilvoeder met richtorganen een kostbare aangelegenheid is, die alleen economisch verantwoord is als één en hetzelfde produkt in grote aantallen toegevoerd dient te worden. Voor kleine series is er dus behoefte aan een trilvoeder die flexibel is en dus verschillende produkten toe kan voeren.

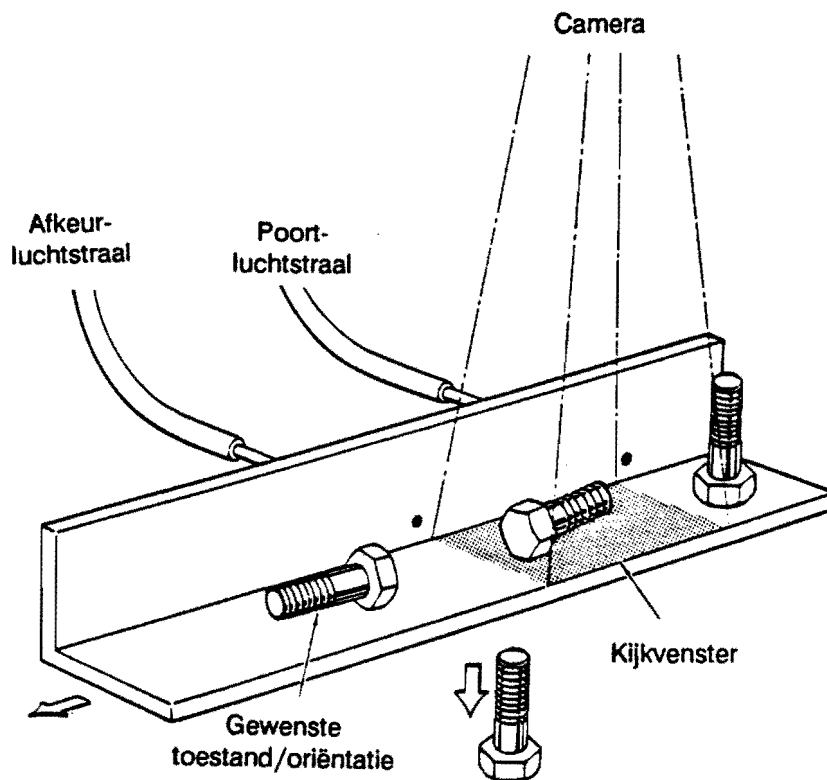
In *A methodology for developing programmable part feeders* [Maul, 1983] wordt een trilvoeder met instelbare richtorganen getoond, die meerdere produkttypes uit een produktfamilie met zeer korte omsteltijden toe kan voeren. De produktfamilie wordt gekozen met behulp van het *Handbook of feeding and orienting techniques for small parts* [Boothroyd, 1979]. Tevens worden uit dit *Handbook* de basisrichtorganen gekozen om deze produkten te kunnen richten. Het bijzondere is echter dat deze richtorganen geen vaste afmetingen hebben, maar dat de voor hun functie belangrijke maten instelbaar zijn.

Maul claimt dat een ervaren gebruiker de richtorganen in vijf minuten op een bepaald produkt in kan stellen. Deze gegevens kunnen vervolgens opgeslagen worden, zodat een volgende keer dat hetzelfde produkt door deze voeder toegevoerd moet worden, de instelhandeling slechts één minuut vergt. De ontwikkelde trilvoeder bleek in staat te zijn om een zeer diverse familie produkten toe te voeren: variërend van kleine schroefjes en moertjes tot spijkers, koperen fittingen en bougie-hulzen.

## 5.2 Vision systemen

Een geheel nieuw soort richtsysteem voor trilvoeders is gebaseerd op "Computer vision". Hierbij wordt een beeld van het produkt gedigitaliseerd en aan een computer doorgegeven. Deze computer beoordeelt dan of het produkt de gewenste oriëntatie op de trilvoederbaan heeft. Dit beeld kan op verschillende manieren samengesteld worden.

In *Programmable bowl feeder design based on computer vision* [Hill, 1980] wordt het volgende systeem beschreven (zie figuur 5.1):



*Fig. 5.1: Vision systeem met solid-state tv-camera [Hill, 1980, p. 21].*

Een produkt beweegt op de baan en gaat een kijkvenster binnen. De camera maakt een opname en de poort-luchtstraal blaast een dunne straal lucht loodrecht op de baan om andere produkten tegen te houden. De computer analyseert het beeld, vergelijkt het met het beeld in z'n geheugen, en als het produkt in de gewenste oriëntatie ligt, dan wordt de afkeur-luchtstraal uitgezet zodat het produkt verder kan bewegen; zo niet, dan blaast de afkeur-luchtstraal het produkt weer

terug in de trilvoederbak. De poort-luchtstraal wordt uitgezet, en het volgende produkt kan het kijkvenster binnengaan.

Een andere, goedkopere, mogelijkheid is het gebruik van een rij lichtsensoren die een beeld van het produkt samenstelt als een produkt de rij passeert [Maul, 1987]. Het nadeel van deze methode is een kleiner oplossend vermogen van het beeld, waardoor de toe te voeren produkten beter van elkaar te onderscheiden moeten zijn.

Het gebruik van vision-systemen biedt de volgende voordelen [Hill, 1980]:

- Veel verschillende onderdelen kunnen door dezelfde voeder toegevoerd worden. Het omstellen gebeurt softwarematig.
- Veel produkten, die mechanisch niet te richten zijn, kunnen door het vision-systeem wel herkend worden.
- Produkten kunnen automatisch geïnspecteerd worden op fouten of maatafwijkingen.

Het nadeel van vision-systemen is dat ze vrij duur zijn.

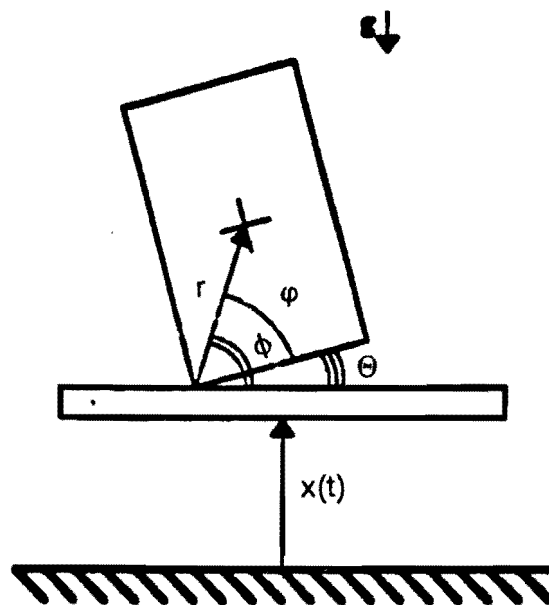
### **5.3 Richten zonder richtorganen**

En interessante ontwikkeling is het richten zonder richtorganen. Dit onderzoek bevindt zich echter nog in een zeer fundamenteel stadium. In *Utilizing dynamic stability to orient parts* [Singer, 1987] wordt het gedrag bestudeerd van een produkt dat op een trillend vlak ligt (zie figuur 5.2).

Het object krijgt een bepaald starthoek  $\phi_0$ , bijvoorbeeld door een plotselinge beweging van de tafel. Voor een bepaalde ingangsfunctie  $x(t)$  kan het produkt in trilling blijven, met constante amplitude. Als de amplitude echter verhoogd wordt, dan zal het produkt omvallen en dus van oriëntatie veranderen. Als deze methode gebruikt gaat worden om daadwerkelijk produkten te richten, dan moeten verschillende produkten uiteraard verschillende responsies vertonen.



Het onderzoek is er op gericht om hiertoe, door middel van simulatie, de juiste aanstootfunctie  $x(t)$  te vinden. In bovengenoemd artikel wordt aangetoond dat het vinden van deze functie niet het grootste probleem is. Het is vervelender dat er nog geen apparaten zijn die deze functies ook in de praktijk kunnen realiseren. De onderzoekers hopen echter dat deze studie in de toekomst een bijdrage kan leveren aan het ontwerp van nieuwe soorten toevoersystemen.



*Fig. 5.2: Produkt op trillend vlak [Singer, 1987, fig. 3].*

## Hoofdstuk 6

# Conclusies

Uit bijna elk artikel over toevoeren komt naar voren dat van alle toevoerinrichtingen de trilvoeder het meest toegepast wordt. Over trilvoeders is dan ook, vooral tussen eind jaren '60 en begin jaren '80, vrij veel gepubliceerd. Als het om richtorganen in trilvoeders gaat, is het *Handbook of feeding and orienting techniques for small parts* [Boothroyd, 1979] een zeer belangrijk standaardwerk, met onder andere een produktcodeersysteem en voorbeelden van trilvoeders en richtorganen. Daarnaast is hoofdstuk 4 uit *Automatic assembly* [Boothroyd, 1982] zeer aanbevelenswaardig, omdat dit hoofdstuk een goed overzicht geeft van de kennis, die op dat moment over richtorganen in trilvoeders vergaard was.

De laatste jaren is er echter zeer weinig over richtorganen in trilvoeders gepubliceerd. Eén deel van de weinige artikelen modelleert richtsystemen en rekent deze modellen vervolgens met wiskundige procedures door om de maximale efficiency te kunnen bepalen. De overige artikelen behandelen voornamelijk vision systemen, die zowel binnen als buiten de trilvoeder geplaatst kunnen worden.

Veel aandacht wordt, terecht, geschonken aan "Design for assembly". Het blijkt namelijk dat een kleine produktwijziging het toevoeren aanzienlijk kan vereenvoudigen. Vooral met het symmetrisch, of juist asymmetrisch en daardoor zeer herkenbaar, maken van het produkt, wordt het toevoerprobleem vaak aanzienlijk vereenvoudigd.

De trend om produktiesystemen flexibeler te maken is ook merkbaar in de markt voor toevoersystemen. Voeders worden geacht snel omstelbaar te zijn voor verschillende produkten, of moeten zelfs in staat zijn om meerdere produkten (al dan niet uit één produktfamilie) door elkaar toe te voeren. Vision systemen zijn hiervoor uitermate geschikt. Er mag dan ook verwacht worden dat de toepassingen van vision in de toekomst alleen maar toe zullen nemen.

# Literatuurlijst

*Automated assembling: orientating mechanisms and escapements - part 2*,  
The Institution of Production Engineers,  
1968

Beecher, R. C.,  
*PUMA: Programmable Universal Machine for Assembly*,  
in: Computer vision and sensor based robotics,  
Plenum Press, New York and London, p. 141-152,  
1979

Boothroyd, G., Poli, C., Murch, L. E.,  
*Automatic assembly*  
Marcel Dekker Inc., New York and Basel,  
1982

Boothroyd, G., Poli, C., Murch, L. E.,  
*Handbook of feeding and orienting techniques for small parts*,  
Department of mechanical engineering, University of Massachusetts, Amherst,  
1979

Castelijm, J. F. R.,  
*Literatuuronderzoek naar voedertypen voor kleine discrete produkten*,  
Technische Universiteit Eindhoven, WPA-rapportnr. 0954,  
1990

Hill, J.,  
*Programmable bowl feeder design based on computer vision*,  
in: Assembly automation, vol. 1, no. 1, p. 21-25,  
1980

Jaumard, B., Shi, H., Sriskandarajah, C.,  
*Design parameters selection and ordering of part orienting devices*,  
in: International journal of production research, vol. 28, no. 3, p. 459-476,  
1990

Maul, G., Chao, O.,

*Predicting the cycle time for a sequence of parts in a sensor-based vibratory bowl feeder,*

in: International journal of production research, vol. 25, no. 12, p. 1705-1714,  
1987

Maul, G., Goodrich, J.,

*A methodology for developing programmable part feeders,*

in: IIE Transactions, vol. 15, no. 4, p. 330-336,  
1983

Sethi, S., Sriskandarajah, C., Kumar Tayi, G., Rao, M.,

*Heuristic methods for selection and ordering of part orienting devices,*

in: Operations research, vol. 38, no. 1, p. 84-98,  
1990

Singer, N., Seering, W.,

*Utilizing dynamic stability to orient parts,*

in: Journal of applied mechanics, vol. 54, pp. -961-6,  
1987

Smals, A.T.J.M.,

*Toevoerinrichtingen,*

Technische Universiteit Eindhoven, dictaatnr. 4546,  
1981

Tipping, W.V.,

*An introduction to mechanical assembly,*

Business Books Limited,  
1969

Yeralan, S., Chang, C.,

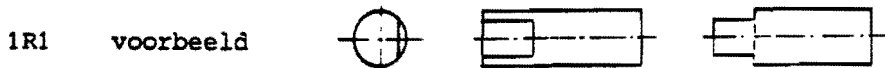
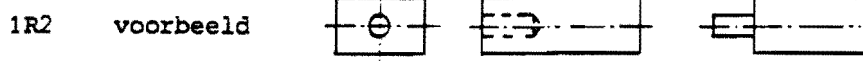
*Models of part orienting systems,*

in: Decision sciences, vol. 17, p. 357-375,  
1986

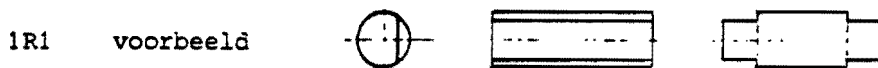
# Bijlage 1

## Produktcodeersysteem van Smals

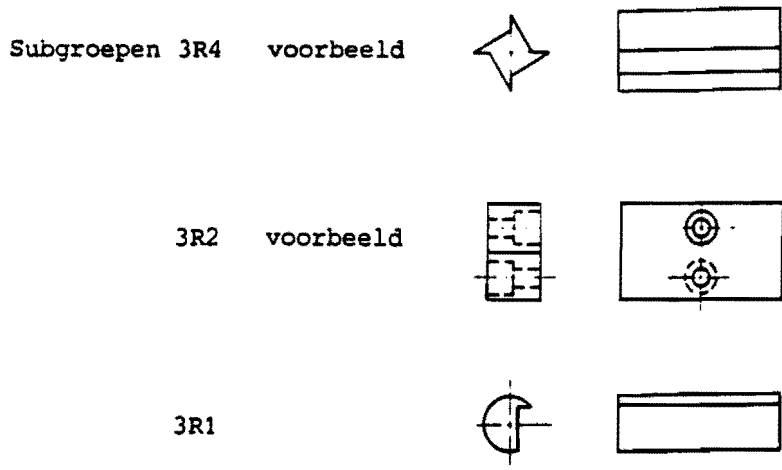
- Groep 1 (symbool  $\rightarrow$ ). De onderdelen met een kenmerkende langs-as kunnen "kop-staart" worden gericht.




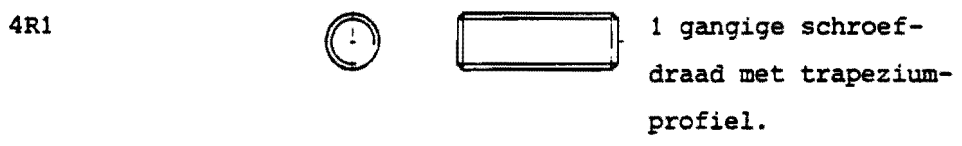
- Groep 2 (symbool  $\leftrightarrow$ ). De onderdelen met een kenmerkende langs-as behoeven niet "kop-staart" te worden gericht.




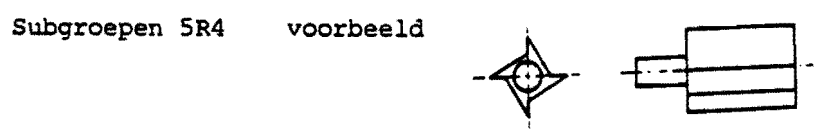
- Groep 3 (symbool  $\})$ ). Onderdelen met een bepaalde oriëntatie in een kenmerkende dwarsdoorsnede loodrecht op de langs-as. De oriëntatie van deze dwarsdoorsnede is gekoppeld aan de "kop-staart" ligging van het onderdeel.



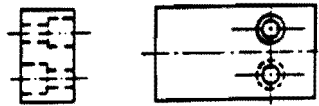
- Groep 4 (symbool ). Onderdelen bezitten geen oriëntatie in een kenmerkende dwarsdoorsnede loodrecht op de langs-as. Er is daarom geen onderscheid in "kop-staart". De opeenvolgende dwarsdoorsneden mogen geleidelijk worden verdraaid (gewrongen). Er is wel onderscheid te maken in linkse of rechtse spoed bij deze verdraaiing.



- Groep 5 (symbool ). Onderdelen met een kenmerkende langs-as en een bepaalde oriëntatie in een kenmerkende doorsnede loodrecht op de langs-as. De "kop-staart" ligging van het onderdeel wordt tegelijk bepaald door beide kenmerken.





5R2 voorbeeld



5R1 voorbeeld



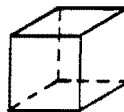
- Groep 6 (symbool  ). Onderdelen zijn regelmatige lichamen. De onderdelen bezitten een vast aantal kenmerkende assen en een vast aantal doorsneden met een kenmerkende oriëntatie. De kenmerkende assen (of dwarsdoorsneden) zijn door de interne symmetrie meestal in meerdere groepen op te geven.

Subgroepen 6R  voorbeeld



bol

6R3,4 voorbeeld



kubus

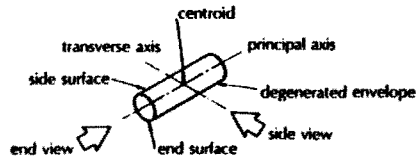
Opmerking: In de groepen 1, 3 en 5 geeft de waarde x het aantal assen loodrecht op de kenmerkende langs-as waarom het onderdeel gedraaid kan worden teneinde de juiste "kop-staart" ligging te bereiken.

In de groepen 2,4 en 6 wordt door de waarde x aangegeven hoeveel assen loodrecht op de kenmerkende langs-as het onderdeel over  $\pi$  rad kan worden gedraaid, waarna het onderdeel een stand identiek aan de beginstand inneemt. De waarde x wordt in de subgroep aangegeven in de rotatie-aanduiding Rx.

rotational parts (see note 1)	$L/D < 0.8$ (see note 4)	risers	0	
	$0.8 \leq L/D \leq 1.5$ (see note 4)	short cylinders	1	
	$L/D > 1.5$ (see note 4)	long cylinders	2	
	$L/D < 0.8$ (see note 4)	flat parts	3	
triangular or square prismatic parts (see note 2)	$0.8 \leq L/D \leq 1.5$ (see note 4)	cubic parts	4	
	$L/D > 1.5$ (see note 4)	long parts	5	
	$A/B \leq 3, A/C > 4$ (see note 5)	flat parts	6	
rectangular parts (see note 3)	$A/B > 3$ (see note 5)	long parts	7	
	$A/B \leq 3, A/C \leq 4$ (see note 5)	cubic parts	8	
miscellaneous parts	parts that will nest, lock or tangle or parts that cannot be assigned first digits of 0 through 8		9	

FIRST DIGIT





THIRD DIGIT

SECOND DIGIT		part is BIA symmetric (see note 9)		part is not BIA symmetric (code the main feature or features causing BIA asymmetry) (see note 10)									
		to be fed rod to end (see note 11)	to be fed side by side (see note 11)	BIA asymmetric projections (can be seen in silhouette)			BIA asymmetric grooves, holes, recesses on external surfaces			other features, slight asymmetry, features too small or non geometric features (such as point, lettering, etc.)			
				on side surface only	on end surfaces only	on both side and end surfaces	through grooves can be seen in end view	through grooves can be seen in a side view			holes or recesses cannot be seen in outer shape of silhouette in end views		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
part is A1 BIA symmetric (see note 2)		0											
part can be fed in a slot supported by large end or protruding flange with centre of mass below supporting surfaces (see note 4)		1											
BIA symmetric steps or chamfers on external surfaces (see note 5)		2											
BIA symmetric grooves, holes or recesses (see note 6)	on both side and end surfaces	3											
	on side surface only	4											
	on end surfaces only	5											
BIA symmetric hidden features with no corresponding exposed features (see note 7)		6											
BIA asymmetric features or BIA symmetric parts with features other than steps, chamfers or tapers but too small for orientation purposes (see note 8)		7											
BIA symmetric step, chamfers or tapers too small for orientation purposes		8											
other features, slight asymmetry, features too small or non geometric features (such as point, lettering, etc.) (see note 8)		9											

SECOND DIGIT

part is not A1 BIA symmetric  
(code the main feature or features causing A1 BIA asymmetry)  
(see note 3)

### Bijlage 3 Woordenlijst

Tijdens de literatuurstudie, en dan voornamelijk tijdens het lezen van boeken en tijdschriftartikelen, viel op dat er door verschillende schrijvers vaak verschillende woorden gebruikt worden om hetzelfde begrip aan te duiden. Dit kan soms tot problemen leiden. Daarom is onderstaande lijst toegevoegd met de meest voorkomende begrippen op het gebied van richtelementen in trilvoeders.

Nederlands	Engels	Duits
toevoeren	feeding	fördern
voeder	hopper feeder	Einlegegerät
trilvoeder, trilvuller	vibratory hopper feeder, vibratory parts feeder	Schwingförderer, Vibrationsförderer, Vibrationswendelförderer
ronde trilvoeder	vibratory bowl feeder, vibratory bowl hopper feeder	
lineaire trilvoeder	in-line vibratory feeder, linear vibratory feeder	
sorteerunit	orientating mechanism, orienting system	Ordnungseinrichtung
richten, ordnen	orienting, orientating	orientieren, ordnen
actief richtorgaan	orientating device, orientor	
passief richtorgaan, filterelement	filtering device, selector	
afzonder mechanisme	escapement, selector	
afvoergoot	delivery chute	
stabiele evenwichtstoestand (eigen vertaling)	natural resting aspect	

## Bijlage 4

### De gevolgde werkwijze tijdens het literatuuronderzoek

#### Geautomatiseerd literatuuronderzoek op CD-ROM

- Compendex (Computerized Engineering Index),  
Tijdschriftartikelen uit ± 4000 tijdschriften,  
1986 t/m 1990
- UMI Dissertation abstracts,  
Proefschriften,  
1985 t/m 1990
- NTIS Silverplatter 1.6,  
Amerikaanse rapporten, voornamelijk van door de Amerikaanse overheid  
gesubsidieerd onderzoek,  
1983 t/m 1990

Gebruikte combinaties van trefwoorden:

- (material.. AND handl..) AND (vibrat.. OR bowl.. OR feeder.. OR hopper..)
- (assembl.. AND (machin.. OR autom..)) AND (vibrat.. OR bowl.. OR feeder..  
OR hopper..)

#### Handmatig literatuuronderzoek

- Engineering Index,  
Tijdschrift artikelen,  
1985 en 1991(jan. t/m aug.)

Gebruikte trefwoorden:

- Assembly machines
- Automation
- Computer Aided Design

- Materials handling                      - Automation

**Auteurs:**

- Boothroyd, Geoffrey,
- Poli, Corrado,
- Murch, Laurence E.,
- Redford, A.H.,
- Jaumard, Brigitte.

**Doorgenomen jaargangen van tijdschriften**

- Assembly automation: the interanational magazine of assembly technology and management,  
IFS, Bedford / MCB University Press Limited, Bradford, U.K,  
1980 t/m 1991(no. 2)
- VDI-Z: Zeitschrift für integrierte Produktionstechnik,  
VDI-Verlag, Düsseldorf,  
1980 t/m 1991(no. 8)

trefwoorden:                 Handhabungstechnik,  
                                     Fördertechnik

**Doorgenomen jaargangen van verzamelwerken**

- Assembly automation: proceedings of the ... international conference /  
organised by IFS (conferences),  
Berlin, Springer 1980-1987,  
Jaarlijks - vanaf Conferentie 9 verschenen onder de titel: Developments in  
assembling automation: proceedings of the international conference,  
1980(1<sup>st</sup>) t/m 1986(7<sup>th</sup>)

## Bijlage 5

### Geraadpleegde literatuur die niet in de literatuurlijst voor komt

*Automated assembling: hopper feeds, their application and range with glossary of terms and suppliers of equipment,*

The institution of production engineers,  
1968

*Automated assembling: orientating mechanisms and escapements, part 1-4,*

The institution of production engineers,  
1968

Hitakawa, H.,

*Advanced parts orientation system has wide application,*

in: Assembly automation, vol. 8, no. 3, p. 147-150,  
1988

*Hopper feeds as an aid to automation (design and application of automated feed devices in the machine shop),*

Machineries yellow book series no. 39,  
The machinery publishing co. LTD,  
1955

Smals, A.T.J.M.,

*Trilvoeders,*

Technische Universiteit Eindhoven, diktaatrnr. 4010,  
1990

Treer, K.R.,

*Automated assembly: compilation of the papers of CAD/CAM, Robot and assemblex conferences,*

Society of manufacturing engineers,  
1979