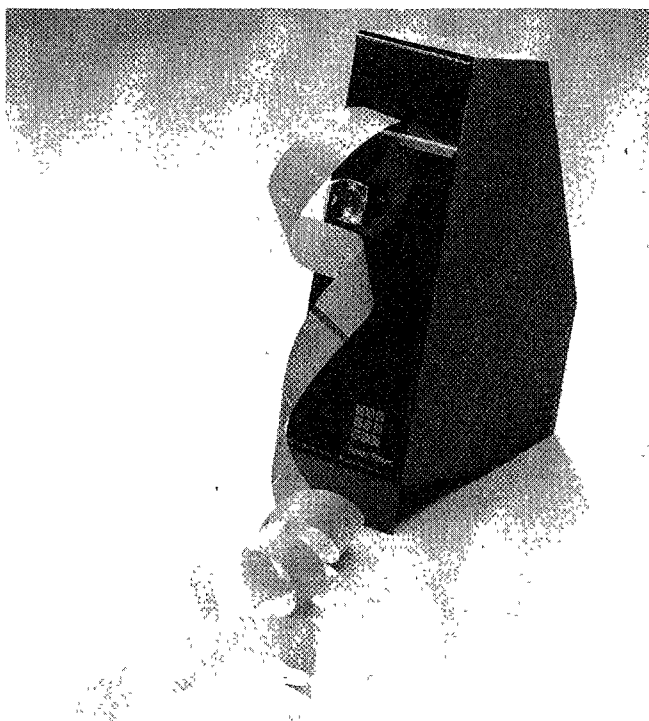


## Een methodisch ontworpen zegelautomaat

Anton J.M. Montagne  
Frans Zuurveen

Product Partners Research & Development bv in Delft is geen doorsnee-ontwerpbureau, zoals er meer in Nederland bestaan. Het bijzondere van PP is dat het een gezonde dosis systematiek in zijn creaties stopt. Met afschuw spreken de ontwerpers van PP daarom over de "trial and horror"-methode, de conventionele manier om tot een ontwerp te komen. Die zogenaamde heuristische methode zal weliswaar in de meeste gevallen uiteindelijk wel tot resultaat leiden, maar dat resultaat is of te duur of niet betrouwbaar of de tijd die nodig is om tot een ontwerp te komen, is te groot. PP ondervangt die bezwaren door èn een grote expertise in methodisch ontwerpen èn door een zodanige combinatie van disciplines dat er sprake is van echte mechatronische specialisatie.

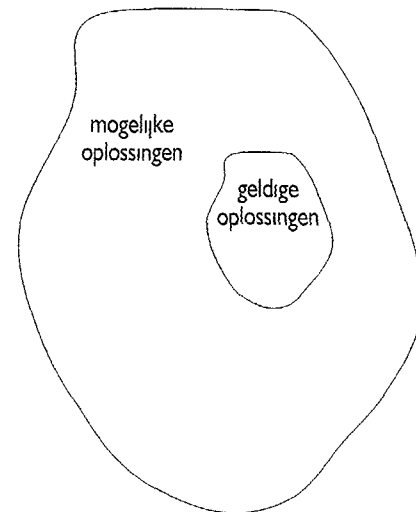
Figuur 1 De zegelautomaat van Product Partners  
(Foto Marcel de Rijk, Amsterdam)



De voorgaande stellingen worden in dit artikel onderbouwd door een ontwerpvoorbeeld. Dat is een caissière in een supermarkt ontlast van het vervelende en tijdrovende aftellen van spaarzegels. Bovendien voorkomt het apparaat frauduleuze handelingen. Bij wijze van uitzondering heeft Product Partners zich niet alleen belast met het ontwerpen, maar ook met het produceren van dit apparaat, dat behalve op de gaatjes in de perforatiestroken van spaarzegels ook mikt op een gat in de markt voor kassasystemen.

### Eisen aan het ontwerproces

Een ontwerpprobleem zou men kunnen definiëren als het afbeelden van de economische en technologische mogelijkheden op de functionele taak van het produkt binnen de eisen die de omgeving stelt. Of anders gezegd: het selecteren van een geldige oplossing uit een veelheid van mogelijkheden, zie figuur



Figuur 2 De verzameling geldige oplossingen binnen de verzameling mogelijke oplossingen

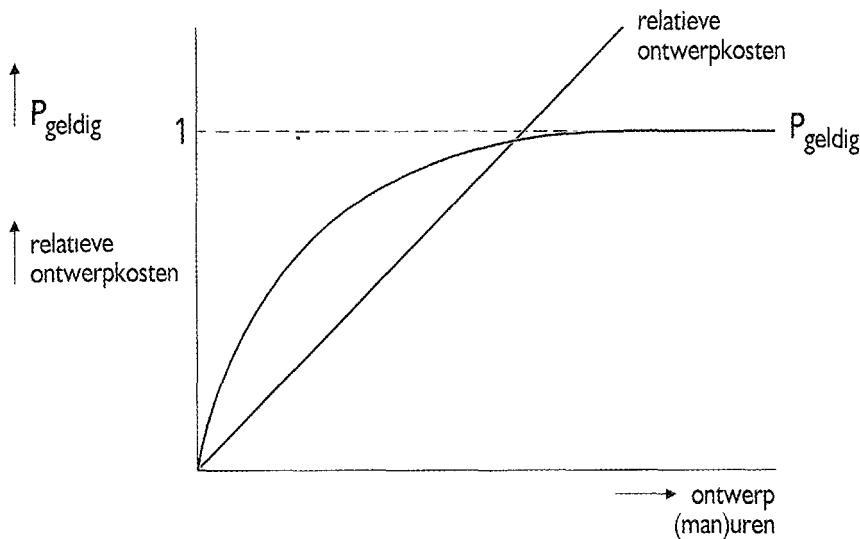
2. Een geldige oplossing is te beschouwen als een produktontwerp dat voldoet aan het programma van eisen. De cruciale vraag is nu hoe men zo'n geldige oplossing kan selecteren

Ook voor dat selectieproces kan men een programma van eisen opstellen. Want al in een vroegtijdig stadium in de zogenaamde conceptfase is een zo groot mogelijke zekerheid gewenst tegen een laag kostenpatroon. En wil men de latere uitwerking zo goed mogelijk plannen met overzienbare uitgaven, dan volgen daaruit deze eisen aan het ontwerproces:

- De kans op het bereiken van een geldige oplossing moet gedurende het proces steeds groter worden.
- Vooral in het beginstadium is een sterke groei van die kans gewenst.
- Beslissingen mogen niet meer herroepen worden.

Deze eisen zijn in figuur 3 op een schematische manier weergegeven. Alleen een systematische ontwerpmethodiek kan daaraan voldoen.

Een conventionele, niet-systematische ontwerpaanpak gaat uit van een bestaande oplossing. Daarvan analyseert



Figuur 3 Grafische weergave van de eisen die aan een ontwerpproces kunnen worden gesteld

men de eigenschappen, waarna er naar wegen wordt gezocht om enkele van die eigenschappen te verbeteren. Dat gebeurt op een intuïtieve manier in een aantal stappen, zonder dat er sprake is van enige systematiek. Van deze heuristische aanpak via "trial and error" is tevoren niet te voorspellen of er een geldige oplossing zal worden bereikt. Bovendien zijn noch de kosten noch de doorlooptijd te overzien, zie figuur 4. Vandaar dus dat men dit bij PP liever de "trial and horror"-methode noemt.

### Het nieuwe denken

Methodisch ontwerpen zoals dat door Product Partners wordt gepropageerd, vereist een andere manier van denken. In plaats van een ontwerpprobleem op de traditionele heuristische, dus intuïtieve manier aan te pakken, is het nodig het te ontwerpen apparaat, instrument of systeem onder te verdelen in een aantal functies.

Voor een zegelautomaat zijn die functies bijvoorbeeld het transporteren van de strook zegels, het detecteren van de perforatie en het afsnijden van een hoeveelheid zegels. Dit zijn voorbeelden van zogenaamde informatie-verwerkende functies. Er is echter ook nog een ander type functie te onderscheiden, namelijk de referentiefunctie: een functie die een referentiegrootheid genereert. Een voorbeeld uit de zegelautomaat is

de referentiefunctie voor het genereren van een maat voor de gemiddelde lengte van één zegel.

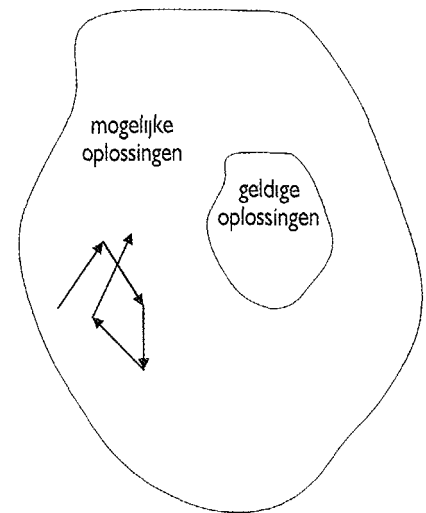
Het voordeel van het denken in functies is dat men niet meer vastzit aan oude en vertrouwde, maar vaak ook "vastgeroeste" ideeën. Immers, de afzonderlijke functies kunnen worden ondergebracht in verschillende disciplines, ook in die waarin men niet gewend is te denken maar waarvan misschien wel simpele en goedkope oplossingen te verwachten zijn. Overigens kunnen de functies niet geheel los van elkaar worden beschouwd, want er bestaat een sterke interactie tussen de verschillende functies.

### Functies nader bekeken

Een informatie-verwerkende functie kan binnen één en dezelfde discipline zijn ondergebracht maar ook binnen verschillende disciplines. In het laatste geval kan hetingangssignaal bijvoorbeeld optisch en het uitgangssignaal elektrisch zijn. Binnen de functie vindt dan signaalconversie plaats.

De relatie tussen het ingangs- en uitgangssignaal van een informatie-verwerkende functie kan men beschrijven met behulp van een of meer modelvergelijkingen. Die vergelijkingen beschrijven bijvoorbeeld:

- versterken: het vergroten van het beschikbare signaalvermogen;



Figuur 4 Schematische weergave van de heuristische methode

- vergelijken selecteren in het amplitude-domein;
- schakelen: selecteren in het tijd-domein;
- filteren: selecteren in het frequentie-domein.

De genoemde functies kunnen in geheel verschillende disciplines zijn geïmplementeerd. Zo kennen we elektronische, hydraulische, pneumatische en elektromechanische versterkers. De functie "afsnijden zegels" van de zegelautomaat, bijvoorbeeld, kan men realiseren door middel van elektromechanische, hydraulische, pneumatische of mechanische krachtopbouw. In het laatste geval is hetingangssignaal van deze functie elektronisch en het uitgangssignaal mechanisch.

Ook een referentiefunctie kan binnen één discipline zijn geïmplementeerd of over meer dan één discipline zijn verdeeld. Voorbeelden van referentiefuncties zijn amplitude-referenties voor mechanische, elektrische en optische grootheden. Andere voorbeelden zijn frequentie- en tijdreferenties voor elektronische signalen.

### Begrensdde mogelijkheden

Helaas worden er fysische grenzen gesteld aan de informatie die een functie kan verwerken. In principe zijn er drie essentiële begrenzingen:

- iedere functie voegt ruis toe aan een signaal,

## Een methodisch ontworpen zegelautomaat

– het afgegeven vermogen is begrensd,  
– een signaal kan niet oneindig snel van waarde veranderen.  
Een referentiefunctie mag echter geen informatie toevoegen en dus ook geen ruis. Maar dat is alleen realiseerbaar als er geen grenzen behoeven te worden gesteld aan de snelheid van verandering. We hebben hier dus te maken met een principieel dilemma.

De mate waarin het voorgaande dilemma zich manifesteert, is afhankelijk van de gekozen discipline en de manier waarop de functie daarin is gimplementeerd. Daarom ligt het in veel gevallen voor de hand te kiezen voor elektronische signaalverwerking. Immers, elektronen hebben een zeer geringe massa, waaruit volgt dat met kleine hoeveelheden energie grote hoeveelheden informatie kunnen worden verwerkt.

### Fouten en hun reductie

We hadden het hiervoor over fysische begrenzingen. Maar ook technologische begrenzingen spelen een belangrijke rol. Daardoor zullen er bij de realisatie afwijkingen optreden tussen dat wat men beoogde en dat wat er is bereikt. Zulke fouten kunnen systematisch en toevallig van aard zijn. In principe zijn systematische fouten niet verantwoordelijk voor een vermindering van de hoeveelheid informatie die een functie kan verwerken. De invloed van dit soort fouten kan immers worden verminderd door foutreductietechnieken, waarvan compensatie een van de mogelijkheden is.

Anders is het gesteld met toevallige fouten. Deze beperken de hoeveelheid informatie die een functie kan verwerken. Daarom hebben deze fouten hetzelfde karakter als ruis. Gelukkig bestaan er ook foutreductietechnieken om de invloed van toevallige fouten te verminderen.

Voorbeelden van foutreductietechnieken die invloed hebben op het complete multidisciplinaire ontwerp, zijn het opnieuw verdelen van de fouten over alle functies en het opnieuw verdelen van de fouten over verschillende disciplines. Voorbeelden van foutreductietechnieken binnen één discipline zijn compensatie, vooruitkoppeling en ne-

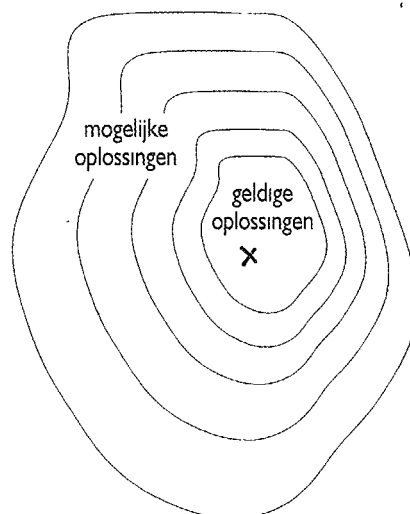
gatieve terugkoppeling. Voor deze technieken geldt dat de oorspronkelijke signaalvorm niet wordt aangetast. Dat laatste is wel het geval bij het digitaliseren van signalen en bij moduleren en coderen.

### Systematiek in het functiedenken

Samenvattend stoelt het denken in functies op de volgende uitgangspunten:

- Ieder produkt kan men opbouwen uit een aantal functies.
- Die functies zijn of referentiefuncties of functies die een operatie op signalen uitvoeren
- Functies kunnen worden toegekend aan verschillende disciplines.
- Functies kan men realiseren in een technologie die bij de desbetreffende discipline hoort.
- Een gerealiseerde functie zal nooit kunnen voldoen aan de ideale mathematische beschrijving.
- Het verschil tussen realiteit en ideaal vindt zijn oorzaak in fysische begrenzingen, technologische beperkingen en economische overwegingen.
- Bepaalde maatregelen kunnen deze afwijkingen terugbrengen tot een toelaatbaar niveau.

Figuur 5 laat zien hoe de systematische ontwerpmethodologie convergeert naar een geldige oplossing. Dit convergerende proces komt tot stand door stapsgewijs



Figuur 5 Het schema voor de systematische ontwerpmethodologie

de relevante gedragsaspecten van mogelijke oplossingen met elkaar te vergelijken. Bij iedere stap past men vooraf gedefinieerde ontwerpmaatregelen toe met het doel die gedragsaspecten te verbeteren. Vervolgens selecteert men een nieuwe reeks van mogelijke oplossingen.

### Divergeren en convergeren

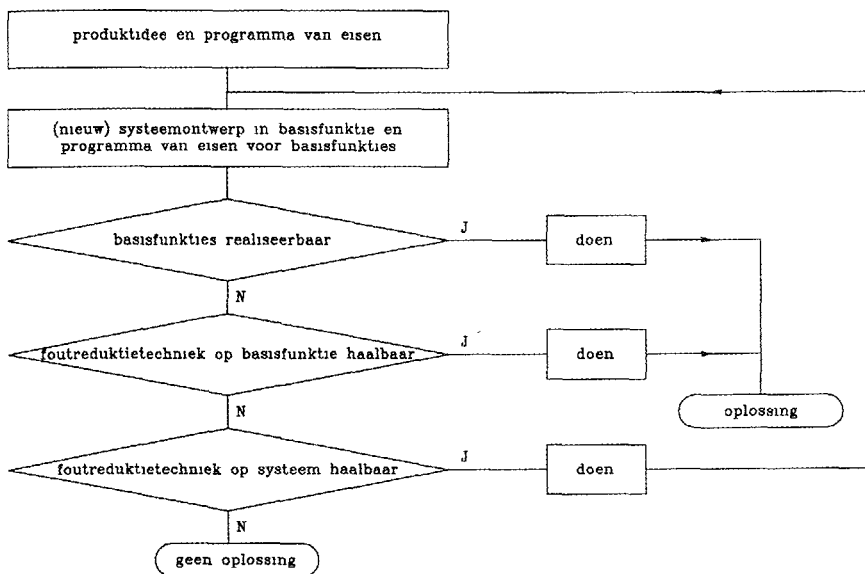
De systematische aanpak van het ontwerpproces leidt van divergentie naar convergentie. Divergentie ontstaat als verschillende alternatieven voor oplossingen worden gegenereerd. De ontwerper gaat dan uit van zijn kennis, die voor een belangrijk deel is gebaseerd op ervaring, en natuurlijk ook van zijn intuïtie. De systematiek bestaat in dat stadium uit de mathematische beschrijving van de functionaliteit van het produkt. Door ontbinding in deeloperaties ontstaat er vervolgens een ontwerp dat is opgedeeld in elementaire functies. Daaruit ontstaat er dan weer een inventarisatie van de disciplines waarin deze functies kunnen worden gerealiseerd. Daarbij gaat men uit van de beschikbare fysische principes en de aanwezige capaciteit om informatie te verwerken. Eventueel moeten foutreductietechnieken te hulp worden geroepen. De gevolgde werkwijze volgt uit het schema van figuur 6.

Er zal dan uit de gegenereerde alternatieven een keus gemaakt moeten worden, want uiteindelijk is er maar één geldige oplossing nodig. Dat deel van het ontwerpproces is dus convergerend van karakter.

De keus van een geldige oplossing moet altijd gemotiveerd worden, met het doel een uitspraak te verkrijgen over de werking van het uiteindelijke produkt. Intuïtie die misschien nodig was bij het kiezen op grond van kennis en ervaring, moet dus worden gevolgd door rationele analyse. Die analyse moet duidelijk maken waarom een intuïtief gekozen oplossing de juiste is.

### Selectie en resultaat

De eerste selectie ontstaat bij voorkeur uit een snelle kwalitatieve analyse, die meestal haalbaarheidsonderzoek wordt



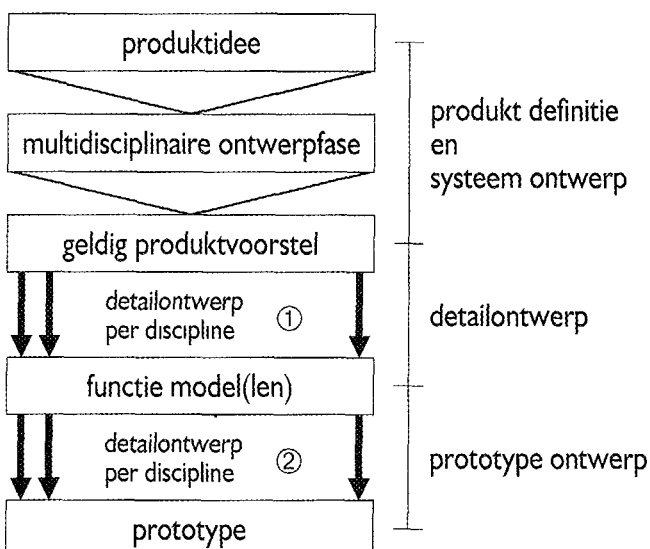
Figuur 6 Volgorde diagram voor het ontwerpproces

genoemd. Men onderzoekt dan welk functioneel ontwerp het best voldoet aan het programma van eisen. Daaruit resulteert meestal een maakbaar functioneel ontwerp. Als dat niet het geval is, moet het schema van figuur 6 opnieuw worden doorlopen.

Het functionele ontwerp dat uiteindelijk wordt verkregen, dient men dan nog te onderwerpen aan een globaal onderzoek naar de beschikbare componenten, materialen en technologieën. Eventueel moet dan nog worden nagegaan hoe het ontwerp kan worden verbeterd door de toepassing van één van de hiervoor aan-

gegeven foutreductietechnieken. Vervolgens zijn er dan tekeningen, blok-schema's, elektronische schema's en lay-outs voor printplaten noodzakelijk. Daarmee kan een prototype worden vervaardigd. Confrontatie van dat prototype met het allereerste programma van eisen in combinatie met uitgebreide functionele testen moeten dan leiden tot een ontwerp dat geschikt is voor serieproductie. De organisatie van het ontwerpproces tot en met de totstandkoming van een prototype volgt uit figuur 7.

Figuur 7 Organisatie van het ontwerpproces



## De zegelautomaat

We zullen hier niet alle ontwerp stappen bespreken die volgens de hiervoor besproken systematiek hebben geleid tot een definitief ontwerp van de zegelautomaat. We volstaan met de constatering dat die systematiek heeft geleid tot een korte ontwikkeltijd. Zo kort dat er na de start in '92 nu een aantal serie-apparaten tot volle tevredenheid functioneert in diverse grootwinkelbedrijven. Het zal duidelijk zijn dat daar uitgebreide beproevingen in de harde praktijk van de supermarkt aan vooraf zijn gegaan.

Bij de start van het ontwerpproject is er eerst een programma van eisen en wensen tot stand gekomen als resultaat van een uitgebreid veldonderzoek. De belangrijkste conclusies uit dat veldonderzoek waren:

- Het met de hand uitkeren van waardezegels vraagt veel tijd en is fraudegevoelig.
- Er is grote behoefte aan een systeem voor het automatisch uitkeren van zegels, mits de investering wordt terugverdiend door de verkorting in de doorlooptijd bij het afrekenen.
- Zo'n automaat moet op commando van de kassa altijd het juiste aantal zegels uitkeren.
- De zegelautomaat moet eenvoudig zijn te bedienen.
- Alle gangbare typen zegels moeten verwerkt kunnen worden, zonder dat er speciale instellingen nodig zijn.
- De automaat moet feilloos werken en aangesloten kunnen worden op alle gangbare afrekensystemen.

## Funcies

Een eerste studie leverde de belangrijkste functies van de zegelautomaat:

- de communicatie met de kassa,
- het transport van zegels,
- het detecteren en tellen van zegels,
- het uitkeren van zegels en het bijhouden van uitgekeerde aantallen,
- het signaleren en herstellen van fouten.

Vervolgens leverde de multidisciplinaire ontwerpfase en een haalbaarheidsstudie een maakbaar systeemontwerp op. Dat systeemontwerp bestaat uit de blokken die zijn aangegeven in figuur 8.

## Een methodisch ontworpen zegelautomaat

### De functieblokken

Het systeemontwerp van figuur 8 omvat de hierna beschreven blokken.

Het communicatieblok verzorgt de communicatie van de zegelautomaat met het afrekenstelsel. De communicatie vindt plaats volgens een protocol met foutcorrectie en boodschaperkenning. Boodschappen die geldig worden bevonden, geeft het blok door aan het verwerkings- en besturingsblok. Meldingen van de automaat aan het afrekenstelsel lopen van het verwerkings- en besturingsblok via het communicatieblok naar de RS232-aansluiting.

Een stappenmotor zorgt via aandrukkrollen voor het transport van de zegelstrook vanaf de zegelrol. De aandrijving kan ook halve stappen maken. Het motorsturingblok genereert de pulsen voor de stappenmotor en regelt daarbij zowel hoekverdraaiing als snelheid en versnelling. De gegevens voor het motorsturingblok zijn afkomstig van het verwerkings- en besturingsblok.

Het leesblok ("opto interface" in figuur 8) bestaat uit een LED met bijbehorende stuurschakeling, een prisma en een lichtgevoelige diode die is gekoppeld aan een analoog-digitaal-omzetter met een breedte van 10 bits. Figuur 9 geeft een schematische tekening van de optiek van het leesblok.

Het messturingblok zorgt voor het doorgeven van een snijcommando van het verwerkings- en besturingsblok aan de elektromagneet voor de mesbeweging. Het mes snijdt het gewenste aantal zegels precies op de perforatie af. De schakeling van het messturingblok bevat een buffercondensator die de energie voor de mesbeweging levert. Door middel van pulsbreedtemodulatie (PWM) wordt de houdkracht van de elektromagneet geregeld.

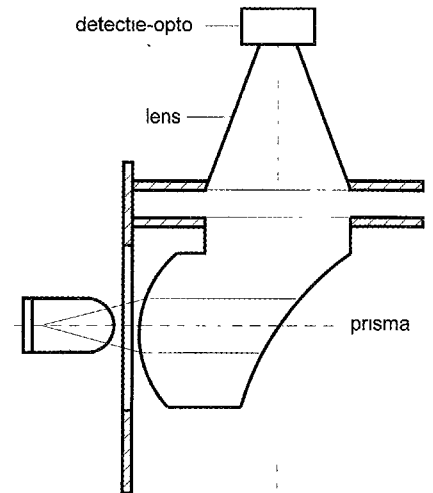
Het verwerkings- en besturingsblok zorgt door middel van een microprocessor voor de centrale besturing van de automaat. Tevens bevat dat blok een zelflerend meet- en zegeluitgiftesysteem en zorgt het voor de verwerking van alle meetsignalen. Het systeem is uitgevoerd met een bepaalde redundantie: een overmaat aan gegevens waardoor extra controle op de werking mogelijk

is. Zo telt de besturing òn het aantal stappen waarover de stappenmotor de zegelstrook verplaatst òn het aantal gepasseerde perforaties. Op deze manier komen papierstoringen aan het licht.

### De besturing

Aan de hand van figuur 10, het toestandsdiagram, zullen we - enigszins gesimplificeerd - de werking van de besturing uitleggen. Er zijn twee besturingssignalen: EC (Error Code) en MSG (Message). De waarde van deze signalen bepaalt de toestand waarin de besturing zich bevindt. Een verandering van die signalen zorgt voor een overgang van de ene naar de andere toestand. De toestanden waarin het systeem zich kan bevinden zijn de inschakel-, start-, communicatie-, werk- en fouttoestand.

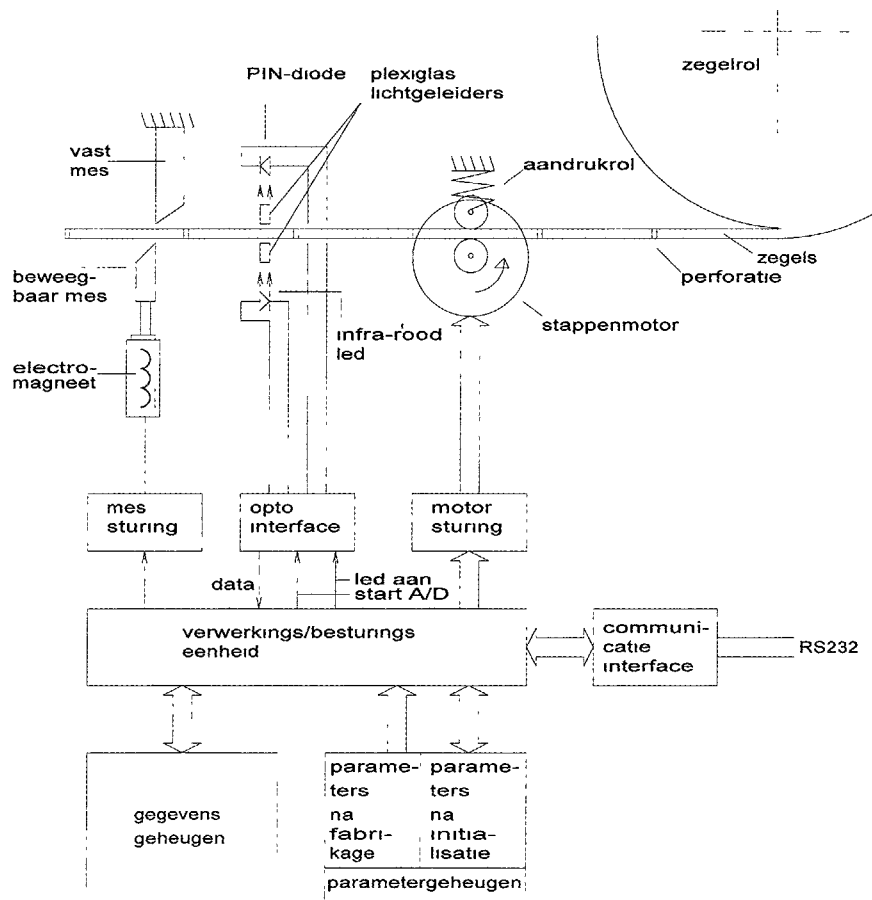
Na het inschakelen van de netspanning komt de besturing in de inschakeltoe-



Figuur 9 De optiek van het leesblok voor het waarnemen van de zegelperforaties

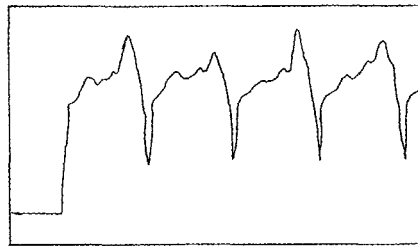
stand. In die toestand worden allereerst de parameters die in het (niet-vluchtige) EEPROM-geheugen zijn opgeslagen, op geldigheid gecontroleerd. Niet-geldige parameters worden verwijderd en vervangen door vaste waarden uit het besturingsprogramma. Vervolgens worden alle onderdelen van het apparaat

Figuur 8. Schematische weergave van de opbouw van de zegelautomaat



gecontroleerd. Een geconstateerde fout geeft EC een waarde die overeenkomt met die fout. Bij EC=0 gaat de besturing over in de starttoestand. Indien EC≠0 komt de besturing in de fouttoestand.

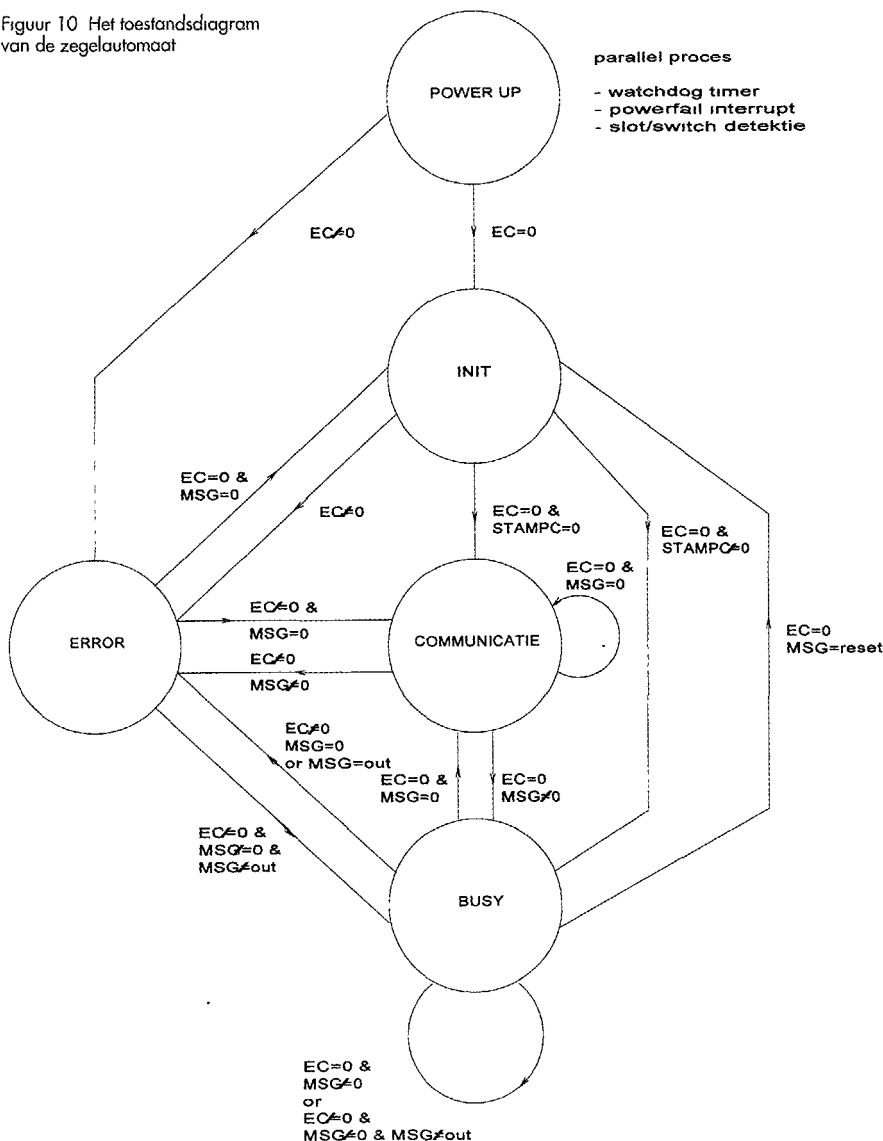
In de starttoestand wordt allereerst gecontroleerd of er zich zegels in het leesblok bevinden. Zo ja, dan wordt de zegelstrook teruggespoeld tot de lichtweg van het leesblok transparant is. Vervolgens wordt de optiek van het leesblok gecontroleerd. Bij EC=0 wordt de zegelstrook over een bepaalde lengte getransporteerd om een lichtdempingsprofiel te meten, zie figuur 11. Daarmee wordt gecontroleerd of het contrastver-



Figuur 11 Het lichtdempingsprofiel van een zegelstrook

schil tussen zegel en perforatie voldoende groot is. Bovendien wordt de zegellengte ermee gemeten. Als de eerste zegel te kort is, wordt geconcludeerd dat de strook foutief is afgescheurd, zodat de eerste zegel niet mag worden meegeteld. De gemiddelde lengte van drie goede zegels wordt vergeleken met de tolerantieparameters in het programma en bij accoordbevinding

Figuur 10 Het toestandsdiagram van de zegelautomaat



opgeslagen in het EEPROM-geheugen. Te grote spreiding in de lengte of ligging buiten het tolerantieveld maken EC≠0. Met EC=0 gaat de besturing over in de communicatietoestand

In de communicatietoestand wacht de besturing op een boodschap van het afrekensysteem of van de handbediening, die overigens alleen als optie aanwezig is. Als er een boodschap via het signaal MSG wordt ontvangen, worden de gegevens daarvan (waaronder het aantal uit te keren zegels) opgeslagen in een buffergeheugen en de besturing gaat met MSG≠0 over in de werктоestand. In de werктоestand wordt de stappenmotor net zolang van pulsen voorzien totdat het aantal door het leesblok gedetecteerde perforaties gelijk is aan het aantal uit te keren zegels. Tevens wordt het aantal stappen tussen twee perforaties gemeten en vergeleken met het aantal dat correspondeert met de gemiddelde zegellengte. Als dat niet klopt, wordt EC≠0. Met EC=0 en het juiste aantal afgetelde perforaties wordt de laatst geconstateerde perforatie naar het mes getransporteerd, waarna de magneet voor het mes wordt bekrachtigd. Ten slotte wordt de strook weer enige stappen terug getransporteerd, waarna de besturing terugkeert naar de communicatietoestand. De besturing wacht dan weer op een volgende opdracht.

Met EC≠0 komt de besturing dus in de fouttoestand. Er volgt dan een akoestisch signaal, het mes wordt omhoog gebracht, de LED in het meetblok wordt uitgeschakeld en er wordt een rode waarschuwings-LED ingeschakeld. De besturing probeert nu eerst zelf een automatische foutcorrectie uit te voeren. Daarvoor gaat de besturing terug naar de starttoestand, waarbij weer diverse controles worden uitgevoerd.

Als er een onoplosbare papierstoring is opgetreden, komt de automaat in de desbetreffende fouttoestand en moet het personeel het apparaat openen. Het apparaat komt daardoor in de fouttoestand "Apparaat Open", die alle andere fouttoestanden overschrijft. Na het opheffen van de papierstoring en het sluiten van het apparaat wordt EC weer gelijk aan 0. De automaat kan dan opnieuw in bedrijf komen via de starttoestand.