

Ontwerp en onderhoud

Citation for published version (APA):

Mooren, van der, A. L. (1979). Ontwerp en onderhoud. In *Onderhoud : van techniek naar terotechnologie : verslag van het 3e lustrumcongres, 9-11 mei 1979 te Maastricht. Deel 2: Parallel zittingen* (blz. 35-55). (NVDO rapport; Vol. 1979/3). Nederlandse Vereniging voor Doelmatig Onderhoud (NVDO).

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1979

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

DB 1 ONTWERP EN ONDERHOUD

Door: prof.dr.ir. A.L. van der Mooren,
 hoogleraar vakgroep Werktuigonderdelen en Onderhoud,
 Technische Hogeschool Eindhoven.

SAMENVATTING

Uitgaande van de oorzaken van falen wordt besproken hoe de ontwerper voldoende aandacht kan geven aan het onderhoudsaspect, in het bijzonder van werktuigkundige installaties. Om zijn doel te bereiken dient hij constructieve mogelijkheden af te wegen tegen technisch organisatorische maatregelen. Voor verhoging van bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid kunnen algemene geformuleerde richtlijnen en/of uitgewerkte vragenlijsten worden gebruikt. Overleg met produktie-, onderhouds- en servicediensten is onontbeerlijk.

INHOUD

1	INLEIDING	36
2	ONDERHOUDSBEWUST ONTWERPEN	36
3	SAMENHANG TUSSEN WERKTUIG EN ONDERHOUDSSYSTEEM	38
4	TECHNISCH-CONSTRUCTIEVE ASPECTEN	40
	4.1 Kwantificering	40
	4.2 Verhogen van R en M	41
	4.3 Verhogen van R	43
	4.4 Verhogen van M	44
5	ORGANISATORISCHE ASPECTEN	45
	5.1 Informatietekort	45
	5.2 Samenwerking	46
	5.3 Taakstellingen	46
	5.4 Actie NVDO	47
6	BESLUIT	49

1 INLEIDING

In deze parallelzitting past een inleidende beschouwing die o.a. aangeeft wat onder het thema van deze ochtend "*onderhoudsbewust ontwerpen*" kan worden verstaan en met welke vragen de ontwerper zich ziet geconfronteerd indien hij onderhoudsaspecten in zijn ontwerp tot hun recht wil laten komen. Aangezien een half uur niet veel is voor een dergelijk overzicht, heb ik gekozen voor een bondige opbouw rond enkele - in mijn ogen - verhelderende schema's en figuren. Gezien de beschikbare tijd moet ik mij echter beperken bij het geven van voorbeelden en andere toelichtingen, maar méér is te vinden in enkele recente publicaties [1], [2]. Bovendien zullen de volgende voordrachten en de film U vanochtend ook met praktijkvoorbeelden confronteren. Voorts zal ik mij beperken tot *werktuigen*, maar veel van hetgeen ik zeg is ook van toepassing op andere technische systemen, zoals elektrotechnische en bouwkundige.

2 ONDERHOUDSBEWUST ONTWERPEN (fig. 1)

Ontwerpen is het oplossen van een probleem. Het probleem wordt gevormd door de behoefte waarin moet worden voorzien, b.v. gecomprimeerde lucht, de oplossing is het werktuig dat daarvoor moet worden bedacht, de compressor. Het oplossen gebeurt door het eisenpakket op te stellen en van het werktuig de werkwijze en de functionele en materiële structuur te bepalen, b.v. een tweetraps zuigercompressor. Dat gebeurt zowel voor het systeem als geheel, als voor zijn componenten en vervolgens worden van alle onderdelen o.a. de vorm, de afmetingen

en het materiaal vastgelegd: huis, lagers etc. Kenmerkend voor ontwerpen is o.a. dat het een *optimaliseringsproces* is, aangezien de te vervullen eisen deels strijdig zijn en een compromis noodzakelijk maken; denk b.v. aan een hoog rendement bij lage kostprijs.

Onderhoudsbewust ontwerpen beoogt in het compromis ook onderhoudsaspecten tot hun recht te laten komen. Elk technisch systeem is tijdens zijn leven aan verval onderhevig en behoeft zorg in de vorm van onderhoud, zowel van preventieve aard (b.v. smeren), als correctieve aard (b.v. vervangen van versleten onderdelen) om goed te blijven functioneren. Verwaarloost men dit aspect bij het ontwerpen, dan kan het werktuig later niet voldoen om twee redenen:

- het vergt teveel onderhoudsacties, d.w.z. de bedrijfszekerheid R is te laag doordat te vaak één of meer componenten falen, of het vergt te vaak preventieve acties.
- de noodzakelijke onderhoudsacties zijn niet doelmatig uit te voeren, d.w.z. de onderhoudbaarheid M is te laag, b.v. doordat te vervangen componenten moeilijk toegankelijk en verwisselbaar zijn.

Beide factoren leiden tot extra kosten, vaak ook in de vorm van te hoge produktie-uitvalkosten. In de keuze tussen b.v. een zuigercompressor, een centrifugaalcompressor en een schroefcompressor - een kwestie van verschil in werkwijze - dienen onderhoudsaspecten mee te tellen.

In het eisenpakket moeten dus R- en M-eisen voor komen wil dit aspect geen sluitpost vormen. Ook R en M eisen kunnen strijdig zijn met elkaar, denk b.v. aan inspectieluiken in de huid van een vliegtuig. Zij kunnen eveneens strijdig zijn met andere functionele eisen, b.v. een laag gewicht, en verhogen i.h.a. de fabricageprijs. Verminderen van de onderhoudsbehoefte aan een constructie mag dan ook geen doel in zichzelf zijn, het moet passen binnen het streven om de *totale levensduurkosten* te minimaliseren, d.w.z. alle kosten om een werktuig voor gebruik ter beschikking te stellen en te houden zoals dat o.a. in het *terotechniek*-concept wordt beoogd. Daarom lijkt de term: *onderhoudsbewust* ontwerpen mij beter dan: *onderhoudsarm*

ontwerpen. *Onderhoudsgericht* ontwerpen lijkt me minder gelukkig omdat het, taalkundig gezien, óók kan worden uitgelegd als ontwerpen met méér onderhoud als doel; *onderhoudsvriendelijk* ontwerpen legt te eenzijdig de nadruk op het M-aspect.

3 SAMENHANG TUSSEN WERKTUIG EN ONDERHOUDSSYSTEEM

Een *eerste conclusie* is dus dat het streven naar lagere onderhoudskosten moet worden verruimd tot het streven naar minimale levensduurkosten. Wel is het zo dat daarbij kan blijken dat de onderhoudskosten een relatief belangrijke en vrijwel de enige nog te verlagen post vormen. Dat doet zich b.v. voor bij civiele vliegtuigen.

De onderhoudsbewuste ontwerper moet zijn blik echter ook nog in een ander opzicht verruimen. De onderhoudskosten van een technisch systeem kunnen niet alleen worden verlaagd door constructieve maatregelen aan het object zelf, b.v. door gebruik van gestandaardiseerde onderdelen, maar ook door speciaal gereedschap mee te leveren. Wat de ontwerper moet kiezen is ook in dit geval een kwestie van kosten. Hij moet a.h.w. de combinatie van technisch systeem en bijbehorend onderhoudssysteem in het oog houden, zie fig. 2. Dit onderhoudssysteem bestaat o.a. uit mensen, materiële middelen en procedures. Het is mogelijk dat het een randvoorwaarde vormt. Meestal kan het echter ten dele nog vrij worden gekozen, b.v. of al dan niet periodieke vervanging van onderdelen zal worden toegepast, een kwestie van procedure (onderhoudsconcept). De consequenties van deze gedachte zijn ingrijpend en verstrekkend. Het houdt b.v. in dat de ontwerper bij zijn werk niet alleen rekening moet houden met de vraag *hoe* een object kan *falen*, maar ook met de vraag *hoe* men dan de *onderhoudsacties* zal *uitvoeren*.

De eerste vraag, op welke wijze een systeem kan falen, is eenvoudig gesteld, maar meestal moeilijk te beantwoorden. Ook hierbij doet zich n.l. het probleem voor dat een te enge wijze van beschouwen niet zinvol is. Uitgaan van de levensduur van componenten onder normale bedrijfsomstandigheden (in de werktuigbouwkunde al vaak een onbekende grootheid!) is immers in de praktijk onvoldoende. U weet dat defecten ook, en soms in meerderheid, optreden a.g.v. abnormale omstandigheden (of de beruchte samenloop daarvan!) die niet zijn voorzien of zelfs voor onmogelijk werden gehouden. Ik denk hierbij o.a. aan extra belastingen, c.q. verminderderde, belastbaarheid a.g.v. starten en stoppen, verontreinigde grond- en hulpstoffen, fouten gemaakt bij bediening en onderhoud, omgevingsinvloeden in de vorm van trillingen, vocht etc. Een dergelijke analyse leidt alleen tot verwerkbare resultaten indien daarbij ook de kans op het vóórkomen van een bepaald defect en de gevolgen daarvan worden geschat, zodat men zich verder kan beperken tot de relatief belangrijke gevallen, na b.v. een Pareto-analyse.

De tweede vraag, hoe de onderhoudsacties zullen worden verricht nadat een defect is opgetreden, kan alleen worden beantwoord met kennis van de onderhoudsuitvoering, o.a. over de diverse stadia van een onderhoudskarwei: localiseren, schoonmaken, demonteren, repareren, monteren, afstellen en proefdraaien. Een centrale plaats neemt veelal de wijze van repareren van het systeem in: de defecte component kan worden hersteld (b.v. door verbussen) of worden vervangen door een reserve-exemplaar en de uitvoering kan ter plaatse of in een werkplaats gebeuren.

Ook hier blijkt weer dat in het probleem *technische* en *organisatorische* aspecten zijn verweven. Minder vaak falen kan o.a. worden bereikt door bedrijfszekerder componenten en door het inbouwen van beveiligingen, maar ook door betere instructies en door preventieve acties uit te voeren volgens een bepaalde procedure, b.v. op basis van de gemeten conditie van critieke onderdelen. Wat men

doet bij een defect hangt mede af van de beschikbare onderhoudsmiddelen en de gevolgen van de stopstand. Sneller repareren kan o.a. worden bereikt door betere toegankelijkheid, maar ook door betere werkvoorbereiding.

Resumerend: onderhoudsbewust ontwerpen moet voldoende ruim worden opgevat:

- levensduurkosten vormen het optimaliseringscriterium
- werktuig en onderhoudssysteem hangen samen
- bijzondere gebruikscondities zijn ook relevant
- technische en organisatorische aspecten zijn niet te scheiden.

Kortom: onderhoudsbewust ontwerpen is een complexe aangelegenheid die een brede aanpak vergt om zijn doel te bereiken. De vraag is: Hoe doe je dat? Ik wil dit antwoord geven in twee stappen door eerst de *technisch-constructieve* kant en dan de *organisatorische* zijde te bespreken.

4 TECHNISCH-CONSTRUCTIEVE ASPECTEN

4.1 Kwantificering

Voor de *technisch-constructieve* kant van de zaak keer ik terug naar fig. 1. Neem aan dat één of meer (deel)oplossingen beschikbaar zijn en dat de vraag m.b.t. R en M is:

- wat is de beste oplossing?
- voldoet die aan de gestelde eisen?

Daartoe is het nodig R en M te *meten*, let wel: in de *ontwerpfase*. Wij kunnen dit, zoals bij elk samengesteld probleem, slechts doen door terug te gaan tot reeds opgeloste onderdelen van het probleem als geheel, i.c. tot componenten waarvan de betreffende eigenschappen al bekend zijn, b.v. uit ervaring. Vervolgens wordt m.b.v. de relaties tussen de deelsystemen het gedrag van het systeem als geheel bepaald. Op deze wijze kan b.v. de faalkans worden berekend volgens een techniek die bekend staat als de *failure-mode-effect-and-criticality-analysis*.

Hoe waardevol een aldus gestructureerde benadering ook is, bij de uitvoering treden vele moeilijkheden op. Eén daarvan is het gebrek aan gegevens aangaande het te verwachten gedrag van werktuigkundige componenten onder specifieke gebruikscondities, een andere de wijze waarop de componenten elkaar onderling beïnvloeden. Vandaar dat i.h.a. aan een benadering vanuit een mathematisch model niet te denken valt en een ontwerp vaak nog vele onzekerheden bevat. Die onzekerheid kan worden verkleind door het uitvoeren van onderzoek naar het gedrag van componenten en naar rekenregels. In critieke gevallen kan men een prototype bouwen of conditiebewaking overwegen. Ik wil op dit interessante thema hier nu niet dieper ingaan, maar volstaan met twee kanttekeningen:

- Een globale benadering is beter dan niets en vaak voldoende om althans de zwakke plekken van de constructie bloot te leggen en eventueel te verbeteren. Dat geldt zowel voor R als M.
- Er moet de ontwerper veel aan gelegen zijn om gegevens uit de praktijk te verzamelen en te verwerken in volgende constructies teneinde gemaakte fouten niet te herhalen.

Stel nu dat de aldus geschatte waarden van R en/of M onvoldoende zijn, welke constructieve mogelijkheden staan dan open om daarin verbetering te brengen? Uitgangspunt voor het opsporen van dergelijke richtlijnen moet de wisselwerking zijn tussen het werktuig en aspectsystemen van zijn omgeving: andere werktuigen, bedieningsmensen enz., ook het onderhoudssysteem. Fig. 3 toont een aantal eigenschappen van een werktuig die het functioneren van de mens, als deel van het onderhoudssysteem, beïnvloeden. Via dergelijke analyses kan men, als eerste arbitraire uitwerking, tot drie categorieën van maatregelen komen, fig. 4.

4.2 Verhogen van R én M

1. Constructie vereenvoudigen

Bij de Amerikanen staat dit bekend als het KISS-concept (Keep It Simple Stupid). Te denken is aan het beperken van het aantal nevenfuncties en van het aantal onderdelen om de resterende deelfuncties te vervullen. Een groot aantal onderdelen kan een ongunstige invloed op R hebben: het merendeel staat in serie, als de schakels van een ketting. Elk onderdeel dat er niet is heeft a.h.w. een

ideale R- en M-waarde.

2. Modulaire bouwwijze kiezen.

Opbouw uit modulen, oorspronkelijk ontstaan om fabricagekosten te drukken door uniforme uitvoering van terugkerende deelfuncties, kan voordelen hebben uit onderhoudsoogpunt. Men kan met minder verschillende onderdelen volstaan die men elk beter kan optimaliseren en die snel te verwisselen zijn. In het verlengde liggen voordelen a.g.v. normalisatie en standaardisatie van componenten, materialen, hulpstoffen e.d. De mogelijkheid tot vergissingen neemt af mits de aansluitvlakken van modulen met afwijkende functies onderling verschillen.

3. Rationaliseer preventief onderhoud

Vermindering of eliminatie van preventieve onderhoudsacties (zonder toeneming van correctieve) vermindert o.a. sleutel- en afstelfouten (op levensduur gesmeerde lagers). Wat overblijft eventueel centraliseren (b.v. smeerinstallatie) of automatiseren (b.v. zelf-nastellende remmen).

4. Beperk gevolgschade.

Voorkom dat het ene defect het andere oproept, b.v. lekkages of warmte-ontwikkeling. Beveiligingen tegen overbelasting (slipkoppeling) of abnormale belastingssoorten (afschermingen) zijn te overwegen.

5. Verbeter afstemming op onderhoudssysteem

Denk b.v. aan conditiebewaking d.m.v. een signaleringssysteem dat procescondities en/of relevante gedragsindicaties - b.v. lagertrillingen - (semi)continu meet: falen wordt voorkomen - zij het ten koste van preventieve acties -, de localisatie van defecten kan sneller verlopen.

Bij wijze van illustratie een eenvoudig voorbeeld (fig. 5), een plunjerafdichting die uit onderhoudsoogpunt aantrekkelijk geconstrueerd is. Tegen het pomphuis is een cilinder (1) gemonteerd, die de plunjer (2) moet geleiden en afdichten. Het geheel is een voorbeeld van een modulaire bouwwijze (snel te vervangen). De pakking (3) wordt aangedrukt door de bus (4) met een kracht die evenredig is aan de druk in het pomphuis (levensduur maximaal), nastellen geschiedt automatisch (minder preventieve acties). Pen (5) geeft aan wanneer de pakking moet worden vernieuwd (conditiebewaking).

4.3 Verhogen van R

Hierbij kan worden overwogen:

1. Uitwendige belastingen op het systeem elimineren, verlagen of beter verdelen.

Veel defecten zijn het gevolg van uitwendige belastingen die bij het ontwerp niet zijn voorzien. Na opsporen kan men trachten deze te elimineren met beveiligingsinrichtingen (b.v. fool-proof constructie tegen bedieningsfouten), te verlagen (b.v. met trillingsdempers) of beter te verdelen (b.v. meer steunpunten).

2. Bedrijfszekerder structuur.

Onder structuur in dit verband te verstaan: het geheel van de interne relaties binnen het systeem, waarvan de doorleiding van uitwendige invloeden naar de componenten en omgekeerd, alsmede de relaties tussen de componenten onderling. T.a.v. inwendige belastingen valt te denken aan de bovengenoemde maatregelen, elimineren, verlagen of beter verdelen. Een andere mogelijkheid is toepassing van redundantie (overtaligheid) waarbij één of meer additionele componenten de taak van een gefaalde component kunnen overnemen. Redundantie komt niet alleen in de elektrotechniek, maar ook in de werktuigbouwkunde veel voor, o.a. bij besturingssystemen en centrale voorzieningen. De bereikte verhoging van R hangt er mede van af hoe snel het inspectiesysteem een defect constateert.

3. Bedrijfszekerder componenten.

Gebruik zo mogelijk beproefde onderdelen. Denk aan het verhogen van de belastbaarheid door de keuze van vormen, afmetingen en materialen teneinde de voornaamste oorzaken van falen: plastische vervorming, breuk, slijtage en corrosie tegen te gaan. Hierbij valt niet alleen te denken aan het vermijden van overbekende fouten waartegen nog steeds wordt gezondigd (scherpe afrondingen b.v.), maar ook aan het toepassen van nieuwe technieken (b.v. oplassen met slijtvaste lagen, een werkwijze die overigens uit het onderhoud stamt), aan gebruik van nieuwe van nieuwe materialen (b.v. kunststoffen als lagermateriaal) en aan het toepassen van andere fysische principes en werkwijzen (b.v. magneetslot i.p.v. snapslot).

4.4 Verhogen van M

Hierbij kunnen verbeteringen worden overwogen t.a.v. (zie ook fig. 3):

- *werkomstandigheden* waaronder ook de veiligheid is te rekenen. Te denken is o.a. aan stank en vuil, langdurig boven het hoofd, gehurkt of liggend werken, scherpe randen, gladde vloeren etc.;
- *waarneembaarheid* van (een samenstel van) componenten. Te denken is o.a. aan een onbelemmerd blikveld, hulpmiddelen zoals peilstokken, voldoende licht, kijkgaten etc.;
- *inzichtelijkheid* van het systeem. Te denken is o.a. aan een eenvoudige, logische opbouw, aanwezigheid van opschriften en schema's, coderingen met kleur etc.;
- *"handelbaarheid"* van het systeem, een wat ongebruikelijke verzamelnaam voor aspecten als:
 - . bereikbaarheid van componenten. Te denken is o.a. aan ruimte voor uitbouwen, hanteren van gereedschap, toegangsluiken, bordessen, ladders. Bedenk dat werkhoogtes, reikwijdtes, openingen etc. moeten zijn aangepast aan de menselijke anatomie.
 - . hanteerbaarheid van het systeem en zijn componenten. Te denken is aan gewichts- en vormbeperkingen, mogelijkheid tot aanpakken, verplaatsen en tillen, gebruik van sledes, hijsogen etc.

- . losneembaarheid van verbindingen. Te denken is aan beperking van het aantal verbindingingsmiddelen, vermijden van tapbouten, gebruik van knevels, kwartslagschroeven etc.
- . instelbaarheid. Te denken is aan positioneren, justeren en uitlijnen etc., te vereenvoudigen door merktekens, aanslagen, paspenen, zoekranden e.d.
- . bewerkbaarheid. Te denken is aan de mogelijkheid tot repareren d.m.v. lassen, opzuiveren, vlakken, opboren, verbussen etc.
- . reinigbaarheid. Te denken is aan de mogelijkheid tot schoonmaken (hoeken, gaten, spleten, oppervlakteruwheid, aard van het materiaal).

Veel gegevens zijn te ontleen aan publicaties op ergonomisch gebied.

5 ORGANISATORISCHE ASPECTEN

5.1 Informatietekort

Er zijn dus een aantal *algemeen geldige constructieve richtlijnen* te formuleren om R en M van een werktuig te verbeteren. Die richtlijnen zouden voor een bepaalde klasse van werktuigen, b.v. warmte-wisselaars, een specifieke, constructieve uitwerking kunnen krijgen, b.v. in de vorm van een *atlas met voorbeelden*. Vanzelfsprekend zal de ontwerper, als vakman, ook nu al vele van deze maatregelen van meet af aan in zijn ontwerp inbouwen en niet pas later, nadat analyse tekortkomingen heeft aangetoond. Eigenlijk is de taak van de ontwerper immens. Je zou - wat overdreven gesteld - zijn problemen kunnen zien als een worsteling om voor zijn beslissingen te kunnen beschikken over voldoende betrouwbare en relevante gegevens maar daar komt hij nooit aan toe, mede gezien de beperkte middelen, zoals tijd en geld, die hem ten dienste staan. Dit *tekort aan informatie* slaat niet alleen op puur technische kennis, betreffende de mérites van materialen, componenten en werkwijzen, maar, zoals wij zagen, evenzeer op gebrek aan inzicht in de werkelijke gebruiksomstandigheden en het onderhoudssysteem.

5.2 Samenwerking

Het lijkt duidelijk dat het behandelen van zo'n complexe vraagstelling i.h.a. niet door één man, 'de' ontwerper, en niet door één discipline, b.v. de werktuigbouwkunde, kan worden geklaard. De ontwerper kan geen ervaren specialist zijn op zoveel vakgebieden; veel informatie die hij nodig heeft staat niet op schrift. U begrijpt waar ik naar toe wil: ontwerpen in het algemeen, maar ook onderhoudsbewust ontwerpen, zal vaak een zaak moeten zijn van samenwerking tussen vele betrokkenen. Daarmee ben ook ik dan aangekomen in de hoek waar elke discussie over dit onderwerp met praktijkmensen snel belandt en, helaas, meestal ook zijn droevig einde vindt met hun opmerking dat dat wel juist is, maar dat de ervaring leert dat die samenwerking niet functioneert. Daarvoor worden dan ook nog sprekende verklaringen genoemd, zoals:

- te weinig bereidheid om inbreng van anderen te aanvaarden en deskundigheid uit te wisselen
- geen ruimte in levertijd en aankoopbudget om aan onderhoudsaspecten nog aandacht te kunnen besteden.

5.3 Taakstellingen

Ik heb niet de illusie dat ik hier het verlossende woord kan spreken, maar ik zal trachten - mede als samenvatting - nog eens duidelijk te stellen hoe het probleem luidt in de hoop daarmee iets aan de oplossing bij te dragen. Ik wil dat resumé ophangen aan het schema in fig. 6.

- Om te beschikken over werktuigen die geen onnodige onderhoudsproblemen oproepen, moeten van meet af aan onderhoudsaspecten in het ontwerp worden betrokken. Al in het *eisenpakket* horen R- en M-specificaties thuis.
- *Onderhoudsbewust ontwerpen* vereist een brede aanpak die zowel constructief-technische, als organisatorische aspecten omvat. Samenwerking van de ontwerper met andere deskundigen zal vaak noodzakelijk zijn. Te noemen zijn: de *opdrachtgever*, de toekomstige *gebruikers* (zowel produktie als onderhoudsdienst) en diverse *specialisten* b.v. op het gebied van materiaalkeuze, veiligheid, kosten etc.

- Taak van de *ontwerper* is o.a. om niet alleen zijn specifieke vak-kennis als 'constructeur' in te brengen, maar ook om voldoende informatie te verzamelen die relevant is voor het functioneren van het systeem in zijn omgeving en die dus bij de keuze van de optimale oplossing moet worden betrokken. Hij moet inzien dat dit veelal slechts kan lukken door ook anderen te raadplegen en aan de besluitvorming te laten deelnemen.
- Taak van *produktie- en onderhoudsdienst* is het om vanuit hun praktijkervaring gegevens te verschaffen over het gewenste en het te verwachten gedrag, liefst gebaseerd op objectieve waarnemingen. Van hen wordt begrip verwacht voor het feit dat elk ontwerp een compromis is en dat niet al hun verlangens kunnen worden gehonoreerd.
- Taak van de diverse specialisten, b.v. verenigd in een *project-team* waarvan ook vertegenwoordigers van de opdrachtgever en de productie- en de onderhoudsdienst deel uitmaken, is om beslissingen voor te bereiden door alternatieven te bedenken en deze gezamenlijk te evalueren. Het team moet begrip hebben voor het feit dat de ontwerper uiteindelijk mede op grond van imponderabele factoren en zijn vakmanschap tot zijn besluit komt.
- Taak van de *opdrachtgever* is te zorgen dat de opdracht ruimte laat (in tijd en geld) om voldoende aandacht te besteden aan onderhoudsvragen, te bevorderen dat beslissingen zoveel mogelijk op basis van levensduurkosten worden genomen en te stimuleren en te controleren dat overleg in de eerder beschreven zin functioneert. Hij moet begrijpen dat dit zeker niet lukt als hijzelf zich aan de discussie over onderhoudsaspecten onttrekt.

5.4 Actie NVDO

Nu kunnen ook wij, zoals wij hier zitten, zeggen dat dat allemaal wel waar mag zijn, maar dat het toch niet haalbaar is. Als wij ons bij dat standpunt neerleggen, blijven we met zijn allen zitten met werktuigen die niet goed op onderhoud zijn voorbereid. Ik geloof niet dat we dat moeten doen. Niet omdat ik het schema zo mooi vind, ik weet best dat het niet beter is dan soortgelijke andere schema's en

dat het o.a. sterk van bedrijfsorganisatorische overwegingen afhangt of zij functioneren, b.v. van een vruchtbare koppeling tussen constructiebureau en onderhouds- c.q. servicedienst binnen de technische functie. Neen, ik zeg dit vooral omdat ik geloof dat we nu het tij mee hebben: de belangstelling voor onderhoudskwesties neemt duidelijk toe. In de industrie hebben o.a. schaalvergroting en toenomen complexiteit van de produktiemiddelen daartoe geleid. De consument stelt zijn eisen aan gebruiksartikelen, de fabrikant moet daarop inspelen, leest U de advertenties in de krant maar (auto's, copieerapparaten etc.). De maatschappelijke ontwikkeling speelt ons in de kaart, met zijn streven naar technische systemen met langere levensduren, grotere veiligheid, lagere milieubelasting en een geringer verbruik aan energie en schaarse grondstoffen. Het onderwijs gaat er aandacht aan besteden: aan de TH Eindhoven komen de bedrijfskundige aspecten van onderhoud al vele jaren in de colleges aan de orde, sinds enkele jaren echter ook de ontwerpaspecten.

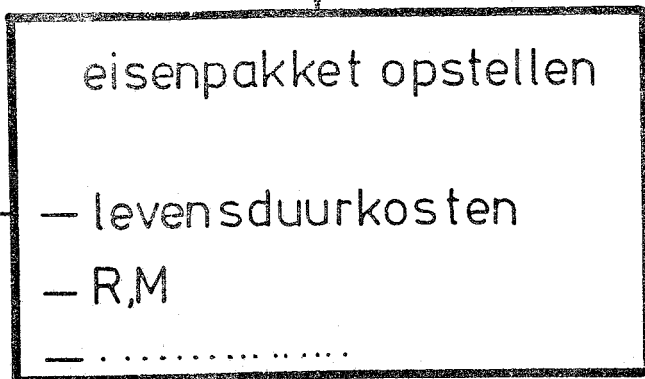
Hoe het zij, de NVDO zit niet bij de pakken neer, want zij heeft een werkgroep "Onderhoud en Ontwerp" ingesteld die eind van dit jaar met een rapport hoopt te komen over dat onderwerp. In feite zijn een aantal gedachten uit mijn betoog ontsproten aan de levendige discussies tussen de leden van die werkgroep. Het is hun bedoeling o.a. een aantal goed gestructureerde *vragenlijsten* op te stellen. Dit gereedschap kan niet alleen een geheugensteuntje vormen voor de ontwerper, maar ook heilzaam zijn door binnen een organisatie een basis voor overleg te vormen. Zij bieden de mogelijkheid om tot discussie te komen zonder dat dit onmiddellijk als negatieve kritiek wordt ervaren. Zij kunnen worden benut om anderen gericht in te schakelen, b.v. door op grond van hun ervaring te laten aangeven hoe bepaalde vragen moeten worden verbijzonderd en beantwoord. Uiteraard krijgt U t.z.t. gelegenheid op dat rapport te reageren en suggesties te geven voor verbeteringen.

6 BESLUIT

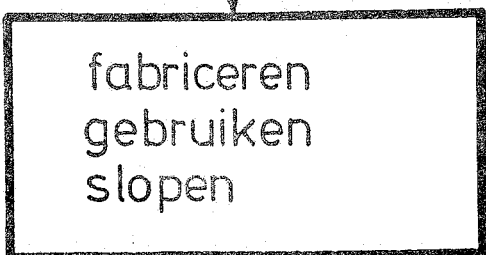
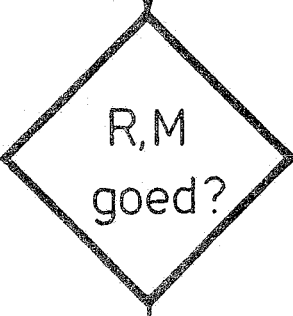
In mijn voordracht heb ik getracht het probleemveld af te bakenen van het onderhoudsbewust ontwerpen, als dominerend aspect binnen de terotechniek. Het bleek dat onderhoudsbewust ontwerpen geen eng specialisme kan zijn, maar een brede technisch-organisatorische aanpak vergt waarbij het werktuig samen met het bijbehorend onderhoudssysteem wordt gezien en begrepen als levensduurkosten, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid centraal staan. Die begrippen zijn niet nieuw; als er sprake is van nieuwigheid, dan betreft dit de afwijkende accenten, de bijzondere relaties die moeten worden gelegd door het ontwerpen primair vanuit onderhoudsoogpunt te bezien. De keuze van deze invalshoek vindt zijn rechtvaardiging in de huidige, maatschappelijke, ontwikkelingen. Men kan dan ook stellen dat onderhoudsbewust ontwerpen met het doel minimale levensduurkosten te bereiken, niet zozeer een *specialisme binnen* als wel een *actuele uitwerking van de algemene werktuigbouwkunde* is.

LITERATUUR

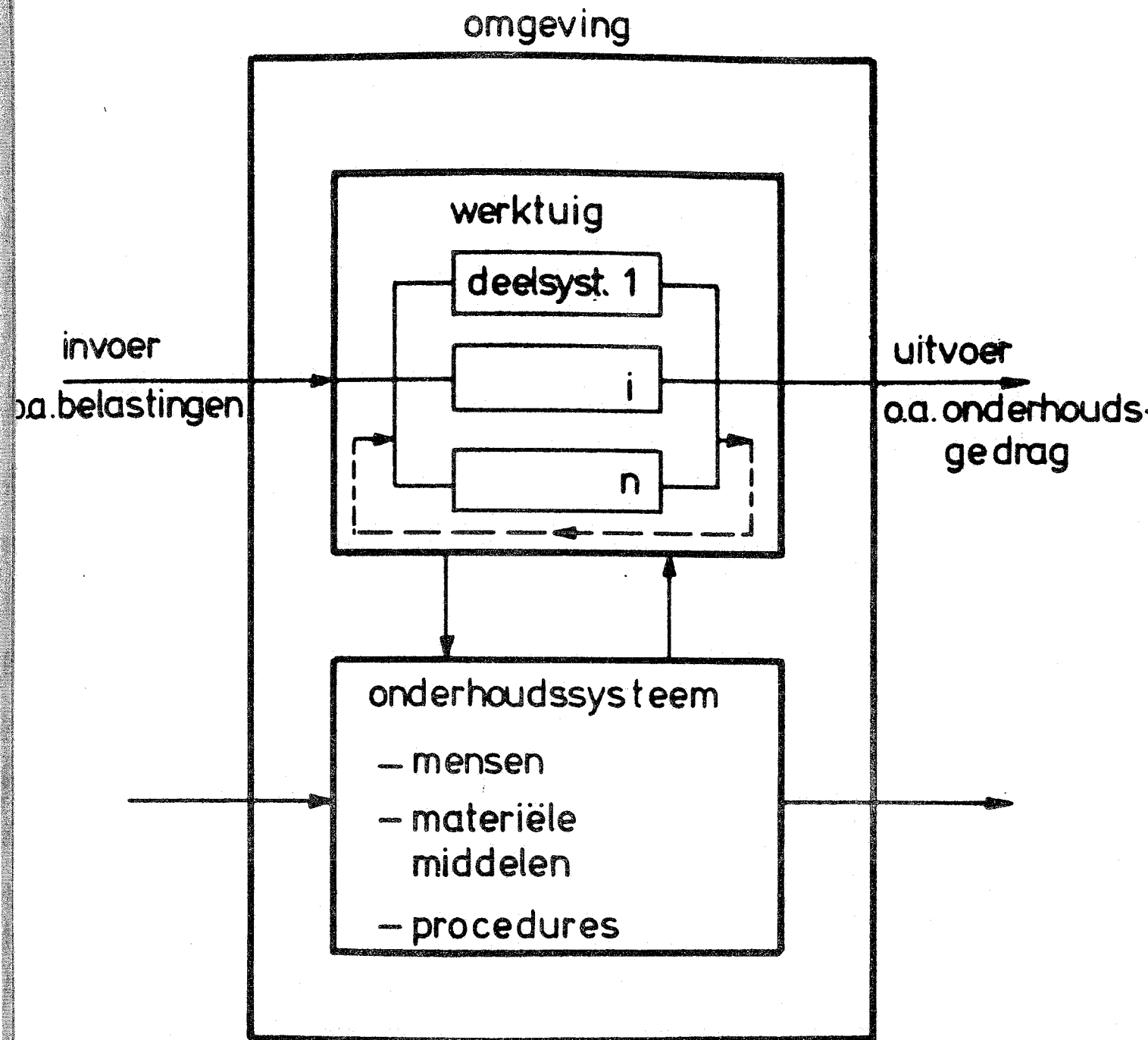
- [1] Mooren, A.L. van der en P. Smith, Onderhoud als ontwerpaspect bij werktuigen, Polytechnisch Tijdschrift 34 (1979), nr. 6, p. 322-342
- [2] Smith, P., Onderhoudbaarheid, een grijpbaar ontwerpaspect?, Polytechnisch Tijdschrift 34 (1979), nr. 7



ONTWERPEN			
stappen / fasen	probleem formuleren	mogelijke oplossingen bedenken	optimale oplossing kiezen
concipiëren			
construeren			
uitwerken			



figuur 1
ontwerpproces

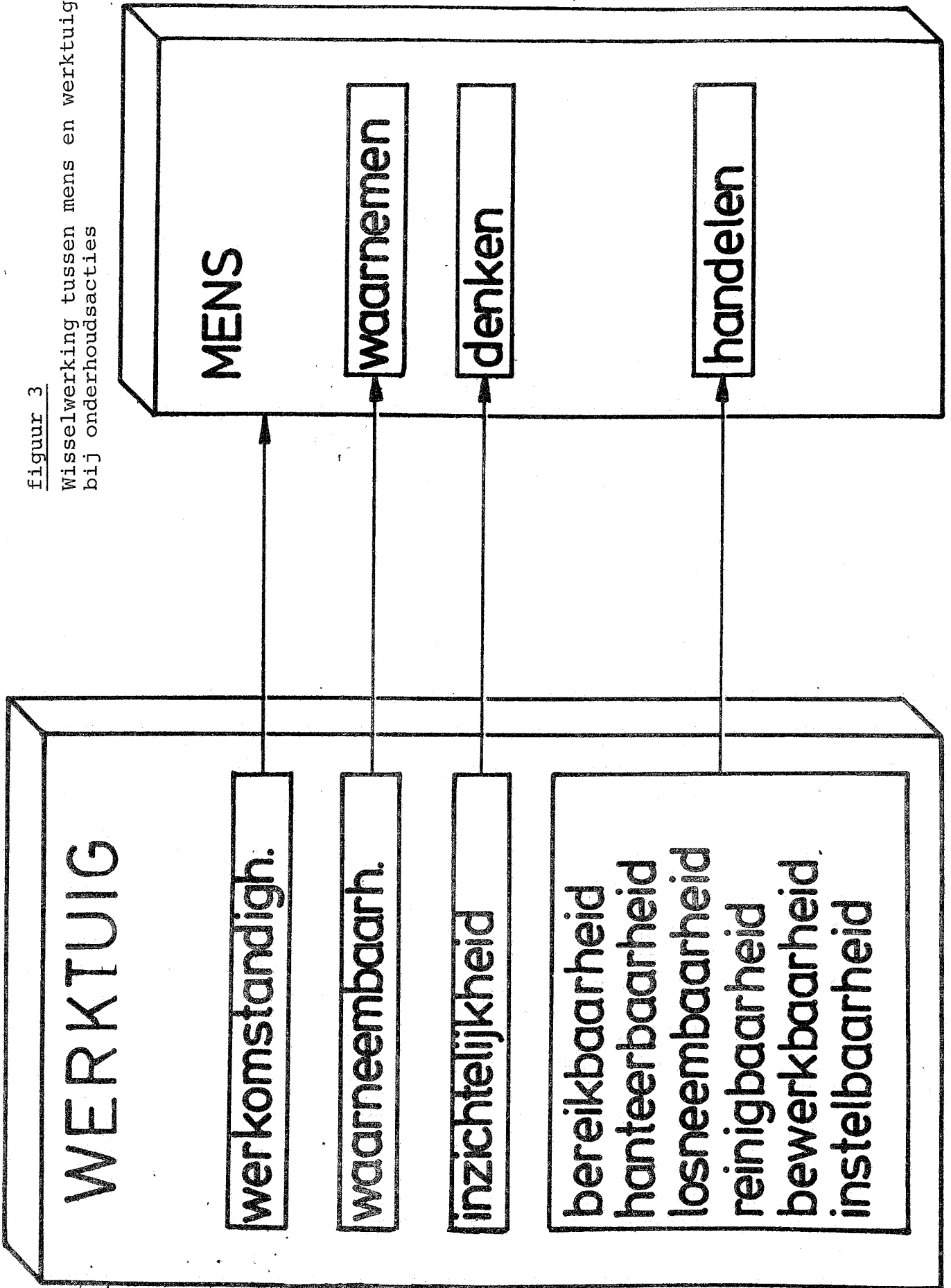


figuur 2

Samenhang tussen werktuig en onderhoudssysteem

figuur 3

Wisselwerking tussen mens en werktuig bij onderhoudsacties



Technisch-constructieve richtlijnen

R en M :

- vereenvoudigen (KISS)
- modulaire opbouw, standaardisatie
- preventief onderhoud doelmatiger
- gevolgschade beperken
- afstemmen op onderhoudsysteem

R:

- uitwendige belasting
 - elimineren
 - verlagen
 - verdelen
- bedrijfszekerder structuur
- bedrijfszekerder componenten
- betere conditiebewaking

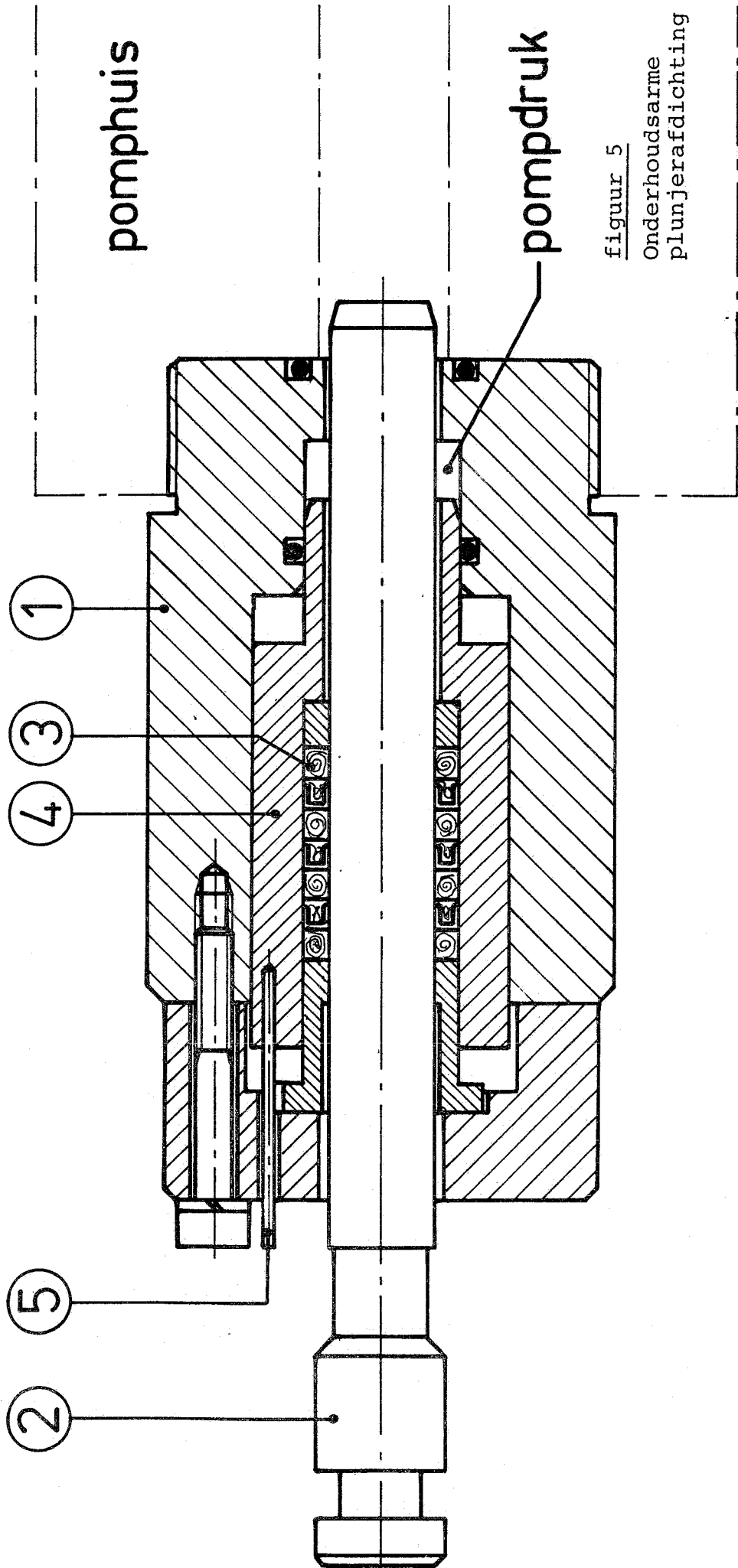
M:

verbeteren

- werkomstandigheden
- waarneembaarheid
- inzichtelijkheid
- handelbaarheid

figuur 4

Technisch-constructieve richtlijnen voor verhoging van R en/of M van werktuigen



pomphuis

pompdruk

figuur 5

Onderhoudsarme
plunjerafdichting

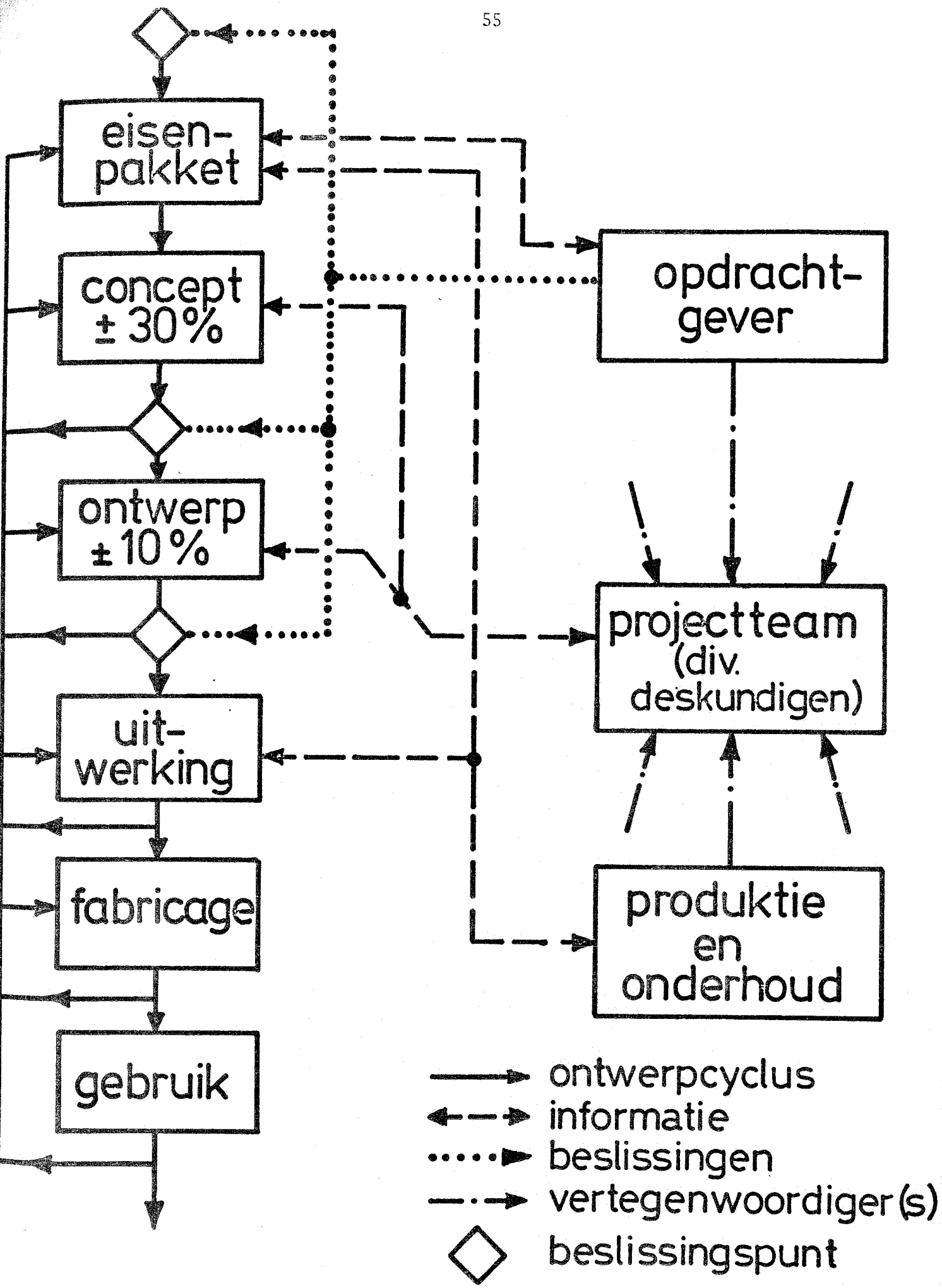
1

3

4

5

2



ontwerpcyclus met externe inbreng

figuur 6

Samenwerking bij het ontwerp