

De charme van het onvolmaakte

Citation for published version (APA):

Mooren, van der, A. L. (1990). *De charme van het onvolmaakte*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

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.

De charme van het onvolmaakte

AFSCHEIDSCOLLEGE

Prof.dr.ir. A.L. van der Mooren



Technische Universiteit Eindhoven

AFSCHEIDS- COLLEGE

Gegeven op 23 november 1990
aan de Technische Universiteit
Eindhoven door
Prof.dr.ir. A.L. van der Mooren
Hoogleraar algemene
werktuigbouwkunde

Prof.dr.ir. A.L. van der Mooren

Als de dingen vaag worden aangeduid, dan wel onverklaarbaar lijken, wordt de geest geprikkeld nieuwe ontdekkingen te doen.

Leonardo da Vinci

Mijnheer de rector,
Dames en heren,

Werktuigbouwers ontwerpen werktuigen ofwel "tuig dat werkt", volgens een geveugeld woord in onze faculteit, afkomstig van Tellegen. Als alle wetenschappers bedienen zij zich bij het bedenken van machines en apparaten van abstracties en modellen. Ons vak heeft als voordeel dat je de concrete werkelijkheid goed kunt laten zien. Dit werktuig, een grasmachine, die ik ook bij mijn onderwijs heb gebruikt, staat hier dan ook niet als symbool voor mijn toekomst, maar ter ondersteuning van mijn betoog. Hoewel relatief eenvoudig van constructie, kan het model staan voor een breed scala van werktuigkundige problemen, zo ook voor het thema van dit college, dat ik "*De charme van het onvolmaakte*" heb genoemd.

Ontwerpen

Ontwerpen, hoe doe je dat? Van Dale vermeldt als nadere betekenis "een schets van iets tekenen". Fig. 1 toont een schets van de grasmachine. De ontwerper moet aangeven hoe een – uiteraard nog niet bestaand – werktuig er uit kan zien. Hij heeft een voorlopig eisenpakket ontvangen en vult dat aan. Hij moet allereerst nagaan wát het tuig moet kunnen, dus de functie bepalen, in dit geval het grasveld maaien en egaliseren. Daarnaast stelt hij vast onder welke omstandigheden het moet werken, bijvoorbeeld op hellend terrein. Ook bedieningsgemak speelt een rol, wat o.a. leidt tot de eis van goede wendbaarheid. In het eisenpakket staat bovendien hoeveel de machine moet kunnen, dus wat de capaciteit moet zijn, stel 500 m²/uur.

Op grond van het eisenpakket kiest de ontwerper een werkwijze waarmee de functie kan worden vervuld. Hoe dit tuig werkt, zal U bekend zijn: als de machine rijdt, wordt het gras afgeknipt tussen de roterende messenkooi en het stilstaande ondermes, waarna het in een voor de machine hangende bak wordt geworpen. De draaiende walsrol beweegt de machine voort en moet het gazon egaliseren. De verbrandingsmotor bovenop drijft messenkooi en walsrol aan. Knippen kan niet alleen met een draaiende messenkooi, maar ook met een maibalk waarin bladen heen en weergaan, een soort grote tondeuse. En maaien kan ook door de halmen af te slaan, bijv. met een roterend mes of een draad,

zoals bij een cirkelmaaier. De machine kan bovendien niet door een verbrandingsmotor, maar door een electromotor worden aangedreven. Al zulke variaties leiden tot andere werkwijzen ter vervulling van dezelfde functie.

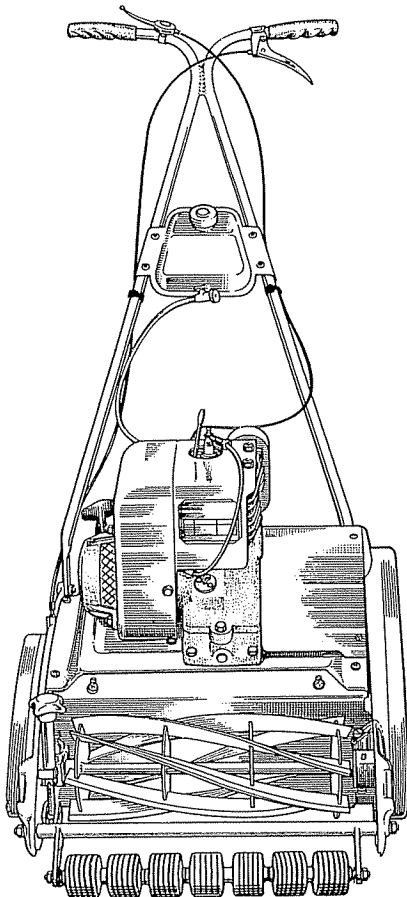


Fig. 1 Schets van een kooimaaiër

Heeft de ontwerper voor een zekere werkwijze gekozen, dan moet hij nog zorgen dat de gevraagde capaciteit wordt gehaald. Dat is voornamelijk een kwestie van het bepalen van de juiste afmetingen, zoals de breedte van het maaiwerk en de cilinderinhoud van de motor. Tenslotte moet hij de bouwwijze kiezen, de manier waarop de delen van de machine ruimtelijk zijn geordend. In dit geval staat de motor in verticale positie boven de mesenkooi, maar overwogen kan worden hem horizontaal te plaatsen, wat tot een andere, lagere bouwwijze leidt.

Nadat de ontwerper werkwijze en bouwwijze heeft vastgesteld, kan hij een eerste schets maken. Uitgaande van deze globale oplossing, het zogenaamde concept, detailleert hij het object, dat wil zeggen hij bepaalt de vorm, de afmetingen en het materiaal van alle onderdelen. Pas dan kan een ander de machine volgens zijn tekeningen vervaardigen. Deze gang van zaken wordt in beginsel ook gevolgd bij ingewikkelde objecten, zoals complete fabrieken, maar dan vindt de keuze van werkwijze en bouwwijze van het object als geheel en van zijn delen plaats in meer opeenvolgende rondes. Daarbij worden steeds opnieuw deelproblemen geformuleerd waarvoor mogelijke deeloplossingen worden bedacht. Daaruit worden combinaties gemaakt, waarvan de beste de eindoplossing vormt.

Ontwerpen is dus een proces van zoeken naar mogelijke oplossingen en kiezen van de beste daaruit. Het is essentieel daarbij geen goede oplossing over het hoofd te zien: die zou immers juist de beste kunnen zijn. Mede met dit doel kwam in het begin van de jaren 70 in Duitsland het zogenaamde "methodische ontwerpen" op. Ook aan de drie Nederlandse Technische Universiteiten kreeg het ontwikkelen van ontwerpmethoden en het invoeren daarvan in het onderwijs veel aandacht¹⁻³. Ik bewaar uit die tijd goede herinneringen aan de samenwerking met mijn collega's uit Delft en Twente, Le Clercq en Van den Kroonenberg, op ons gemeenschappelijk vakgebied. Inmiddels is de werkwijze in uitgekristalliseerde vorm in handboeken vastgelegd⁴.

U zult begrepen hebben dat mijn beschrijving van het ontwerpproces gestileerd en onvolledig was. Ik wekte o.a. de indruk dat het bedenken van een object een zaak voor een enkeling zou zijn. Het spreekt vanzelf dat dit bij omvangrijker projecten werk voor velen is. Dat vereist samenwerking, gebaseerd op een goede taakverdeling, die deels weer op een rolverdeling berust. Je hebt ruwweg specialisten en generalisten. Specialisten duiken diep in deelproblemen en weten bijv. alles af van sterkteberekeningen, van fabricagemethoden en van materialen. Zij reiken deeloplossingen aan, deels abstract, deels concreet. Of het werktuig als geheel het goed doet, hangt af van het gedrag

van al zijn onderdelen tezamen. Hier komen de generalisten in actie: zij maken keuzen uit mogelijke deeloplossingen en voegen die samen tot de eindoplossing, het gezochte object.

Dat voor een goed resultaat beide soorten ingenieurs nodig zijn, brengt een klassieke cartoon (fig. 2) in beeld. De specialisten overdrijven elk op hun eigen wijze: de ontwerpers van de romp – links boven – veronachtzamen de vleugels, en de vleugelontwerpers – links onder – doen het omgekeerde. De vliegtuigen, die zij bedenken hebben gemeen dat zij geen van alle kunnen vliegen, althans niet lang. Generalisten gebruiken van alle specialismen iets, en spelen het klaar om een vliegtuig te bouwen dat blijft vliegen. Maar dat zij steeds betere vliegtuigen kunnen bouwen is vooral de verdienste van hun specialistische collega's, die steeds dieper graven.

Als U nu uit mijn woorden hebt opgemaakt dat het, met het methodisch ontwerpen als ondersteunend gereedschap en een goede rolverdeling tussen de ontwerpers, mogelijk is volmaakte objecten te bedenken, heb ik U misleid, want dat is niet zo. Sterker nog, het zal ook nooit zo zijn. De eerste reden is van praktische aard: een ontwerp is nooit af. De ontwerper is gebonden aan een budget, wat tijd en geld betreft. Als hij het resultaat uit handen geeft, weet hij al hoe het beter had gekund. De tweede grond voor onvolmaaktheid is van fundamentele aard. De eisen waar ik over sprak zijn

DREAM AIRPLANES

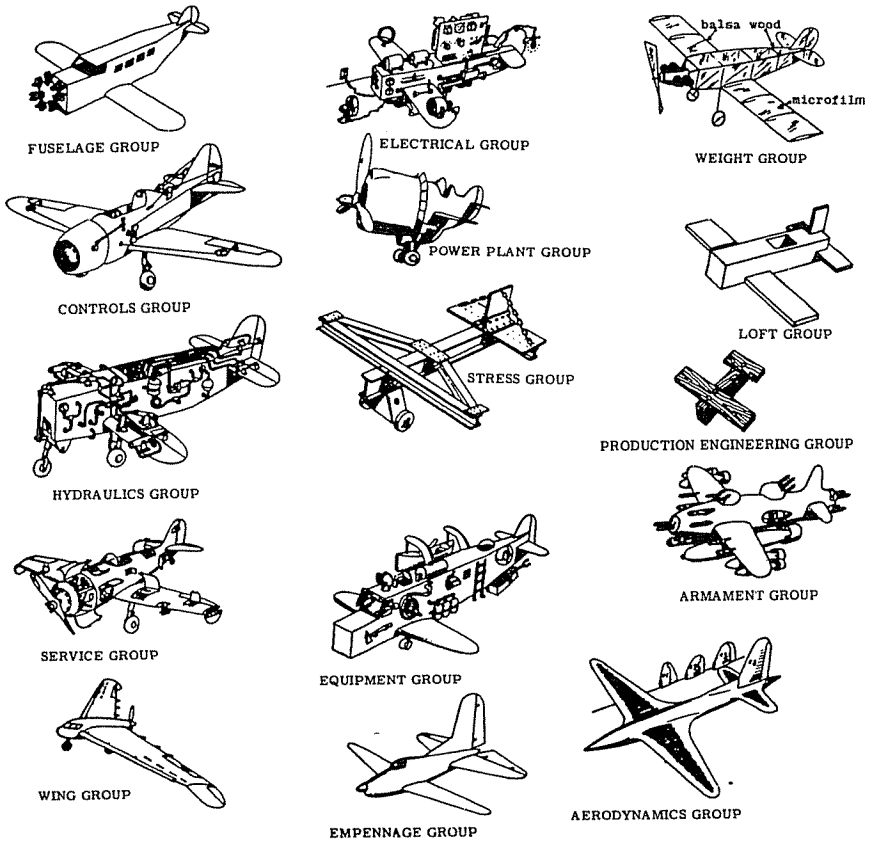


Fig. 2 Vliegtuigen ontworpen door specialisten

talrijk, maar wat erger is, zij zijn deels strijdig. Dat blijkt soms al uit hun formulering, of anders bij de constructieve uitwerking. Wat onze grasmachine betreft als voorbeeld: om goed te egaliseren moet de walsrol zwaar zijn, maar dan is de machine slecht wendbaar.

Bij elk ontwerp moeten ten aanzien van vrijwel elk van de gestelde eisen concessies worden gedaan. Betekent dat nu dat er geen goede ontwerpen zijn en slechts gebrekkige werktuigen? Het is maar wat je onder een goed ontwerp verstaat: dat is een ontwerp waarin de eisen tot een goed compromis zijn gebracht. En daarmee heb ik ook gezegd wat een slecht ontwerp is: dat is een oplossing waarin de tekortkomingen onevenwichtig zijn verdeeld, zodat het tuig niet goed kan werken. En daarbij valt dan niet alleen te denken aan functioneren in engere zin, i.c. het maaien van gras, maar ook aan allerlei gebruiksaspecten: bedieningsgemak, energieverbruik, milieubelasting en zo meer.

Er is nog een derde reden waarom er goede en minder goede ontwerpen zijn. Ontwerpen is geen rekensom, een kwestie van uitsluitend redeneren, en zal het ook nooit worden. Niet alle invloedsfactoren zijn te kwantificeren en niet alle benodigde gegevens zijn beschikbaar. De ontwerper moet zijn beslissingen deels intuïtief nemen, op grond van vakkennis, ervaring, feeling zo U wilt, zoals ik al in mijn intreerede heb belicht⁶. Hij heeft nog steeds iets met een kunstenaar ge-

meen. Ik zeg "nog", want de eerste technici trof men onder de kunstenaars aan. Het waarschijnlijk grootste genie dat de mensheid heeft voortgebracht, Leonardo da Vinci, combineerde deze beide talenten op unieke wijze. Die verwantschap tussen kunstenaars en technici kun je ook vandaag de dag nog zien, wat hun wijze van werken en wat het resultaat betreft.

Ik heb een vriend, die schildert. Die gave is mij vreemd, maar dat belet mij niet om graag naar zijn schilderijen te kijken, zoals er één in fig. 3 te zien is. Van nabij weet ik welke inspanning, welke betrokkenheid tot zo'n resultaat leiden. Er schuilt in alle processen van creatief bezig zijn een grote analogie, ongeacht het object, zo ook tussen het maken van schilderijen en het ontwerpen van technische installaties. De kunstenaar en de technicus behalen beide hun overwinningen door aspecten van de werkelijkheid te vangen in abstracties en zij liggen er beide wakker van. Ook wat het resultaat betreft zijn er duidelijke overeenkomsten. Niet alleen is ook een kunstwerk in de ogen van zijn maker nooit af, maar hij worstelt eveneens met het compromis: hij heeft kleuren en vormen tot zijn beschikking, die elk hun eisen stellen. Maar er is afhankelijkheid: waar hij een kleur laat domineren moet hij zich in de vorm matigen. Hij moet de vlakverdeling in het oog houden en het geheel moet binnen een strikt kader passen. Hij zoekt perfectie, maar kan die niet bereiken.

Zo bezien bestaat een volmaakt schilderij dus niet, maar onvolmaaktheid op onderdelen, tussen vormen, kleuren en structuren, is zeer wel verenigbaar met een goed resultaat, ja lijkt er zelfs een voorwaarde voor. Juist de spanning tussen deze factoren roept de beschouwer op tot een creatieve reactie en moet hem boeien. Of wij dat ook zo ervaren, hangt van onszelf af, van onze geaardheid en onze ervaringen:

wij moeten onszelf er in tegenkomen. Mij spreekt dit doek bijzonder aan, wellicht omdat het mij doet denken aan de stenen, het water en de weerspiegelde lucht van een beek hoog in de Alpen.

Zou de parallel nu zover gaan dat ook in de techniek onvolmaaktheid zijn charme kan hebben, afhankelijk van de beschouwer?



Fig. 3 *Compositie*⁷

Onderhouden

Toen ik stelde dat werktuigen noodzakelijkerwijs onvolmaakt zijn, dacht U wellicht, en terecht, aan het feit dat zij af en toe stuk gaan. Dat geldt zeker voor huishoudelijke apparaten en voertuigen, maar in de industrie is het niet anders. Meestal wordt een defect object niet weggegooid, maar hersteld. Wij trachten onverwachte storingen te voorkomen door het te verzorgen, bijvoorbeeld te smeren, en door beschadigde onderdelen tijdig te vervangen. Zulke vormen van onderhoud zijn noodzakelijk om de veiligheid en de goede werking van het tuig tijdens gebruik te verzekeren. Zij brengen steeds weerkerende kosten met zich mee, mede afhankelijk van het gemak waarmee het onderhoud kan plaatsvinden.

In fig. 4 zijn horizontaal, langs de tijdas, het tijdstip van aanschaf en de gebruiksduur van een object aangegeven. Verticaal zijn de uitgaven uitgezet die men moet doen om gedurende de gebruiksduur van de producten of diensten van het object te kunnen profiteren, in de eerste plaats de eenmalige aanschafkosten. Jaarlijks komen daar onderhoudskosten bovenop en die zijn aan het einde van de gebruiksduur opgelopen tot een bedrag dat overeenkomt met de hoogte van de aanschafkosten, althans, zo is het in dit geval getekend. In de praktijk blijkt het totaal van de onderhoudskosten vaak de aanschafkosten te overtreffen, soms zelfs aanzienlijk, afhankelijk van de aard van het object en van de gebruiksomstandigheden. En dan heb ik het nog slechts over de directe

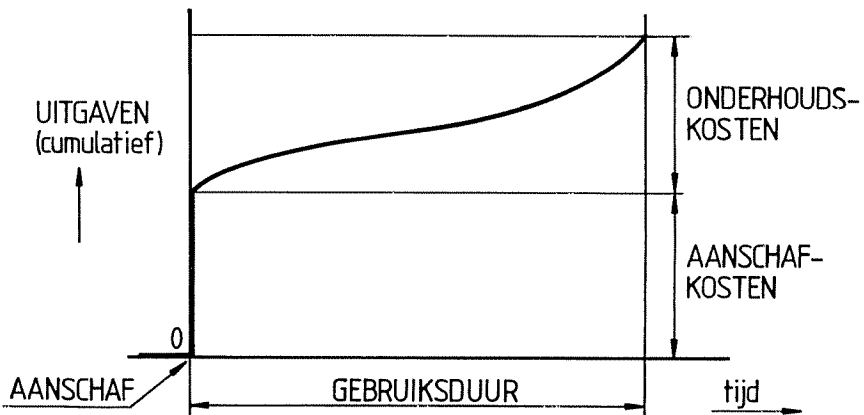


Fig. 4 Aanschaf- en onderhoudskosten van een technisch object

kosten voor de uitvoering van onderhoudsacties. Nog belangrijker is onderhoud indien ook indirecte onderhoudskosten worden meegerekend, de opbrengstverliezen als gevolg van stilstand. Veelal wordt bij de keuze van een technisch object, huishoudelijk of industrieel, alleen naar de verschillen in aanschafkosten gekeken. Dat is dus allerminst verstandig: de verschillen in te verwachten onderhoudskosten moeten eveneens in de afweging worden betrokken. Anders kan goedkoop duurkoop blijken.

Industriële ondernemingen besteden steeds meer aandacht aan het onderhoudsaspect van hun produktiemiddelen. Vaak wordt dit primair ingegeven door hun zorg voor de veiligheid en het milieu. Maar ook voor hen spelen de uitgaven die het onderhoud met zich meebrengt een belangrijke rol. Indien de gebruiksomstandigheden niet te veranderen zijn, kunnen de onderhoudskosten, die uit de belasting van een object voortvloeien, in beginsel op drie manieren worden verlaagd:

- de constructie van het object wijzigen, bijv. door een onderdeel zwaarder uit te voeren of beter bereikbaar te maken, zodat de onderhoudsacties minder in aantal en beter uitvoerbaar zijn;
- het onderhoudsconcept veranderen, dat wil zeggen de wijze waarop onderhoudsacties worden uitgevoerd, in het bijzonder door preventief herstel vóór het object defect raakt;

- de onderhoudsmiddelen verbeteren of beter benutten, bijv. door speciaal gereedschap aan te schaffen of de acties beter te plannen.

Het ligt voor de hand eerst te denken aan een verbetering van de constructie. Immers, daarin is het beschadigingsproces en dus de onderhoudsbehoefte van het object als het ware ingebouwd. Het is niet zinvol zich gedurende de gehele gebruiksduur in te spannen om onderhoudswerkzaamheden goed uit te voeren, die op de keper beschouwd niet nodig zijn. Verbeteren van de constructie van een object kan het beste in de ontwerpfase gebeuren, want dan betekent het slechts het wijzigen van een tekening en wellicht een wat hogere kostprijs. Het veranderen van een bestaand werktuig valt meestal aanzienlijk duurder uit, als het technisch al uitvoerbaar is.

Een slecht ontwerp kenmerkt zich door te grote onvolkomenheden. Wat het onderhoudsaspect betreft is dat het geval als het te vaak defect raakt en/of de onderhoudswerkzaamheden niet veilig, gemakkelijk, snel en goedkoop kunnen worden uitgevoerd. Wat dat betreft illustreert deze grassmachine uitstekend hoe het niet moet. Ik noem U slechts drie van de vele bezwaren:

- de kooilagers moeten geregeld worden gesmeerd, maar de smeerpunten zijn slecht bereikbaar en bij het smeren komt er vrijwel zeker vuil in;

- bij het olieverversen loopt de afge-
werkte olie op de grond omdat de
plaats van de aftapstop het onmo-
gelijk maakt die goed op te vangen;
- als het startkoord breekt, wordt de
hele machine ter reparatie wegge-
bracht omdat het startmechanisme
niet als uitwisselbaar moduul is ont-
worpen.

In dit geval gaat het om een huishou-
delijk apparaat, maar met industriële
installaties is het vaak niet beter ge-
steld. Moraal vermeldt in zijn inbre-
ng de bevindingen van een commis-
sie die de onderhoudbaarheid van
amerikaanse kerncentrales bezag⁸.
Aan deze litanie van klachten ontleen
ik de zinsnede: "na het vertrek van de
bouwers waren nog jaren nodig om de
fabriek onderhoudstechnisch leef-
baar te maken". Geconcludeerd werd
voorts dat alleen al door betere toe-
gankelijkheid van de installaties zeker
30% op de duur van de onderhouds-
werkzaamheden had kunnen worden
bespaard. Een belangrijk aspect bij dit
alles is dat slechte onderhoudbaar-
heid indirect ook de veiligheid en de
bedrijfszekerheid van een object kun-
nen verlagen. Onderhoudsmonteurs
zijn ook maar mensen en zij moeten
hun handelingen gemakkelijk en snel
kunnen uitvoeren als men goed werk
wenst.

Onderhoudsbewust ontwerpen

Werkuigbouwers ontwerpen dus
werktuigen die onwillig zijn en als re-
gel onderhoud vragen. Of dat onder-
houd goed uitvoerbaar en betaalbaar
is, hangt weer af van het ontwerp. Er is
daarom een aanpak nodig om binnen
het ontwerpproces passende aan-
dacht te geven aan de toekomstige
onderhoudsbehoefte van het object.
Met dit aspect van het werktuigkundig
ontwerpen hebben wij ons in onze
sectie sinds 1978 bezig gehouden⁹.

Het gedrag van een object hangt bij
gebruik niet alleen af van zijn con-
structie, maar ook van de wijze waar-
op het wordt onderhouden, bijv. of er
vaak onderdelen preventief vervan-
gen worden en of dat door vaklieden
of ongeschoolde personen gebeurt.
Al in de ontwerpfase moet het object
dus worden gezien in samenhang met
de toekomstige onderhoudsmidde-
len, zoals de mensen en hun uitrust-
ing. Object en onderhoudsmiddelen,
verbonden door het onderhoudscon-
cept, vormen als het ware een twee-
eenheid (fig. 5).

Zoals ik U vertelde bedenkt de ont-
werper in meerdere ronden steeds
weer varianten en kiest daaruit de
beste. Wil hij daarbij ook het onder-
houdsaspect recht doen, dan kan dat
niet anders dan door van meet af aan
te streven naar onderhoudsgunstige
varianten. Het is mogelijk daarvoor
aanbevelingen op te stellen. Deze
kunnen in de conceptfase slechts glo-
baal zijn, maar bij de uitwerking con-

creet en gedetailleerd. Als vorm zijn checklisten goed bruikbaar gebleken: de ontwerper loopt die na, tracht de aanbevelingen op te volgen en als dat niet lukt, vermeldt hij waarom niet. Bij het concept moet o.a. worden gezien of de werkwijze gevoelig is voor te verwachten overbelasting. Bij het uitwerken geldt o.a. dat de constructie uit zo min mogelijk delen moet bestaan die bovendien geen onnodige verschillen vertonen. Ook moeten voor het onderhoud belangrijke delen gemakkelijk te bereiken en uit te wisselen zijn. Dat lijken allemaal open deuren, maar als wij nog een laatste keer onze kooimaaier bezien blijkt bijvoorbeeld:

- de werkwijze met een messenkooi is zeer gevoelig voor beschadiging door steentjes, waarna het fraaie maairesultaat weg is en duur herstel door slijpen moet plaatsvinden;
- de hoge bouwwijze met de bougie bovenop leidt onherroepelijk tot beschadiging van de bougiekabel door lage struiken;
- de machine is onnodig gecompliceerd door een groot aantal onderdelen die bovendien onnodige verschillen vertonen, zoals o.a. blijkt uit de toegepaste bouten en moeren.

Zoals ik reeds zei, treffen wij soortgelijke bezwaren, maar dan op grotere

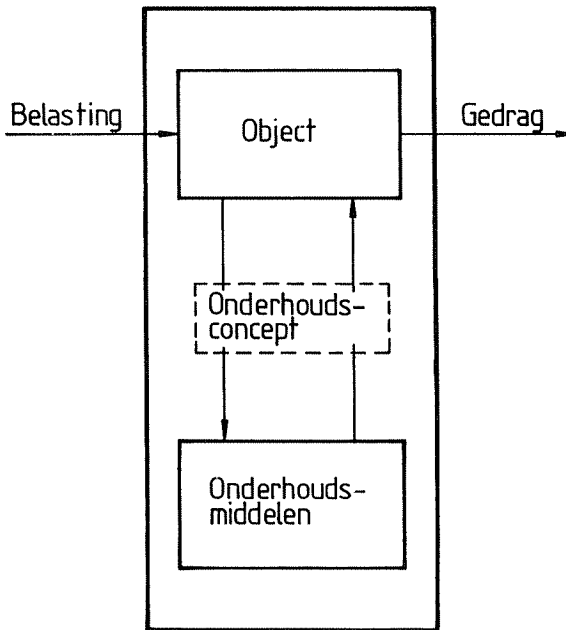


Fig. 5 Object en onderhoudsmiddelen als twee-eenheid

schaal, ook aan bij industriële installaties. De chemische staf kiest uit productieoverwegingen bijvoorbeeld voor een discontinue procesgang, maar deze werkwijze blijkt tot vervuiling en scheuren van de installatie te leiden, met hoge onderhoudskosten en een lage beschikbaarheid als gevolg. Of er wordt bij voorbaat bezuinigd op het grondoppervlak, waardoor de installatie compact moet worden gebouwd en slecht toegankelijk is met wederom ongunstige gevolgen voor onderhoud en productie. De onderhoudsconsequenties van dergelijke keuzen moeten dus al in het ontwerp stadium worden gezien. Om een ontwerp systematisch te beoordelen op te verwachten onderhoudsacties en de daarmee verbonden kosten, werden in onze sectie kwantitatieve methoden ontwikkeld¹⁰. Daarmee kunnen zwakke plekken worden gelocaliseerd. Ook zijn speciale checklisten opgesteld om die gebreken daarna gericht te elimineren. Belangrijk is dat zulke lijsten volledig zijn en inderdaad alle mogelijke verbeteringen onder de aandacht brengen van de ontwerper; daarom zijn zij gebaseerd op toetsbare denkmodellen.

Bij onderhoudsbewust ontwerpen wordt gezocht naar een oplossing die óók uit onderhoudsoogpunt geen grote tekortkomingen vertoont, maar toch niet te duur is. Vaak komt daarbij de vraag aan de orde of het verantwoord is een alternatief te kiezen dat betere onderhoudseigenschappen heeft, maar hogere aanschafkosten op-

roept. Teneinde dergelijke afwegingen te kunnen maken, moet voor elk van de mogelijke oplossingen het bijbehorende onderhoudsproces in kwantitatieve termen beschreven worden, zodat de toekomstige onderhoudskosten geschat worden. Het is essentieel dat daarbij ook rekening kan worden gehouden met onderhoudsconcepten zoals die in de realiteit worden toegepast. Met dat doel werden het onderhoudsgedrag van objecten in kwantitatieve termen beschreven¹¹ en het rekenprogramma "MAINSITHE" ontworpen¹².

Met dit programma kunnen niet alleen praktijksituaties vergelijkenderwijs worden doorgerekend, maar ook algemeen geldige wetmatigheden worden opgespoord. Hiermede is tevens een belangrijke stap gezet op weg naar beantwoording van de echte vragen die de gebruiker stelt: hij is vooral geïnteresseerd in betrouwbare absolute cijfers aangaande het gedrag van nieuwe en bestaande objecten, bijv. in de kans dat een bepaalde bedrijfsperiode zonder storingen zal verlopen. Het zal nog veel onderzoek eisen om daarop antwoord te kunnen geven. Vast staat dat hierbij een belangrijke rol is weggelegd voor toestandsafhankelijk onderhoud, waarbij de conditie van het object wordt bewaakt en wordt ingegrepen als zijn verslechterde staat dat noodzakelijk maakt¹³. Deze werkwijze is doelmatig en effectief, maar – mijn verhaal wordt eentonig – het object moet er dan wel op zijn voorbereid in het ontwerp.

De ontwikkeling van deze aanpak voor het onderhoudsbewust ontwerpen van nieuwe objecten en het modificeren van bestaande is gebeurd in nauwe samenwerking met de industrie, veelal in de vorm van afstudeeropdrachten. Daarbij bleek o.a. dat de methode technisch-constructief gezien goed bruikbaar is, maar dat invoering in een onderneming vereist dat eveneens aan bepaalde organisatorische voorwaarden wordt voldaan. Nu ook aan dit aspect aandacht is besteed, is een praktisch toepasbare methode verkregen, die in samenwerking met o.a. bedrijfszekerheidstechnici, onderhouders en ergonomen kan worden uitgebouwd¹⁴. Essentieel daarbij is dat steeds weer de vertaalslag naar de werktuigkundige realiteit wordt gemaakt. Deze kenmerkt zich onder meer door het optreden van verouderingsverschijnselen, waarop met opportunistische onderhoudsregels wordt ingespeeld.

Misschien verwondert U deze keuze voor het onderhoudsaspect van werktuigen. Immers, je kunt bij het ontwerpen ook andere, leukere, accenten leggen: onderhoud is nu eenmaal niet erg populair, in ons particuliere leven niet en in de industrie evenmin. Het wordt nog vaak gezien als een noodzakelijk kwaad of als een dure liefhebberij. Dat is natuurlijk onzin. Voor het verwerven van produkten of diensten moet meestal aan goedkopere objecten, die wel enig onderhoud vergen, de voorkeur worden gegeven boven technisch vrijwel volmaakte objecten,

die zeer duur zouden uitvallen. Zo bezien brengt onderhoud geld op, net zoals grondstoffen en energie, omdat het de produktie mogelijk maakt. Het effect van onderhoud is een verlengde gebruiksduur van het produktiemiddel, dat anders na elk defect weggegooid zou moeten worden. De baten van onderhoud zijn dan ook in principe te berekenen door op de uitgaven voor het herhaaldelijk vervangen van het object de onderhoudskosten in mindering te brengen.

Het werk van werktuigkundige ingenieurs in het onderhoud is bijzonder boeiend. Ik denk dan niet alleen aan het uitvoeren van de normale werkzaamheden – al kun je een grote revisie van een geheel bedrijfs onderdeel moeilijk meer normaal noemen –, maar vooral aan het verbeteren van de constructie van machines en apparaten. In aansluiting op de ontwerper zijn zij doende deze werktuigen te vervolmaken. Het vinden van de oorzaak van de tekortkoming en het bedenken van een constructieverbetering komt in feite neer op het herontwerpen van een onderdeel. Het vergt een systematische aanpak en doet een beroep op de klassieke werktuigkundige basisvakken, zoals de mechanica, de materiaalkunde, de vervaardigingskunde en de werktuigonderdelen. Maar ook kennis van bedrijfszekerheids- en onderhoudstheorieën en inzicht in kostenaspecten zijn vereist. Het is een interessant werkkterrein voor generalistisch ingestelde beginnende ingenieurs.

Dit takenpakket uit de praktijk leent zich prima als oefensituatie voor afstudeerders, zoals wij uit ervaring kunnen stellen. De meeste opdrachten beogen de constructie te verbeteren van bestaande objecten die uit onderhoudsoogpunt niet voldoen, met het doel de bedrijfszekerheid en de beschikbaarheid te verhogen en de onderhoudskosten te verlagen. Het is een uitstekende voorbereiding op een functie in dergelijke bedrijven. Het betekent wel dat studenten met belangstelling voor deze richting via hun keuzepakket boven op het basispakket aanvullende kennis van de factor onderhoud moeten kunnen opdoen. Ik denk daarbij in het bijzonder aan de wijze waarop en de middelen waarmee het wordt uitgevoerd, alsmede aan op onderhoud gerichte ontwerp-technieken. Ik hoop van harte dat in deze faculteit de mogelijkheid zal blijven bestaan in deze richting af te studeren. Ten eerste omdat ik weet dat het gaat om een aandachtsgebied van toenemend belang voor de industrie. In de tweede plaats omdat het wegvallen ervan een verdere verarming zou betekenen in de toch al schaarse keuzemogelijkheden voor constructief ingestelde studenten met belangstelling voor samengestelde werktuigkundige systemen.

Terugblik

Wat brengt een mens er toe, techniek te gaan studeren en tenslotte het onderhoudsaspect van werktuigen als interessegebied te kiezen? Staat U mij een korte terugblik toe. Mijn keuze voor werktuigbouw is, denk ik, mede ingegeven door een enkele jaren oudere buurjongen waarmee ik met meccano speelde en die naar Delft ging. Ik koos voor spoorwegmaterieel als specialisatie, o.a. omdat ik locomotieven mooi vond, en studeerde af bij een fabriek voor rollend materieel, op een ontwerp voor een railbus. Tijdens mijn studie is het woord onderhoud, bij mijn weten, nooit gevallen.

Na mijn studie vervulde ik mijn militaire dienstplicht bij de Koninklijke Marine, deels aan boord van H.M. Marnix, een prachtig schip. Het was ook een leerzame tijd, niet zonder romantiek, en het was mijn eerste lieflijke kennisgeving met onwillige werktuigen. Naast wachtlopen in de ketelruimen en de machinekamers, 's ochtends en 's middags tussen 4 en 8, moest ik een systeem opzetten voor de bevoorradiging met waarloodelen, het Marinejargon voor reservedelen voor het onderhoud.

Na de Marine koos ik voor de industrie, in concreto de Staatsmijnen, nu DSM. Amper twee dagen in dienst, werd ik meegenomen voor een eerste bedrijfsbezoek, naar het afdiepen van schacht IV van Staatsmijn Hendrik. Argeloos zag ik, 400 meter onder de grond, een grote ton staan. Maar laat ik

Bertus Aafjes het woord geven over deze eeuwenoude ervaring¹⁵. Hij schrijft:

"Ogenscheinlijk lijkt alles heel gewoon en in het halfduister zelfs wel intiem... Er hangt een stijgbeugel langs de ton, als langs de flank van een paard; dat vergemakkelijkt de klauterpartij... Twee schachthouwers gaan ons voor... Om het hengsel zit een grote metalen vogelbek vastgeknipt en aan deze vogelbek zit de kabel. Deze kabel wordt nu omhoog getrokken zodat wij een klein stukje omhoog zweven. Vervolgens wordt het ijzeren luik, dat de schacht onder ons afdekt, op een sein van de seingever automatisch geopend. Een ogenblik later wordt de kabel gevierd en dalen wij langzaam af in de richting van een donkere put. En ineens is men geen mens meer. Men is veranderd in een spin aan een herfstdraad op een fantastische reis naar het middelpunt van de aarde".

Ik moet bekennen dat ik boven het honderden meters diepe gat vooral heb gedacht aan dat vingerdikke kabeltje, aan veiligheidscoëfficiënten en aan inspecties. Maar het was wel liefde op het eerste gezicht.

De tweede helft van de jaren 50 vormden voor onze mijnbouw een periode van groei waarin op voortvarende wijze nieuwe constructies werden bedacht. Ik was, op de werktuigkundige afdeling van het Centraal Bureau, o.a. betrokken bij de bouw van ophaalinstallaties, losvloeren en kolenwasserijen. Geld speelde daarbij nauwelijks een rol, dat was er gewoon. Ik vervulde

daarna velerlei bedrijfsfuncties, te beginnen op Staatsmijn Maurits, op de losvloer, en leerde wat veiligheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid betekenen. De chef ondergronds bedrijf maakte mij bovendien indringend duidelijk wat onder goede beschikbaarheid van een installatie moet worden verstaan. Staatsmijn Hendrik volgde en tenslotte was er de syntracietfabriek van de Wilhelmina. Het bereiken van de eerste 100.000 ton was een feest, de installatie zelf een ramp uit onderhoudsoogpunt.

In die jaren, aan de zwarte kant van de onderneming, kreeg ik een intrigerend probleem voorgelegd. Dat betrof het bemonsteren en, in het verlengde daarvan, het mengen van stortgoederen, met het doel kwaliteitsvariaties te verminderen. Ten koste van veel vrije tijd promoveerde ik daarop in 1967 aan de TU-Delft, bij Sieben, een statisticus, en Seldenrath, een mijnbouwer¹⁶. Zoiets was en is niet gebruikelijk in een bedrijf, zeker niet voor werktuigbouwers, maar ik heb er nooit spijt van gehad, integendeel. Het vraagstuk zelf had niets met onderhoud te maken, maar de oplossing vereiste toepassing van de mathematische statistiek. Dit wiskundig gereedschap kwam mij later goed van pas bij de beschrijving van het onderhoudsgedrag van objecten.

De mijnsluitingen waren het trieste einde van een prachtig stuk techniek, hoe men verder ook over het ondergrondse bedrijf mag denken. Het ver-

anderde mijn werk, maar onderbrak niet mijn loopbaan bij DSM. Ik werd overgeplaatst naar de witte kant, het Stikstofbindingsbedrijf, de kunstmest: naast korrels vooral vloeistoffen en gassen, naast machines vooral leidingen en apparaten, naast slijtage en vermoeiing vooral corrosie, maar wat bleef was onderhoud. Geld was intussen wel een rol gaan spelen, en ook lagen mijn opdrachten meer op bedrijfskundig terrein: werkvoorbereiding en planning, in het bijzonder de coördinatie van grote periodieke onderhoudsstops. Tenslotte was ik werkzaam in de verladingssector met, U raadt het, levensgrote onderhoudsproblemen.

Ik heb U dit korte overzicht van de eerste helft van mijn loopbaan niet verteld omdat die zo bijzonder zou zijn, maar om twee andere redenen. Ik ben aan velen uit die tijd, vooral mijn chefs en mijn medewerkers, grote dank verschuldigd; ik heb later nog vaak teruggedacht aan hun lessen en karakteristieke woorden. En er blijkt uit dat mijn industriële leerschool niet alleen met ontwerpen, maar ook alles met onderhouden te maken had. Het was steeds weer een uitdaging om onwillige werktuigen zo goed mogelijk aan de praat te houden. Dat vergde meestal herontwerpen van een deel van de constructie, met ondersteuning van specialisten. U begrijpt nu eens te meer waarom ik voor het onderhoudsaspect van werktuigen als toepassingsgebied voor het werktuigkundig ontwerpen heb gekozen: er viel een rekening te vereffenen.

Deze ervaring op onderhoudsgebied kon op de TU door mijn sectie als geheel worden uitgebouwd, mede dankzij de al genoemde samenwerking met de industrie. Die contacten hebben voor mij persoonlijk veel betekend: niet alleen waren zij leerzaam, zij vormden een stuk erkenning en daarmee ook een grote stimulans. Graag wil ik daar nu mijn waardering voor uitspreken: het steeds weer kunnen opsnuiven van bedrijfslucht was niet alleen in letterlijke, maar vooral ook in figuurlijke zin een verademing. Ik heb de bijdragen die van die zijde zijn geleverd aan het symposium eerder vandaag dan ook bijzonder op prijs gesteld. En dat brengt mij tot de NVDO, de Nederlandse Vereniging ten behoeve van Technische en Onderhoudsdiensten, die mij dit symposium aanbood. Ca 400, veelal grotere bedrijven in ons land zijn lid van deze vereniging, die met kringen en werkgroepen, door middel van congressen, publicaties en cursussen in ons land actief is op het terrein van het onderhoud, overigens niet alleen van werktuigen. Ik ben er gedurende mijn gehele TU-tijd lid van geweest, onze sectie vond er een goed klankbord en het leidde tot interessante en prettige contacten, ook met zusterverenigingen. Ik waardeer het dan ook zeer dat de NVDO deze dag heeft aangegrepen om het thema "Ontwerp en Onderhoud", dat mij zo na aan het hart ligt, vanuit een terugblik over de afgelopen 20 jaar door een aantal zeer deskundige sprekers te laten belichten.

Mijn woorden over de eerste helft van mijn loopbaan, bij de Marine en de industrie, hebben wellicht de indruk gewekt dat het allemaal hoogtepunten waren. Dat is natuurlijk onwaarschijnlijk, maar ik denk dat ik de verklaring ken. Toen ik bij mijn komst aan deze universiteit bij het toenmalige hoofd van het afdelingsbureau kennis kwam maken, stond er een bordje op zijn kamer met de bekende spreuk: "Mach es wie die Sonnenuhr, zähl die heitren Stunden nur". Als ik die raad ook opvolg voor mijn TU-jaren denk ik wederom terug aan vele plezierige persoonlijke contacten met vakgroepen en ondersteunende diensten binnen en buiten onze faculteit. Speciaal wil ik mijn medewerkers en oud-medewerkers in de sectie WO noemen. Hun steun, in velerlei opzicht, maakte het mij mogelijk onderwijs en onderzoek op het gebied van ontwerp en onderhoud op te pakken en uit te bouwen. Daarvoor dank ik hen van harte. Ik vermeld eveneens het contact met onze afstudeerders, jonge mensen op weg naar het begin van hun loopbaan: dat gaf mij veel voldoening.

Besluit

Dames en heren,

Ik ben aan het einde gekomen van dit, mijn laatste, college aan deze universiteit. Ik stel vast dat mijn uitgangspunt, werktuigbouwers ontwerpen "tuig dat werkt", niet onjuist, maar wel onvolledig was, want het vereist als essentiële toevoeging: "als het wordt onderhouden". Of de gebruiker van een object dat welwillend aanvaardt, dan wel geïrriteerd afkeurt, hangt in de eerste plaats van de ontwerper af: heeft hij niet alleen naar de afzonderlijke delen gekeken, maar er eveneens voor gezorgd dat zij samen een evenwichtig geheel vormen, ook uit het oogpunt van toekomstig onderhoud? De behoefte aan onderhoud vormt een intrigerend aspect van het functioneren van werktuigen en het bedenken van een verantwoorde, onderhoudsgunstige variant – U weet nu dat dat iets heel anders is dan een onderhoudsvrije oplossing – een interessante tak van sport. En zo bezien heeft, althans voor mij, ook in de techniek onvolmaaktheid zijn charme.

Uit mijn relaas zult U hebben begrepen dat het ingenieursvak mij steeds heeft geboeid en dat ik het voorrecht heb gehad altijd mijzelf in mijn werk te kunnen terugvinden. Binnen de werktuigbouwkunde hebben niet alleen persoonlijke voorkeur, zoals voor zwaardere machines en apparaten, mijn weg naar het thema ontwerp en onderhoud bepaald. Het waren veel-er toevallige factoren, in het bijzonder de mensen die ik op mijn weg trof,

zoals ik U vertelde. De belangrijkste persoon heb ik daarbij echter nog niet genoemd, dat is mijn vrouw. Zij gaf mij de ruimte en steunde mij als het nodig was.

Wat brengt de toekomst, voor mijn vrouw en mijzelf? Naar ik hoop óók ontwerpen, maar dan vooral in de zin van plannen maken. En als het ons gegeven is óók onderhouden, maar dan meer dan tot dusver van contacten, naar ik vertrouw óók met velen van U. Ik laat U tot slot nog een schilderij van mijn vriend zien (fig. 6). De delen zijn, elk voor zich beschouwd, niet volko-

men: de zon is niet rond en de bloemen zijn slechts vaag weergegeven, maar dat doet niet af aan de harmonie van het geheel, integendeel. Ook de beide personen, die samen de essentie van de voorstelling vormen, hebben hun gebreken. Niettemin heeft het doek voor hen een bijzondere charme, omdat zij zichzelf er in zien. Ik hoop dat dat nog geruime tijd zo zal mogen blijven.

Ik dank U voor Uw aandacht. Het ga U allen goed.

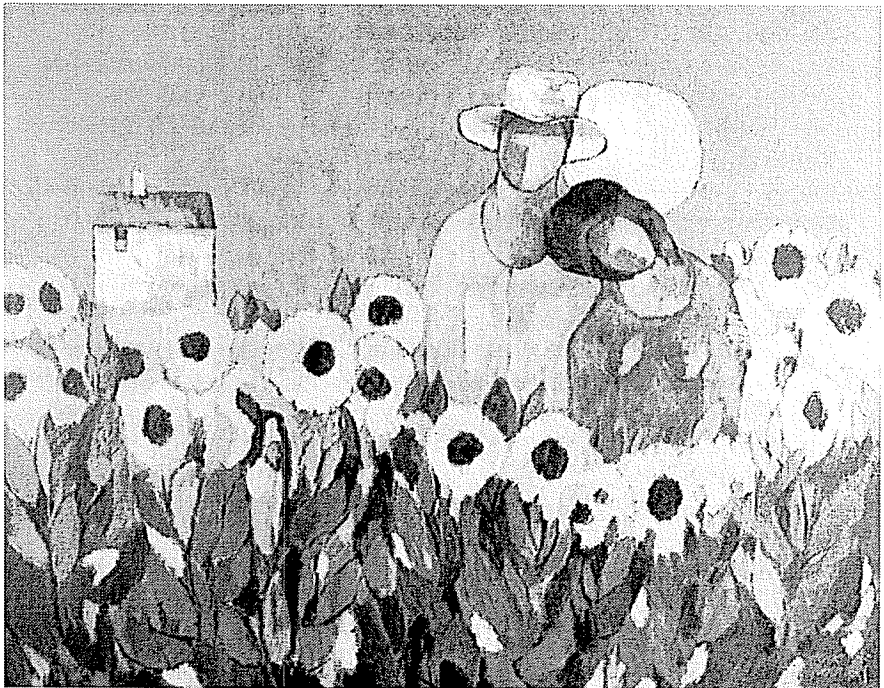
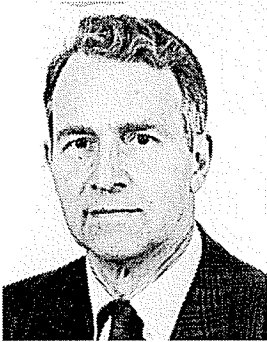


Fig. 6 *Geluk tussen de zonnebloemen*¹⁷

Verwijzingen

1. Clercq, H. le: Methodiek in ontwerp en constructie. De Constructeur 1974, nr 5, p. 49 - 56 en nr 6, p. 53 - 59.
2. Kroonenberg, H.H. van den: Methodisch ontwerpen. De Ingenieur 1974, nr 47, p. 915 - 923.
3. Mooren, A.L. van der: Ontwerpen als onderwerp van onderwijs en onderzoek. De Constructeur 1974, nr 6, p. 63 - 67 en nr 7, p. 25 - 30.
4. Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Berlin: Springer-Verlag 1986.
5. Miller, C.W.: Dream Airplanes.
6. Mooren, A.L. van der: De aanloop tot de sprong, intreerede Technische Hogeschool Eindhoven, Eindhoven, 1972.
7. Henk Timmers, olieverf op paneel, 1987.
8. Seminara, J.L.; Parsons, S.O.: Nuclear power plant maintainability. Applied ergonomics, 13 (3), 1982.
9. Mooren, A.L. van der; Smith, P.: Onderhoud als ontwerpaspect bij werktuigen. De Ingenieur, 1978, nr 42, p. 804-811.
10. Mooren, A.L. van der; Hankmann, W.: Beoordeling van ontwerpalternatieven uit onderhoudsoogpunt. De Constructeur, deel 1: 1985 nr. 6, p. 30-37; deel 2: 1985, nr 12, p. 64-70.
11. Mooren, A.L. van der; Smith, P.: Onderhoudsgedrag van werktuigkundige objecten. De Constructeur, deel 1: 1982, nr 12, p.22-28; deel 2: 1983 nr. 2, p.26-33; deel 3: 1983 nr 8, p.36-45; deel 4a, 1984 nr. 6, p.38-45; deel 4b: 1984, nr. 8, p. 32-38; deel 5: 1985 nr.4, p. 44-51.
12. Both, H.: Onderhoud en faalgedrag van technische systemen; ontwerp en toepassing van een simulatiemodel. Dissertatie Technisch Universiteit Eindhoven, 1989.
13. Toersen, H.: Toestandsafhankelijk onderhoud in de procesindustrie. PT/Procestechniek 1987 nr 9, p. 37 - 41.
14. Mooren, A.L. van der: Instandhaltungsgerechtes Konstruieren und Projektieren in dem Maschinen- und Apparatebau. Springer-Verlag, Berlin. Verschijnt voorjaar 1991.
15. Bertus Aafjes: Het Troje van het carboon. Staatsmijnen in Limburg, Heerlen, 1959.
16. Mooren, A.L. van der: Homogeniseren van stortgoederen, in het bijzonder steenkool. Dissertatie Technische Hogeschool Delft, 1967.
17. Henk Timmers, olieverf op linnen, 1987.



Aart van der Mooren werd in 1929 te Utrecht geboren en doorliep de lagere school en het Stedelijk Gymnasium te Hilversum. Hij studeerde werktuigbouwkunde aan de Technische Hogeschool Delft, waar hij in 1967 promoveerde. Hij was van 1955 tot 1970 werkzaam bij Staatsmijnen/DSM, waarna hij werd benoemd tot gewoon hoogleraar aan de Technische Universiteit Eindhoven. Sinds 1986 is hij tevens voorzitter van de NVDO, Nederlandse Vereniging ten behoeve van Technische en Onderhoudsdiensten.

Vormgeving en druk:
Reproductie en Fotografie van de CTD
Technische Universiteit Eindhoven

Informatie:
Secretariaat College van Dekanen
Telefoon (040-47)2250