

## Onderhoudsgunstig ontwerp in tien geboden te vatten

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

Hankmann, W. (1991). Onderhoudsgunstig ontwerp in tien geboden te vatten. *I-twee werktuigbouwkunde*, (10), 41-46.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1991

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

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

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

[Link to publication](#)

**General rights**

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

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

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

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

**Take down policy**

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

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

providing details and we will investigate your claim.

# Onderhoudsgunstig ontwerp in tien geboden te vatten

**D**e tien geboden bestaan uit een verzameling van algemene aanbevelingen die doorgaans zowel de preventievrijheid, als de bedrijfszekerheid en de onderhoudbaarheid van een object verhogen, meestal zonder één van deze eigenschappen te verlagen. Deze algemene aanbevelingen zijn bedoeld om van meet af aan bij elk ontwerp te worden overwogen. Dit artikel is vooral bedoeld om aan te geven wat het mogelijke effect of resultaat is van onderhoudsbewust ontwerpen. Heel belangrijk is hierbij de attitude van de ontwerper, teneinde onderhoudsbewust te ontwerpen zal hij zich van meet af aan een zekere denkrant eigen moeten maken.

Figuur 1 toont een overzicht van de tien geboden; zoals reeds is gezegd, hebben de eerste 5 geboden in het bijzonder betrekking op de materiële gedaante, dus de bouwwijze van het object, terwijl de laatste 5 geboden in het bijzonder betrekking hebben op het gedrag van het object.

Figuur 2 toont het oplossingsveld dat met deze tien geboden wordt verkregen. Verticaal zijn de tien geboden uitgezet, horizontaal de constructieve parameters. Zoals in de vorige publikatie [1] reeds is gezegd, kan men een onderhoudsgunstige constructie bevorderen door op een verstandige wijze de constructieve parameters te variëren. De ontwerper dient zich dus af te vragen in hoeverre hij door het veranderen van het aantal en/of de aard van de componenten, het variëren van de functionele en/of materiële structuur van het object, dan wel het toepassen van een hulpcomponent in staat is om aan de in het oplossingsveld opgenomen aanbevelingen te voldoen.

## W. HANKMANN

Ing. W. Hankmann is verbonden aan de faculteit der Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven, vakgroep Werktuigkundig Ontwerpen en Construeren

Als vervolgens het uitvoeren van een onderhoudsanalyse [5] aan het object nog zwakke plekken aantoon, kan men alsnog aan de hand van specifieke aanbevelingen voor preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid proberen deze te elimineren en zodoende de respectievelijke onderhoudsgedragaspecten verhogen [3]; dit alles zal in de volgende drie artikelen aan de orde komen.

Om dit proces zinvol te laten verlopen, is het aan te bevelen om naast de hier aangereikte systematiek bij het bedenken van verbeteringen, gebruik te maken van de "brainstorm"-techniek. Het is daarbij de bedoeling om, uitgaande van het oplossingsveld,

In de vorige publikatie [1] is gesteld dat de mate waarin een object onderhoudsgunstig is, met name in zijn gedetailleerde constructie tot uiting komt. Teneinde hier in de ontwerpfase zo vroeg mogelijk op in te spelen, kan de ontwerper gebruik maken van de "tien geboden" voor onderhoudsbewust ontwerpen. Deze tien geboden, binnen een NVDO-werkgroep [2] op pragmatische wijze samengesteld, omvatten de belangrijkste mogelijkheden met behulp waarvan de onderhoudsgedragaspecten preventievrijheid Rp, bedrijfszekerheid Rc en onderhoudbaarheid M positief kunnen worden beïnvloed [3].

Als aanloop naar de vierde stap uit het afloopschema Technische Verbeteringen, het genereren van alternatieven [4], zullen in dit artikel de tien geboden in relatie met het oplossingsveld voor onderhoudsbewust ontwerpen worden besproken. Hierbij blijkt dat ze zijn op te splitsen in een vijftal geboden dat met name op de onderhoudsgunstige constructie reageert, en een vijftal dat zich meer richt op het onderhoudsgunstige gedrag van een object. Vervolgens zullen we de toepassingsmogelijkheden van de tien geboden aan de hand van een geïntegreerd voorbeeld bespreken, waarna deze tenslotte een deel van een beoordelingslijst voor het ontwerp-algemeen wordt presenteren.

### onderhoudsgunstige constructie:

1. vereenvoudig de constructie
2. pas genormaliseerde componenten toe
3. verbeter de bereikbaarheid
4. verbeter de uitwisselbaarheid
5. moduleer de constructie

### onderhoudsgunstig gedrag:

6. bevorder ongevoeligheid voor menselijke fouten
7. bevorder ongevoeligheid voor schade
8. bevorder bepaalbaarheid van conditie
9. pas 'eigen hulp' toe
10. lever onderhoudshandleiding mee

Fig. 1.  
Tien geboden voor een onderhoudsgunstige constructie

De artikelen in de serie over onderhoudsgunstig ontwerpen, waarvan het eerste is verschenen in i-Kwadrat Werktuigbouwkunde no. 9/91, zijn een bewerking door de auteur van het collegedictaat "Terotechniek" van de hand van prof. dr.ir. A.L. van der Mooren.

oplossingsveld 10 geboden	component		structuur		aantal	werkwijze	materiaal	vorm	functioneel	materieel	hulpcomponent
	aard		bouwwijze								
1. eenvoud	↑										
2. normalisatie	↑↑										
3. bereikbaarheid	↑↑↑										
4. uitwisselbaarheid	↑↑↑↑										
5. modularisatie	↑↑↑↑↑										
6. ongevoeligheid voor mens. fouten	↑↑↑↑↑↑										
7. ongevoeligheid voor schade	↑↑↑↑↑↑↑										
8. bepaalbaarheid conditie	↑↑↑↑↑↑↑↑										
9. eigen hulp	↑↑↑↑↑↑↑↑↑										
10. O.H.-handleiding	↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑										

Fig. 2. Oplossingsveld onderhoudsbewust ontwerpen

in teamverband op ongeremde wijze oplossingen voor de gevonden problemen te genereren, waarbij het van essentieel belang is om elkaar tijdens dit proces niet te bekritisieren. Pas na afloop van zo'n brain-storm sessie kan men dan het kaf van het koren scheiden, dat wil zeggen op grond van technische en economische realiseerbaarheid schrappen van onhaalbare oplossingen. Via een beslissingsanalyse [5] kan men vervolgens op een meer rationele wijze tot een onderbouwde keuze komen.

**De onderhoudsgunstige constructie**

In figuur 1 is aangegeven dat de eerste vijf geboden met name betrekking hebben op het realiseren van een onderhoudsgunstige constructie. We zullen deze vijf geboden aan de hand van een aantal praktische voorbeelden toelichten.

**1. Vereenvoudig de constructie**

Deze aanbeveling staat bekend als het KISS principe, waarbij KISS staat voor Keep It Simple Stupid. De essentie ligt hierbij duidelijk in de eenvoud van de constructie; men dient er dus op toe te zien dat deze niet node-loos gecompliceerd wordt, uiteraard zonder afbreuk te doen aan de functie van het object. In principe is dit uitgangspunt van toepassing op alle ontwerpparameters, het wordt echter in het bijzonder betrokken op:

- Het aantal (verschillende) componenten, en
- Het aantal (bewegende) enkeldelen.

De filosofie hierachter is dat afwezige componenten geen onderhoud vergen. Teneinde bovenstaande doelstellingen te bereiken dient men in het bijzonder aandacht te schenken aan:

- Een kritische analyse van neven- en deel-functies van het object om zodoende eventuele overbodige functies te kunnen schrappen; een techniek die men hiervoor in de praktijk hanteert is de zogenaemde waarde-analyse [6];

- Een mogelijke andere werkwijze van het object of zijn componenten.

De ontwerper dient er echter wel voor te waken dat hij het gestelde doel niet voorbij schiet, bijvoorbeeld door het introduceren van een kans op:

- Verwisselingen bijvoorbeeld van aansluitingen voor gas, zuurstof en lucht;
- Falen, bijvoorbeeld door te vergaande concessies bij de materiaalkeuze.

Teneinde het bovenstaande te illustreren volgen wat voorbeelden, met tussen haakjes aangegeven welke constructieve parameter gebruikt is om tot de vereenvoudiging van de constructie te komen:

- Een eenvoudiger overbrengingsmechanisme (aantal componenten), zoals in figuur 3 weergegeven;
- Minder bouten in een flens, bijvoorbeeld door zowel de bouten als de flens dikker te maken (vorm componenten);
- Een eenvoudiger (directer) regelsysteem voor het op peil houden van een vloeistofniveau (andere werkwijze);
- Een wisselstroommotor zonder koolborstels in plaats van een gelijkstroommotor (andere werkwijze);
- Contactloos meten in plaats van mechanische tasters (andere werkwijze).

**2. Pas genormaliseerde componenten toe**  
Deze aanbeveling houdt in dat men geen onnodige verschillen bij de keuze van de componenten bewerkstelligt, hetgeen evenals de eerste aanbeveling ook op het KISS-principe is gebaseerd. Dit impliceert het zo mogelijk toepassen van componenten die zijn:

- Genormaliseerd, nationaal of internationaal, en/of
- Gestandaardiseerd, per bedrijf.

Het toepassen van genormaliseerde componenten brengt onder andere de volgende logistieke voorbeelden met zich mee:

- De componenten worden in grote series vervaardigd, zodat ze relatief goedkoop zijn en in het algemeen korte levertijden hebben;
- Men kan volstaan met lagere magazijnvoorraden;
- "Kannibaliseren" van de componenten is mogelijk.

Naast deze logistieke voordelen zijn er voor het onderhoudsgedrag onder andere nog de volgende voordelen te noemen:

- De constructie van de componenten is beproefd en doordacht, wat vooral de bedrijfszekerheid ten goede komt;
- De eigenschappen van de componenten zijn goed bekend, en daarmee dus ook de behoefte aan verzorging, belastbaarheid, wijze van (de)monteren, en dergelijke.

Ook nu moet men er voor waken om het gestelde doel niet voorbij te schieten, bijvoorbeeld door het scheppen van:

- Een grotere kans op het optreden van common-mode failures bij redundantie; dit wil zeggen dat door het toepassen van hetzelfde type, fabrikaat, werkprincipe enzovoort door één bepaalde oorzaak meerdere componenten kunnen falen;
- Een te grote afhankelijkheid van één leverancier.

Normalisatie van componenten heeft vooral

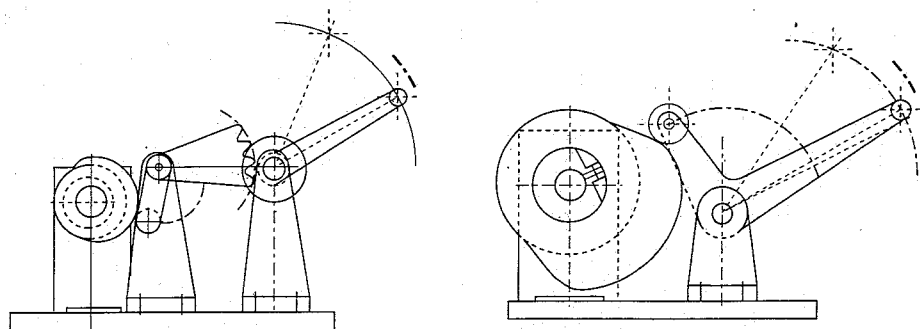


Fig. 3. Overbrengingsmechanismen

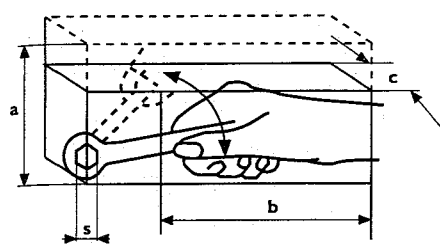


Fig. 4. Ruimte voor het hanteren van gereedschap

betrekking op de aard van de componenten, zowel voor het materiaal als de vorm en de afmetingen. Voorbeelden van genormaliseerde componenten die veel worden toegepast zijn:

- Verbruiksmateriaal, zoals bouten, lagers, pakkingen;
- Toonbankartikelen, zoals snaarschijven, kettingen, afdichtingen, koppelingen;
- Eenvoudige componenten, zoals motoren, tandwielkasten, pompen, roerwerken;
- Hulpstoffen, zoals olie, vet, lijm.

3. Verbeter de bereikbaarheid

Een goede bereikbaarheid van de componenten bevordert zowel de:

- Doelmatigheid van de onderhoudsacties, zodat deze snel en goedkoop zijn uit te voeren, als de
- Doeltreffendheid van de acties, zodat deze met goed resultaat en zonder sleutelfouten zijn uit te voeren.

Het doelmatig en doeltreffend uitvoeren van preventieve en correctieve onderhoudsacties is belangrijker naarmate een component vaker onderhoudsacties vergt. Een slechte bereikbaarheid van een component houdt vaak in dat andere componenten tijdelijk moeten worden verwijderd, met onder andere extra sleutelfouten als mogelijk gevolg.

Voorbeelden van het aspect bereikbaarheid zijn:

- De beschikbare ruimte voor het hanteren van sleutels en ander gereedschap (vorm component) (figuur 4);
- De benodigde ruimte voor een apparaat om zonder demontage van de afsluiter zittingen op te zuiveren (materiële structuur);
- De benodigde ruimte voor het (de)monteren van kleppen van pompen, compressoren enzovoort (materiële structuur);
- De plaats van verwarmingselementen, deurveren enzovoort bij wasmachines (materiële structuur).

4. Verbeter de uitwisselbaarheid

Preventieve en correctieve onderhoudsacties bestaan vaak uit het uitwisselen van componenten. Evenals een goede bereik-

baarheid van componenten bevordert het gemakkelijk uitwisselen zowel de:

- Doelmatigheid van de acties (snel en goedkoop), als de
- Doeltreffendheid van de acties (goed resultaat, geen sleutelfouten).

Een goede uitwisselbaarheid is uiteraard belangrijker naarmate de component vaker moet worden uitgewisseld. Een slechte uitwisselbaarheid van een component kan tot beschadiging leiden, zoals bijvoorbeeld bij wentellagers nogal eens gebeurt.

Voorbeelden van een goede uitwisselbaarheid van componenten zijn onder andere:

- De slijtbussen bij een draaipunt niet binnen, maar buiten plaatsen (materiële structuur), (figuur 5);
- Het toepassen van snelkoppelingen voor leidingen in plaats van flenzen met bouten (werkwijze component).

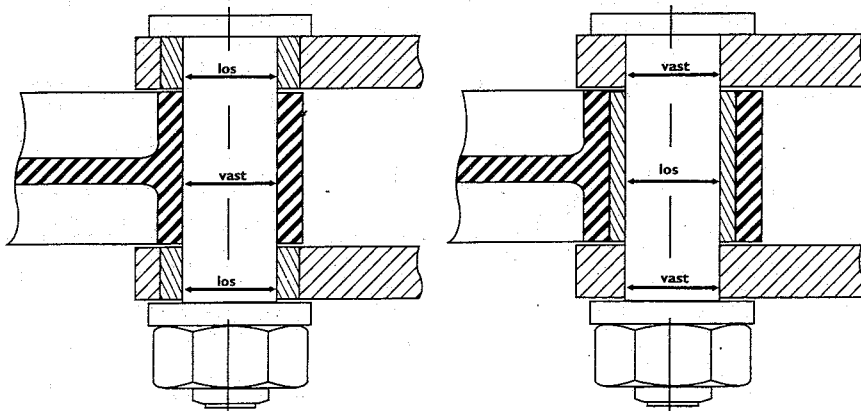
5. Modulariseer de constructie

Bij complexe objecten welke uit veel componenten bestaan leidt een:

- Goede bereikbaarheid van de componenten tot grote onderlinge afstanden, en derhalve tot volumineuze constructies;
- Goede uitwisselbaarheid van de componenten tot veel, goed losneembare verbindingen, hetgeen in het algemeen de bedrijfszekerheid zal verlagen.

Een mogelijke remedie hiertegen is het groepsgewijs onderbrengen van de componenten in zogenoemde onderhoudsmodulen die in hun geheel worden vervangen (Least Replaceable Assembly, L.R.A.). Bij het toepassen van deze modulen kan over de onderhoudbaarheid ervan het volgende worden gesteld:

- Binnen het moduul zijn moeilijke acties toegestaan, bijvoorbeeld in de vorm van een slechte bereikbaarheid en/of uitwisselbaarheid;
- Tussen de modulen is een goede bereikbaarheid en uitwisselbaarheid vereist, bijvoorbeeld met speciale aansluitvlakken.



De achtergrond hiervan is dat het uitwisselen van modulen "in het veld" gebeurt, waarbij men niet steeds over de meest geavanceerde gereedschappen kan beschikken, terwijl de stilstandtijden van het object wel zo kort mogelijk dienen te zijn. Reparatie van de modulen zelf kan in de werkplaats gebeuren, waar men wel beschikt over het juiste gereedschap en men bovendien uitsluitend met onderhoudsuitvoeringskosten te maken heeft. Voordelen bij het modulariseren van de constructie zijn:

- Het aantal onderhoudsmodulen is relatief gering (KISS);
- Localisatie van defecten is slechts nodig tot op moduulniveau;
- In beginsel zijn er mogelijkheden tot hergebruik van de modulen en tot renovatie van het object.

Het groeperen van componenten tot onderhoudsmodulen is eigenlijk steeds gebaseerd op het variëren van de materiële structuur van de componenten, met andere woorden het ten opzichte van elkaar anders plaatsen van de componenten. Voorbeelden van onderhoudsmodulen zijn:

- Samengebouwde wentellagers, eventueel met afdichtingen, huis en/of flens [7], (figuur 6);
- Filterdeksel gecombineerd met het filterelement;
- Meet- en regelapparatuur, bijvoorbeeld het gasblok van een CV-ketel;
- Roterende machines, bijvoorbeeld een gasturbine;
- Consumentenartikelen, zoals T.V.'s, recorders, camera's enzovoort.

Onderhoudsgunstig gedrag

De volgende vijf geboden zijn met name gericht op het bevorderen van het onderhoudsgunstige gedrag van een object. We lichten dit weer aan de hand van enkele voorbeelden toe.

Fig. 5. Slijtbussen bij een draaipunt

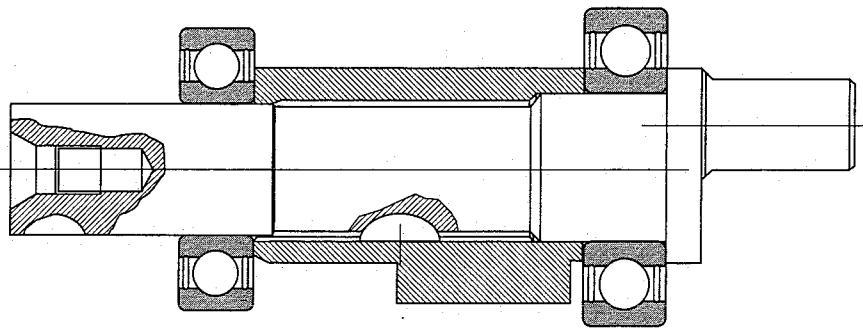


Fig. 6.  
Samengebouwd wentellager

6. *Bevorder de ongevoeligheid voor menselijke fouten*

In de praktijk blijkt dat schade aan objecten of componenten heel vaak wordt veroorzaakt door overbelasting als gevolg van menselijke fouten door slordigheid, stemmingen, gewoontes, enzovoort. In de eerste plaats kan hierbij worden gedacht aan bedieningsfouten, met als mogelijke remedies:

- Deugdelijke bedieningsvoorschriften, pictogrammen etcetera.
- Het aanbrengen van vergrendelingen, beveiligingen enzovoort.

Wat men hiermee beoogt, is de constructie "fool-proof" te maken, dat wil zeggen dat de constructie bestand is tegen een zekere mate van moedwillige vernielzucht. Men dient zich echter wel te realiseren dat men een constructie nooit "idiot-proof" zal krijgen; wanneer de mens werkelijk kwaad wil, dan blijkt daar eigenlijk geen enkele constructie tegen bestand.

Naast bedieningsfouten dient de ontwerper ook rekening te houden met het feit dat fouten ook door onderhouders geïntroduceerd kunnen worden. Sommige onderhoudsacties worden niet of niet goed uitgevoerd. Er is dan sprake van zogenoemde sleutelfouten. Remedies hiertegen zijn onder andere:

- Deugdelijke onderhoudsvoorschriften, pictogrammen enzovoort;
- Het beperken van preventieve onderhoudsacties, zoals door gebod 9 wordt aangegeven;
- Het beperken van in het bijzonder verwisselingsmogelijkheden van componenten, met name door de constructie ook in dit opzicht "fool-proof" uit te voeren.

In principe kan men verwisselingsfouten via de constructie op twee wijzen tegengaan:

- Door te zorgen voor eenduidigheid bij het plaatsen van de verschillende componenten;
- Qua door te zorgen voor eenduidigheid bij de manier waarop een bepaalde component op een bepaalde plaats gemonteerd dient te worden.

Een typisch praktijkvoorbeeld van een component dat door een verkeerde constructie foutief monteren in de hand werkt, is de in figuur 7 getekende bunkerklep. Door de symmetrische vormgeving van de klep kan die namelijk gemakkelijk verkeerd om gemonteerd worden; voor het uitvoeren van zijn functie dient de flexibele zijde van de klep echter aan de scharnierkant te zitten.

Andere voorbeelden van "fool-proof" constructies zijn:

- Geen handels- en pasbouten van dezelfde nominale maat door elkaar gebruiken, maar naast handelsbouten bijvoorbeeld gaspennen toepassen;
- Duidelijk verschil tussen bevestigings- en stelschroeven, bijvoorbeeld bij auto-koplampen;
- Geen dikke en dunne moeren op elkaar plaatsen;
- Een terugslagklep zodanig uitvoeren dat deze niet achterstevoren kan worden ingebouwd.

7. *Bevorder de ongevoeligheid voor schade*

De oorzaak van het falen van een object is schade aan een of meer componenten, welke geleidelijk of plotseling kan ontstaan als gevolg van:

- Langdurige normale belasting, bijvoorbeeld corrosie;
- Incidentele overbelasting, bijvoorbeeld geweldbreuk.

Op grond van het bovenstaande kan schade aan een of meer componenten leiden tot zowel onderhoudsuitvoerings- als onderhoudsafhankelijke kosten; eventueel kan echter ook volgschade aan andere componenten optreden. Het falen van een object kan men beperken door te streven naar een schade-resistente constructie (damage-resistant-design) [3]. Teneinde dit te bereiken dient men:

- De oorzaak van de schade te beperken dan wel te elimineren.  
Bij overbelasting van de constructie kan men dit bereiken door het inbouwen van beveiligingen (mechanisch, thermisch), bijvoorbeeld in de vorm van een slipkoppeling bij een tandwielkast;
- De ontwikkeling van de schade te beheersen.

Men kan dit bereiken door er voor te zorgen dat een component niet faalt gedurende een relevante periode, bijvoorbeeld het inspectie-interval van een object (safe-life). Dit vergt:

- Een goede bekende (normale) belastingsituatie, gekoppeld aan een valide berekeningsmethode, met betrouwbare gegevens;
- Eventueel een overbemeten constructie (derating), met name wanneer aan het bovenstaande niet in voldoende mate kan worden voldaan;
- De gevolgen van de schade te beperken. Dit houdt in dat, indien een component faalt, er geen volgschade op objectniveau zal optreden. Dit is te bereiken door:
  - Redundante opstelling van componenten, zodat de deelfunctie van een defecte component door een andere component wordt voortgezet; men kan zich hierbij bedienen van een signaal dat het euvel aangeeft, of door het handmatig vaststellen van het euvel;
  - Een component welke bij falen een veilige toestand inneemt (fail-safe), zoals bijvoorbeeld bij een afsluiter (bij de functie afsluiten van bijvoorbeeld zuur valt de klep bij falen dicht als gevolg van de mediumdruk, in het geval van een brandblusleiding zal de klep bij falen juist openen onder invloed van de waterdruk);
  - Het aanbrengen van een beveiliging dan wel alarmering tegen volgschade.

8. *Bevorder de bepaalbaarheid van de conditie*

Het uitgangspunt bij deze aanbeveling is dat falen van een component zo mogelijk dient te worden voorkomen door het tijdig herstellen of vervangen ervan. Onder tijdig dient men hier "op het juiste moment" te verstaan, met andere woorden net voordat de component zou falen. Teneinde deze doelstelling te bereiken dient men de conditie van de component dus te "volgen", om vervolgens op grond van kennis over de ver-

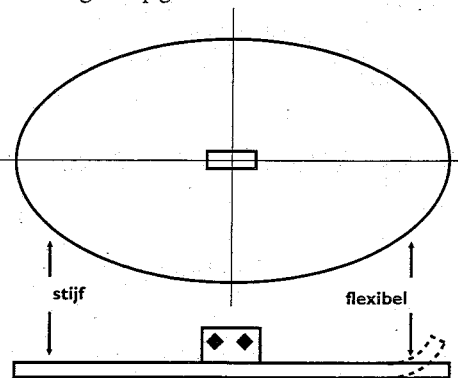


Fig. 7.  
Bunkerklep

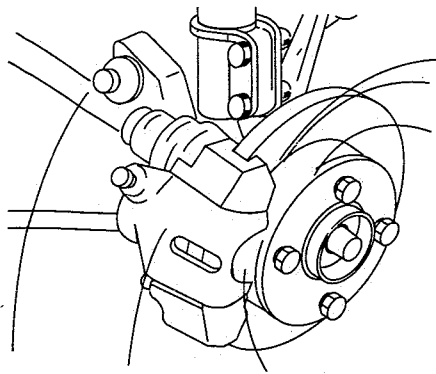


Fig. 8. Inspectie-opening in zadel schijfrem

slachtering hiervan in te grijpen, met andere woorden toestandsafhankelijk onderhoud uit te voeren.

Toestandsafhankelijk onderhoud betekent onderhoud op grond van visuele inspectie of metingen van de staat of van de prestatie van het object of zijn componenten. Dit vereist dat:

- Technieken beschikbaar zijn met behulp waarvan de toestand of conditie van een component kan worden gemeten, bijvoorbeeld met opnemers en dergelijke.
- De constructie de vereiste metingen ook toelaat, waarbij met name aan het aspect toegankelijkheid dient te worden gedacht.

Om dit alles te realiseren moet men de constructie zo kiezen dat de te meten component als het ware een "open boek" is. Voorbeelden op dit gebied zijn onder andere:

- Het aanbrengen van inspectieopeningen (vorm component), bijvoorbeeld in het zadel van een schijfrem (figuur 8);
- Het aanbrengen van aansluitpunten voor testapparatuur, zoals meetnippels voor trillingsmetingen (hulpcomponent);
- Het inbouwen van testapparatuur (Built In Test Equipment), door middel waarvan de conditie van het object "opgevraagd" kan worden of die automatisch melding maakt van ongerechtigheden, denk aan de boordcomputer in sommige auto's (hulpcomponent);
- Het aanbrengen van signaleringen en alarmeringen, zodat men tijdig wordt gewaarschuwd voordat het object kan falen, denk aan druk- en temperatuurbeveiligingen (hulpcomponent);
- Het toepassen van trend-monitoring, dat wil zeggen het continu volgen van de conditie van het object, zodat men op (enige) termijn het tijdstip van falen kan inschatten en zodoende voorkomen (hulpcomponent).

Een aardig voorbeeld waarmee het ontwikkelingsproces van het bewaken van de conditie van een component wordt geïllustreerd is de trommelrem van een personenauto.

Uitgangspunt voor de conditie van de trommelrem is de dikte van de remvoering. Het genoemde ontwikkelingsproces is in de volgende stappen aan te geven:

- Vroeger diende men de remtrommel te demonteren, vervolgens te controleren en zonodig de remvoering te vervangen;
- Vervolgens werd er een inspectieopening in de trommel aangebracht, zodat de conditie van de remvoering zonder demontage van de trommel bekeken kon worden;
- De volgende stap was het aanbrengen van verdwijnende groeven in de voering, zodat het schatten van de dikte ervan eenvoudiger werd;
- Daarna werden er contactpunten ingevoerd, waardoor signalering bij een te geringe dikte van de voering plaatsvond;
- Tenslotte heeft men door het aanbrengen van een afwijkende materiaal laag er voor gezorgd, dat de remmen bij een te kleine dikte van de voering zodanig gaan piepen, dat zij wel vervangen moeten worden.

9. Pas het "Eigen-Hulp" principe toe

Componenten kunnen verzorging vragen, onder andere in de vorm van smeren, nastellen en schoonmaken. Dit vereist preventieve onderhoudsacties, die soms niet eenvoudig zijn uit te voeren, bijvoorbeeld door moeilijke werkomstandigheden of het ontbreken van het benodigde "Fingerspitzengefühl". Het gevolg kan dan zijn dat de acties soms verkeerd of helemaal niet worden uitgevoerd.

In beginsel is dit te ondervangen door het toevoegen van hulpcomponenten die deze acties uitvoeren, met andere woorden gebruik maken van het "eigen hulp" principe. Deze hulpcomponenten moeten zelf uiteraard een uitstekend onderhoudsgedrag hebben, en liefst zeer eenvoudig zijn (KISS). Daartoe dient men "eigen-hulp" zo mogelijk te realiseren op een laag niveau van complexiteit, met middelen (materie, energie, informatie) die reeds in de constructie zelf aanwezig zijn. Voorbeelden van eigen-hulp zijn:

- Een zelfnastellende rem (hulpcomponent), zodat de rem zonder nastellen steeds optimaal functioneert;
- Een zelfnastellend mangatdeksel (materiële structuur), waardoor nastellen als gevolg van verlies aan voorspankracht en het inklinken van de pakking overbodig wordt, (figuur 9);
- Een zelfreinigend kogelventiel, vat enzovoort (materiële structuur);
- Een verkleurende autoband, welke is op te vatten als een signalering met een zeer hoge bedrijfszekerheid (materiaal).

Ook bij het toepassen van dit eigen-hulp principe dient men het doel niet voorbij te

schieten. Wanneer de hulpcomponent die bepaalde preventieve onderhoudsacties overneemt te complex wordt uitgevoerd en daardoor zelf een te lage bedrijfszekerheid bezit, kunnen er om die reden problemen ontstaan, zoals bijvoorbeeld met een zelfdoordraaiend doekenfilter het geval is (hulpcomponent).

10. Lever een onderhoudshandleiding mee  
Goede onderhoudsvoorschriften zijn even belangrijk als goede bedieningsvoorschriften. Men kan het onderhoudsgedrag van een object bevorderen door het geven van aanbevelingen voor:

- Het uitpakken, installeren, afstellen en in bedrijf nemen van het object;
- Het te kiezen onderhoudsconcept, onder meer ten aanzien van:
  - Aard en frequentie van preventieve acties;
  - Goed- en afkeurmaten;
  - Te volgen werkwijzen bij preventieve en correctieve onderhoudsacties;
- Eventueel hulpgereedschap;
- Inventarislijst en codes van reservedelen;
- Aan te houden voorraad reservedelen.

Het gebruik en daarmee het effect van een onderhoudshandleiding hangt in hoge mate af van de vorm ervan. Aan deze vorm kunnen de volgende eisen worden gesteld:

- Volledig, duidelijk, overzichtelijk en hanteerbaar;
- Aangepast aan het betreffende onderhoudsniveau inzake taal, kennis, inzicht en vaardigheden;
- Goede schema's en tekeningen;
- Zoveel mogelijk integreren met de constructie in de vorm van pictogrammen, kleuren enzovoort.

Uit het voorgaande volgt dat onderhoudsvoorschriften zijn op te vatten als een onmis-

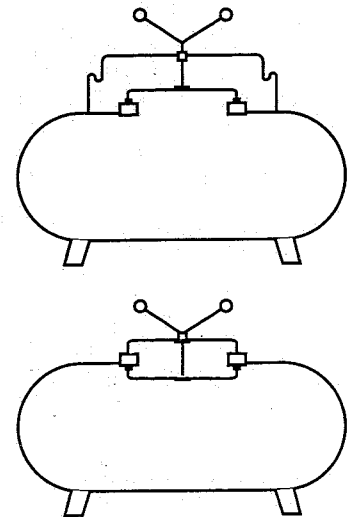


Fig. 9. Zelfnastellend mangatdeksel

baar deel van het ontwerp ("hulpcomponent"); ze vormen bovendien een goede controle voor de ontwerper op zijn eigen werk.

**Toepassingsmogelijkheden**

Het is uiteraard vanzelfsprekend dat niet in elk ontwerp alle geboden zijn toe te passen, maar in vrijwel ieder ontwerp is toepassing van één of meer geboden mogelijk en derhalve van belang.

In figuur 10 is een plunjerafdichting getekend, waarbij door de ontwerper duidelijk met de tien geboden rekening is gehouden. Het resultaat is dan ook een constructie, die met recht onderhoudsgunstig kan worden genoemd.

Zoals de figuur laat zien, bestaat de plunjerafdichting uit een cilinder (1), die tegen het pomphuis is gemonteerd. De pakking (3) wordt via een bus (4) door de pompvloeistof aangedrukt met een kracht evenredig aan de pompdruk. De aan deze bus verbonden pen (5) signaleert door verkleuring wanneer de pakking moet worden vernieuwd.

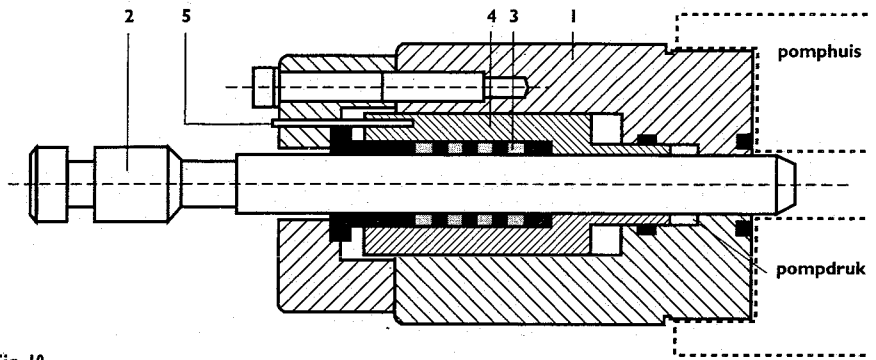


Fig. 10. Onderhoudsgunstige plunjerafdichting

één of meer aanbevelingen niet het geval is, is het aan de ontwerper om na te gaan op welke wijze hij de constructie zo goed mogelijk kan aanpassen.

Ter illustratie volgen hieronder enige aanbevelingen uit de beoordelingslijst ontwerp-algemeen.

**Beoordelingslijst ontwerp-algemeen**

Positieve en negatieve ervaringen met objecten die onder soortgelijke omstandigheden functioneren, zijn verwerkt in het ontwerp.

Deelfuncties zijn zo veel mogelijk geëlimineerd, in het bijzonder de kritieke.

Men heeft nagegaan of er voorschriften van toepassing zijn of binnenkort worden (normen, aanbevelingen, wetten).

Men heeft nagegaan welke componenten het vaakst preventieve en/of correctieve onderhoudsacties vergen en deze goed bereikbaar en toegankelijk gemaakt.

Alle componenten die vaak uitgewisseld worden, hebben goed losneembare verbindingen.

Er is gestreefd naar een modulaire bouw teneinde onder andere detectie- en afstelproblemen te beperken.

Bedieningsfouten zijn uitgesloten (fool-proof); het overbruggen van beveiligingen, bijvoorbeeld door vastzetten, is tegengegaan.

Overbelasting, opgeroepen door toevoer, bedienen, onderhoud of omgeving, kan geen schade aanrichten.

De conditie van kritieke onderdelen kan op gemakkelijke wijze worden vastgesteld, b.v. door inspectieopeningen, kijkglazen, doorzichtige reservoirs en dergelijke.

De onderhoudsvorschriften zijn afgestemd op kennis, inzicht en taalbeheersing van de onderhouder.

Bij het afwegen van alternatieven is de keuze mede gebaseerd op een schatting van de te verwachten levensduurkosten.

**Literatuur:**

[1] Hankmann, W., Een eerste opstap naar onderhoudsbewust ontwerpen, *I<sup>2</sup> Werktuigbouwkunde*, september 1991 nr. 9.  
 [2] *Onderhoudsbewust Ontwerpen in de Werktuigbouw, Deel I: Achtergronden*, NVDO 1983/1.  
 [3] Hankmann, W., *Dictaat Terotechniek 1: Inleiding*, Technische Universiteit Eindhoven, oktober 1990.  
 [4] Hankmann, W., *Onderhoudsverbetering: van probleem tot oplossing*, *I<sup>2</sup> Werktuigbouwkunde*, 1991 nr. 5, p. 17-21.  
 [5] Hankmann, W., *Analyse helpt constructeur onderhoudsbewust ontwerpen*, *I<sup>2</sup> Werktuigbouwkunde*, 1991 nr. 1, deel (1), p. 44-48, 1991 nr. 2, deel (2), p. 37-42, 1991 nr. 3, deel (3), p. 18-21.  
 [6] Miles, L.D. *Techniques of Value analyses and engineering*. London: McGraw Hill 1961-XI, 267 pages.  
 [7] Wörner, R., *Wälzlagertechnik*, *Industrietechnik*, *Berichte aus der Firmengruppe FAG Kugelfischer*, 1989, p. 44-46.  
 [8] Hankmann, W., *Dictaat Terotechniek 2: Onderhoudsbewust Ontwerpen*, Technische Universiteit Eindhoven, oktober 1991.  
 [9] *Onderhoudsbewust Ontwerpen in de Werktuigbouw, Deel II: Beoordelingslijsten*, NVDO 1983/2.

De in deze plunjerafdichting toegepaste "geboden" zijn:

- 5. Modulaire bouw;
- 6. Ongevoeligheid voor menselijke fouten;
- 7. Ongevoeligheid voor schade;
- 8. Bepaalbaarheid van conditie;
- 9. Eigen hulp.

**Beoordelingslijst Ontwerp-Algemeen**

De tien geboden zijn voornamelijk in de beginfase van het ontwerpen in algemene zin toe te passen. Wanneer een object concreter wordt kan men beter tot het gebruik van meer specifieke aanbevelingen voor preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid overgaan [8].

Teneinde in de bovengenoemde geest te handelen kan de ontwerper in de verschillende fasen van het ontwerpen gebruik maken van door de NVDO samengestelde beoordelingslijsten [9]. Deze beoordelingslijsten zijn opgedeeld in een:

- Beoordelingslijst eisenpakket [8,9];
- Beoordelingslijst voorontwerp [8,9];
- Beoordelingslijst ontwerp-algemeen [3,9];
- Beoordelingslijst bedrijfszekerheid [8,9];
- Beoordelingslijst preventievrijheid [8,9];
- Beoordelingslijst onderhoudbaarheid [8,9];

De tien geboden zijn terug te vinden in de beoordelingslijst ontwerp-algemeen. De beoordelingslijsten bedrijfszekerheid, preventievrijheid en onderhoudbaarheid zullen in de volgende publikaties aan de orde komen. De zin van de lijsten is om voor het betreffende ontwerp op systematische wijze na te gaan of dit ontwerp aan een aantal relevante aanbevelingen voldoet. Wanneer dit voor

**Summary**

The author explains how maintenance-aware designing makes sense. He spells out ten practical rules or "commandments". These rules, created by a NVDO-working party, serve the maintenance-aspects the rate of preventive maintenance, reliability and maintainability. They are "make the construction simple", "use normalised components", "improve achievement", "improve exchangeability", "modulate the construction", "further insensitivity for human faults", "further insensitivity for damage", "further condition monitoring", "use the self-help principle" and "deliver a maintenance-manual". At last five of the rules will be showed by a real technical object.

E  
W  
C  
verb  
bep  
nism  
ken.  
tewi  
de s  
merl  
eige  
toeg  
invl  
De v  
tot g  
● E  
● C  
● V  
● W  
re  
● P  
v  
Om  
staat  
over  
te-ov  
word  
chan  
oppe  
word  
zulle  
lijke  
bruik  
triële  
waar  
tot v  
toest  
kan h  
cedu  
D.G.  
Dr.ir.  
bij geb