

Systematische ontwikkeling van een technische verbetering aan een object

Citation for published version (APA):

Hankmann, W. (1988). Systematische ontwikkeling van een technische verbetering aan een object. *Constructeur*, 27(2), 44-49.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1988

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

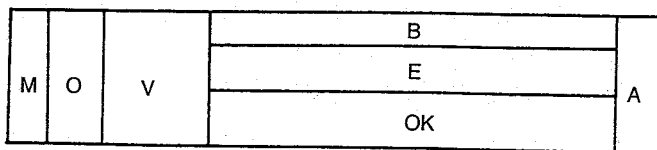
providing details and we will investigate your claim.

Systematische ontwikkeling van een technische verbetering aan een object

Aangezien de onderhoudskosten een wezenlijk bestanddeel van de totale levensduurkosten van een object vormen, is het van belang om het onderhoudsaspect in een zo vroeg mogelijk stadium van het ontwerpen te betrekken. Het is daarbij niet realistisch om te veronderstellen dat onderhoud reeds in de conceptfase tot in al zijn details bekeken kan worden. Wel is het mogelijk om dan reeds onderhoud in algemene zin mee te nemen, naast andere belangrijke aspecten als vervaardiging, energieverbruik etcetera. Pas wanneer het ontwerp meer concreet wordt, kan onderhoud een meer specifiek aandachtsgebied voor de ontwerper vormen. Hierbij valt dan te denken aan het uitvoeren van een onderhoudsanalyse op het object. Met behulp hiervan kan de ontwerper, eventueel samen met toekomstige gebruikers en onderhouders, zich een oordeel vormen over de onderhoudseigenschappen van het object en over het onderhoudsgedrag van de componenten waaruit het object is samengesteld. Zonodig zal hij vervolgens constructieve verbeteringen aanbrengen indien die economisch verantwoord zijn. Wanneer men bij bestaande installaties met te hoge onderhoudskosten geconfronteerd wordt, is het eveneens zinvol deze op de beschreven wijze aan te pakken. Wel dient men hierbij dan eerst zogenaamde onderhoudszwaartepunten vast te stellen en de onderhoudsproblemen duidelijk te formuleren, alvorens tot analyse kan worden overgegaan. Via een flow-schema technische verbeteringen wordt de te volgen weg op overzichtelijke wijze weergegeven. Meer nog dan bij nieuwe objecten is de rol van de onderhouder en zijn relatie met de ontwerper van wezenlijk belang.

Ontwerpen op minimale levensduurkosten

Een object doorloopt gedurende zijn leven verscheidene fasen, te beginnen met het marktonderzoek en eindigend met het afdanken. De deelkosten die de verschillende levensfasen met zich meebrengen, vormen samen de levensduurkosten van een object. Figuur 1 toont een zogenaamde levensduurkostenbalk van een willekeurig object, met hierin opgenomen de belangrijkste deelkosten die met het vervaardigen en het gebruik gepaard gaan.



Figuur 1. Levensduurkostenbalk

Hierin wordt de kostprijs onder andere gevormd door:

M = de kosten ten behoeve van het marktonderzoek

O = de kosten van ontwerp en ontwikkeling

V = de vervaardigingskosten

De gebruikskosten bestaan onder andere uit:

E = de energieverbruikkosten van het object gedurende zijn gebruiksduur

B = de bedieningskosten van het object gedurende zijn gebruiksduur

Vervolgens zijn nog opgenomen:

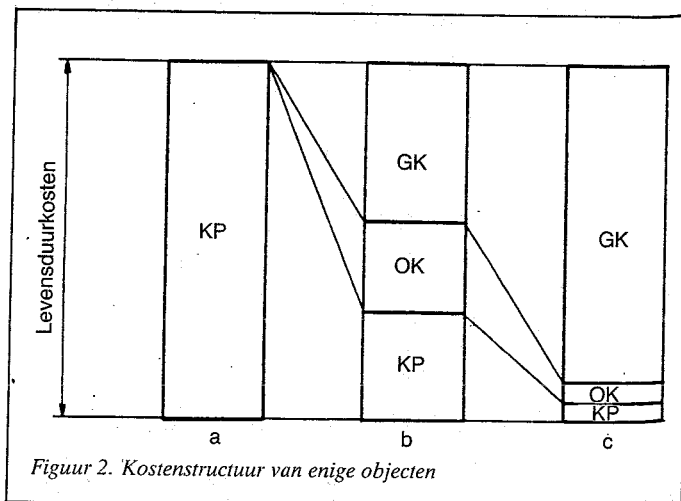
OK = de onderhoudskosten van het object gedurende zijn gebruiksduur

A = de kosten verbonden aan het afdanken van het object

Ofschoon de deelkosten in de levensduurkostenbalk gescheiden zijn weergegeven, is de realiteit dat zij elkaar in de tijd overlappen. Bovendien vindt onderlinge beïnvloeding plaats, een aspect, waar de ontwerper terdege rekening mee dient te houden. Wanneer men een voorraadtank van een installatie bij voorbeeld van roestvast staal in plaats van gewoon staal zou maken, heeft dit uiteraard een kostprijsverhogend effect. Behoeft men deze tank echter tijdens de levensduur van de installatie niet meer te vervangen, dan betekent dit een verlaging van de onderhoudskosten. Een juiste afweging van beide deelkosten zal (mede) bepalend zijn voor de uiteindelijke keuze.

Meer in het algemeen zal de doelstelling van de ontwerper zijn, minimale kosten per eenheid produkt of dienst, dat wil zeggen ontwerpen op minimale levensduurkosten. Niet alle deelkosten zijn even belangrijk of zelfs maar voldoende 'zwaar' om in de kostenafweging meegenomen te worden. Dit houdt in dat de ontwerper zijn aandacht vooral dient te richten op die deelkosten, welke dominant blijken te zijn. Dit betekent dus dat hij ten aanzien van een te ontwerpen object in eerste instantie zwartepunten binnen de kostenbalk dient vast te stellen, om vervolgens, met deze deelkosten en hun onderlinge relaties als uitgangspunt, het ontwerp in economisch opzicht te optimaliseren.

In figuur 2 is de kostenstructuur van enige objecten weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat de voornoemde zwartepunten sterk objectafhankelijk zijn. Bij eenvoudig handgereedschap (a) bijvoorbeeld is uitsluitend de kostprijs van belang, bij personenauto's (b) zal naast de kostprijs ook aan de gebruiks- en onderhoudskosten aandacht geschonken dienen te worden, terwijl bij centrifugaalpompen (c) de gebruikskosten maatgevend kunnen zijn.

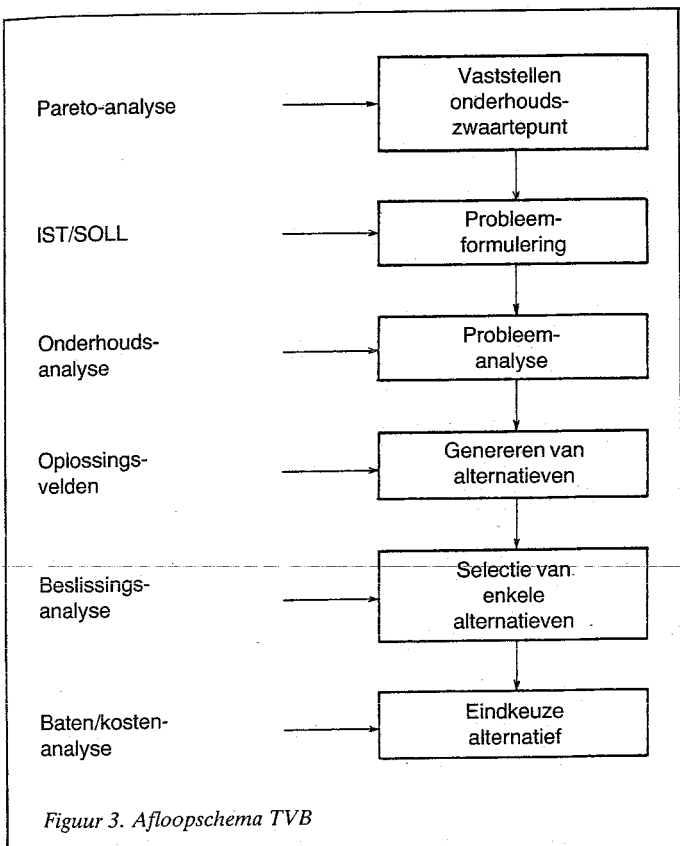


Figuur 2. Kostenstructuur van enige objecten

Hiermee is aangetoond, dat de verschillende relevante deekosten niet geïsoleerd, maar in relatie tot elkaar bekeken dienen te worden. Om dit echter te kunnen realiseren, is voorkennis omtrent het ontstaan en de opbouw van de deekosten vereist. Voor wat betreft de onderhoudskosten kan deze kennis met behulp van een onderhoudsanalyse verkregen worden.

Het afloopschema technische verbeteringen

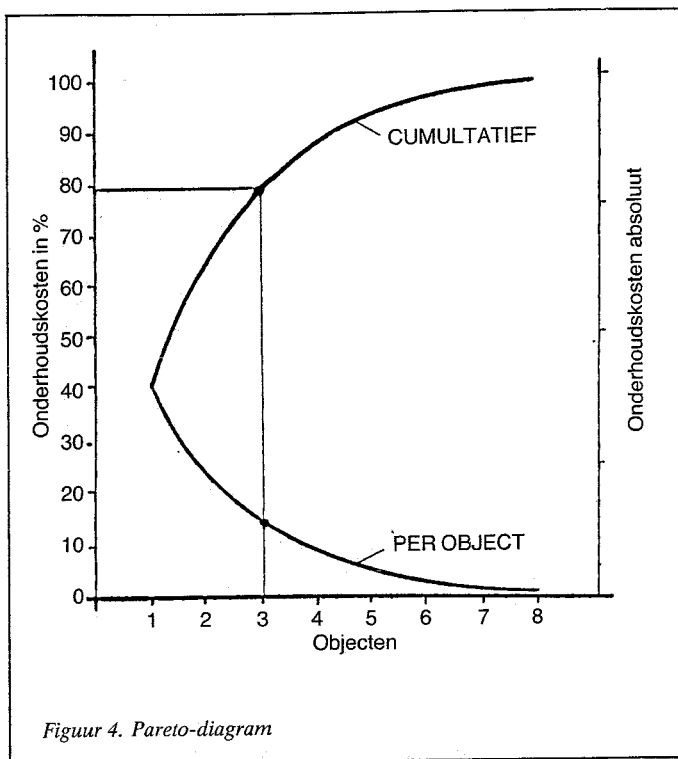
Teneinde de onderhoudskosten van een installatie, fabriek of productiestraat op doelmatige wijze aan te pakken, is het nodig om op systematische wijze te werk te gaan. Een uitgangspunt voor een dergelijke aanpak wordt gevormd door het 'Afloopschema TVB', waarin de opeenvolgende stappen worden aangegeven die doorlopen dienen te worden om voor een bepaald onderhoudszwaartepunt vanuit een probleemstelling tot een technisch en economisch verantwoord verbeteringsvoorstel te komen. Tevens wordt voor elke stap een mogelijke methode voor de invulling ervan aangegeven.



De eerste stap van het in figuur 3 getekende flow-schema houdt het bepalen van zogenaamde 'onderhoudszwaartepunten' in. Wanneer de onderhoudskosten van een fabriek of installatie te hoog zijn, ligt het voor de hand om aan te nemen dat niet alle objecten binnen zo'n fabriek in gelijke mate voor de onderhoudskosten verantwoordelijk zijn. Wanneer men deze kosten dan ook op effectieve wijze wil bestrijden, dient men eerst na te gaan welke objecten deze kosten in hoofdzaak veroorzaken. Het is hierbij van groot belang om niet alleen de onderhoudsuitvoeringskosten of directe onderhoudskosten in de beschouwing te betrekken, maar ook de onderhoudsafhankelijke kosten of indirecte onderhoudskosten. Deze laatste blijken in de praktijk van dezelfde orde als de eerste, in de procesindustrie vaak zelfs dominant te zijn. Een praktische methode voor het bepalen van onderhoudszwaartepunten is het uitvoeren van een Pareto-analyse [1], ook wel bekend als de zogenaamde 80/20 regel. Opgemerkt dient te worden dat naast of zelfs in plaats van onderhoudskosten ook andere beoordelingscriteria, bij voorbeeld veiligheid en/of milieu, gehanteerd kunnen

worden. In het in figuur 4 getekende Pareto-diagram zijn de objecten van een bepaalde fabriek in volgorde van afnemende hoogte van onderhoudskosten op de horizontale as weergegeven, op de beide verticale assen zijn de onderhoudskosten absoluut respectievelijk percentsgewijs uitgezet.

In de onderste kromme van de grafiek zijn de onderhoudskosten per object, in de bovenste kromme hun gecumuleerde waarden opgenomen.



Welk object vervolgens voor een eventuele technische verbetering in aanmerking komt, hangt niet alleen van het totale onderhoudskostenpercentage af, maar wordt in hoofdzaak bepaald door het via de constructie te beïnvloeden deel daarvan. Zo kan voor het voorbeeld uit figuur 4 gesteld worden dat van de 40% onderhoudskosten van de reactor (object 1), slechts 6% door de constructie beïnvloedbaar is, terwijl dit voor de centrifuge (object 2) voor meer dan 20% geldt.

De tweede stap in het afloopschema is de 'probleemformulering' van het gekozen onderhoudszwaartepunt. Het doel van deze stap is om via recherche te komen tot een zo volledig mogelijk beeld van de IST-toestand van het object, zowel ten aanzien van het preventieve onderhoud (onderhoudsconcept) als de correctieve onderhoudsacties. Uit dit overzicht destilleert de onderhouder op verstandige wijze één of meer wensen ten aanzien van bij voorbeeld de standtijd van componenten, het revisie-interval van het object en/of de onderhoudbaarheid ervan. Een vergelijking van deze zogenaamde SOLL-toestand met het overeenkomstige IST-deel vormt de probleemstelling, welke het uitgangspunt voor de probleemanalyse is. Zo'n probleemstelling kan bij voorbeeld zijn het verduubelen van de standtijd van een component, zodat deze 'in de pas' loopt met andere componenten, of het zodanig verkorten van de revisieduur van het object, dat er geen additionele onderhoudsafhankelijke kosten meer zijn.

Teneinde de IST-toestand goed te kunnen beschrijven, is het nodig om eerst de systeemgrenzen van zowel de installatie als het onderhoudszwaartepunt eenduidig vast te stellen. Tevens is het van belang om zowel de installatie als het betreffende object procesmatig en technisch te beschrijven. De volgende stappen van het afloopschema zullen in de onderstaande paragrafen belicht worden.

Systematische ontwikkeling van een technische verbetering aan een object

De onderhoudsanalyse [2]

Ontwerpen vereist een hoge mate van deskundigheid, ervaring en creativiteit. De onderhoudsanalyse biedt de ontwerper de mogelijkheid om het aspect onderhoud op systematische wijze in zijn ontwerp te betrekken en daarmee de onderhoudseigenschappen ervan in het algemeen positief te beïnvloeden.

De onderhoudsanalyse bestaat uit een check-list-analyse, waarbij het ontwerp als geheel getoetst wordt aan algemene en/of specifieke onderhoudskenmerken, een gedragsanalyse, waarbij het gedrag van een aantal relevante componenten in onderhoudsopzicht bekeken en in kengetallen vertaald wordt en een kostenanalyse waar, uitgaande van deze kengetallen en onder toevoeging van de nodige kosteninformatie, de uiteindelijke onderhoudskosten van het object geschat worden.

Wij stellen aan de onderhoudsanalyse de volgende eisen:

1. de methode moet kwantitatief aangeven welke componenten binnen een alternatief uit onderhoudsoogpunt de zwakke plekken vormen
2. de methode moet leiden tot een samenvattend oordeel over het onderhoudsgedrag van een alternatief als geheel
3. het samenvattend oordeel moet combinatie met andere kwaliteitskenmerken toelaten.

Check-list-analyse

Een checklistanalyse ten aanzien van onderhoudsaspecten moet worden gebaseerd op in dat opzicht relevante constructieve kenmerken. Op deze wijze kan men zich een oordeel vormen over een enkel ontwerp op zich, maar ook verschillende alternatieven met elkaar vergelijken [3]. Afhankelijk van het gestelde doel kan men deze lijst van beoordelingskenmerken opstellen en zo nodig van gewichtsfactoren voorzien. Teneinde de beoordeling op rationele wijze te laten plaatsvinden, dient men de waardering van een ontwerp ten aanzien van elk beoordelingscriterium in een cijfer op een ratio-schaal [2], bij voorbeeld van 0-4, uit te drukken. Door nu elke score met de desbetreffende gewichtsfactor te vermenigvuldigen en vervolgens deze resultaten op te tellen, komt men tot een eindwaardering van het beschouwde object ten aanzien van de gekozen kenmerken. In figuur 5 zijn de resultaten van een check-list-analyse van twee motormaaiers opgenomen.

Figuur 5. Check-list-analyse motormaaiers

Kenmerk	Eenvoud constructie		Onderhoudbaarheid		Behoeftte aan preventief onderhoud		Gevoeligheid voor schade		Reinigbaarheid		Resultaat	
	o	g	o	g	o	g	o	g	o	g	o	g
Gewicht	1		3		2		3		1			
Alternatief	o	g	o	g	o	g	o	g	o	g	o	g
Kooimaaiër	1	1	1	3	1	2	1	3	0	0	4	9
Cirkel maaier	4	4	4	12	2	4	2	6	3	3	15	29

Voor het vinden van relevante beoordelingscriteria kan men teruggrijpen op aanbevelingen zoals deze in algemene zin in de vorm van '10 geboden' en meer in het bijzonder ten aanzien van de onderhoudsaspecten preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid zijn gegeven [4].

Uit deze aanbevelingen kan men aspecten schrappen die niet van toepassing zijn, en de resterende aanbevelingen desgewenst verbijzonderen; als aspect van eenvoud kan bij voorbeeld het aantal bewegende delen worden onderscheiden. De mate waarin de alternatieven aan deze aanbevelingen voldoen, vormt een indicatie voor hun te verwachten onderhoudsgedrag.

Gedragsanalyse

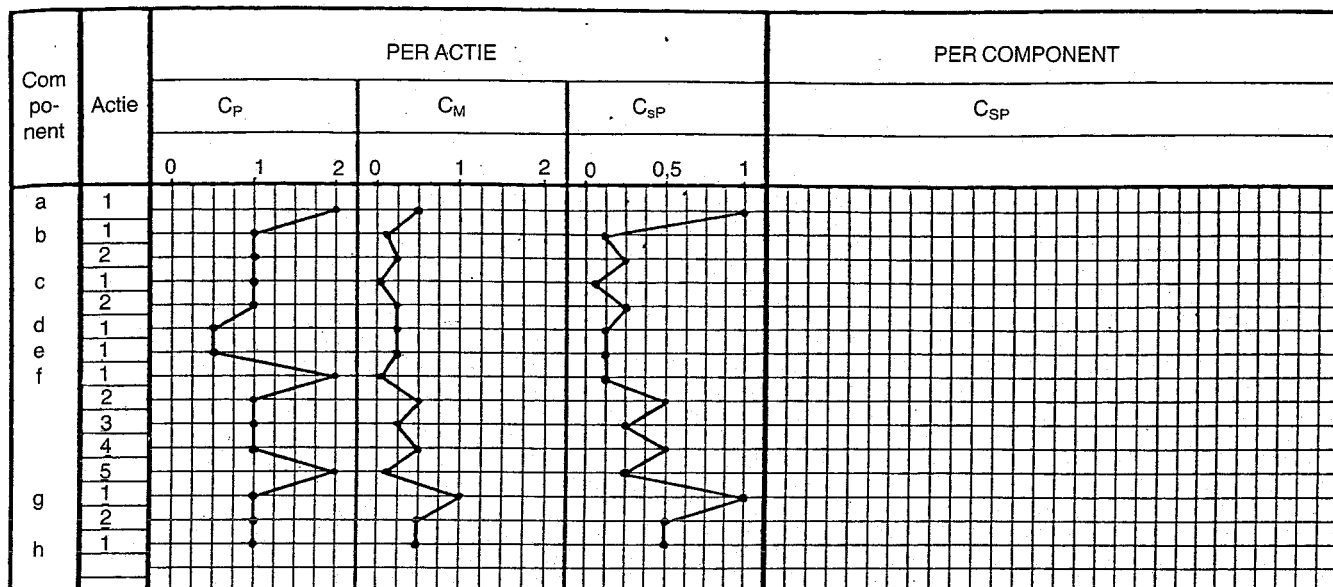
Om het te verwachten onderhoudsgedrag van een ontwerp op te sporen, ligt het voor de hand eerst de optredende preventieve en correctieve acties uit het ontwerp af te leiden en na te gaan hoe die moeten worden uitgevoerd. Vervolgens moet men, teneinde tot afwegingen en beslissingen te kunnen komen, bepalen hoe vaak die acties voorkomen en hoe groot de offers zijn die zij vergen. De onderhoudsanalyse van een object kan men aldus in drie samenhangende deelanalyses opsplitsen, die elk een kwalitatief en een kwantitatief gedeelte omvatten en per component worden uitgevoerd:

- preventievrijheidsanalyse: welke preventieve acties vergt de component en hoe vaak?
- bedrijfszekerheidsanalyse: op welke wijze kan de component falen, welke correctieve acties zijn dan nodig en hoe vaak komt dat naar verwachting voor?
- onderhoudbaarheidsanalyse: wat is de werkwijze bij de preventieve en correctieve acties, welk onderhoudsniveau moet die uitvoeren, welke uitrusting is daarbij nodig en hoe groot zijn die offers, bij voorbeeld aan manuren, die zij vergen?

De onderhoudsgedragsanalyse vangt kwalitatief aan met de vraag welke componenten naar verwachting onderhoudsacties zullen vergen. Hier bestaat overeenkomst met de zogenaamde failure mode and effect analysis (f.m.e.a.), een systematische opsporing van faalwijzen 'from bottom to top' bij technische objecten. Het begrip 'failure' is uitgebreid met de behoefte aan verzorging en inspectie; het begrip 'effect' is verbijzonderd tot de resulterende onderhoudsacties.

De kwalitatieve inventarisatie moet een kwantitatief vervolg krijgen. Dit is mogelijk door voor elke preventieve en correctieve onderhoudsactie een schatting van hun frequentie (aantal acties per jaar) en tijdsduur (klokuren) te maken en dit met behulp van de kengetallen C_p , C_c en C_m weer te geven. Hierbij stellen C_p en C_c de frequentie van respectievelijk de preventieve en correctieve acties voor, terwijl C_m voor de tijdsduur ervan staat. Het produkt $C_{sp} = C_p \cdot C_m$ voor preventieve acties en $C_{sc} = C_c \cdot C_m$ voor correctieve acties stelt de totale tijdsduur van een onderhoudsactie per jaar voor.

De procedure voor een gedragsanalyse is elders gedetailleerd beschreven in de vorm van een handleiding [5]. De waarde van de kengetallen zal de ontwerper in het algemeen samen met de onderhoudsuitvoerders moeten schatten. De resultaten van de



Figuur 6. Gedragprofiel luchtbehandelingsinstallatie

gedraganalyse kunnen grafisch worden weergegeven in een gedragprofiel. In figuur 6 is een dergelijk gedragprofiel ten aanzien van de preventieve onderhoudsacties van een luchtbehandelingsinstallatie opgenomen.

Op te merken valt dat er bij de frequenties van de acties (C_p) drie uitschieters zijn; het reinigen van de kleppen (a_1), het controleren van de V-snaren (f_1) en het smeren van de waaierlagers (f_5). Ten aanzien van de onderhoudbaarheid (C_m) is er slechts één uitschieter, het reinigen van de zeven en de spreidingsbuis (g_1). De langste onderhoudsduur op jaarbasis wordt veroorzaakt door de acties a_1 en g_1 .

Het zoeken naar verbeteringen zal dan ook in de eerste plaats op de laatstgenoemde acties gericht dienen te zijn, waarbij ten aanzien van de actie a_1 met name de bedrijfszekerheid, en bij de actie g_1 de onderhoudbaarheid de meeste aandacht zal krijgen.

De gedraganalyse is gebaseerd op een inventarisatie van de te verwachten preventieve en correctieve onderhoudsacties aan de componenten. Door toepassing van ratioschalen bij de kengetallen voor de frequentie en omvang van de onderhoudsacties kunnen over de beschouwde periode de totale onderhoudsoffers per component worden berekend en mag sommatie over alle componenten plaatsvinden. Een gedraganalyse in de beschreven vorm leidt tot een oordeel over het gedrag van de componenten (eis 1) en dat van het object als geheel (eis 2). Dit samenvattend oordeel, uitgedrukt in uren, is beperkt bruikbaar bij de optimalisering (eis 3). De methode voldoet vrij goed aan de gestelde eisen, maar is ook vrij omslachtig, dus tijdrovend en kostbaar. Deze nadelen kan men veelal ondervangen door slechts een beperkt aantal 'relevante' componenten in de analyse te betrekken. Mits deze goed worden gekozen op grond van ervaring, wordt beduidend sneller inzicht verkregen in het onderhoudsgedrag van de belangrijkste componenten en van het object als geheel. Vergelijking met andere objecten wordt echter bemoeilijkt en het resultaat daarvan minder betrouwbaar.

Kostenanalyse

De onderhoudskosten OK omvatten in de eerste plaats de onderhoudsuitvoeringskosten OUK met als belangrijkste bestanddelen de directe loon- en materiaalkosten voor preventieve en correc-

tieve acties: ook indirecte kosten zoals voor gereedschappen, behoren daartoe. Bovendien zijn tot de onderhoudskosten te rekenen de onderhoudsafhankelijke kosten OAK, opbrengstverliezen veroorzaakt door verstoring van de productiegang die zich onder andere kunnen uiten in overwerk, produktiederving en/of deklassing.

Schatting van de onderhoudskosten van alternatieven met het doel

Figuur 7. Kostenstructuur luchtbehandelingsinstallatie

Onderhoudskostenstructuur naar componenten en kostensoort					
Object: Luchtbehandelingsinstallatie					
Kostensoort: Totale onderhoudskosten OK					
Component		Onderhoudskosten			
Nr.	Naam	f	Cumulatief f	%	Cumulatief %
F	Ventilatorsectie	1.311,14	1.311,14	43	43
A	Kleppensectie	600,—	1.911,14	19	62
G	Bevochtiger	450,—	2.361,14	15	77
B	Filtersectie	222,50	2.583,64	7	84
I	Circulatiepomp	196,—	2.779,64	6	90
H	TA-ventielen	151,—	2.930,64	4,6	94,6
C	Voorverwarmer	78,13	3.008,77	3	97,6
D	Koeler	37,50	3.046,27	1,2	98,8
E	Naverwarmer	37,50	3.083,77	1,2	100

Systematische ontwikkeling van een technische verbetering aan een object

deze te kunnen afwegen tegen doorgaans vrij goed bekende verschillen in aanschafkosten, moet uiteraard vrij nauwkeurig zijn en moet daarom niet op een checklistanalyse, maar op een gedragsanalyse worden gebaseerd. De hoogte van de te verwachten onderhoudsuitvoeringskosten van een object wordt gevormd door de som van de kosten voor alle preventieve en correctieve acties bij alle componenten.

Het kan moeilijk zijn om ook de onderhoudsafhangelijke kosten te schatten, onder andere omdat deze sterk worden beïnvloed door de marktsituatie. Toch ontkomt men hier meestal niet aan, omdat deze kostenpost gewoonlijk van dezelfde grootte is als de onderhoudsuitvoeringskosten en mede daarom vaak impuls vormt tot het aanbrengen van verbeteringen aan bestaande objecten. In het algemeen zal men OAK kunnen splitsen in een deel dat uitsluitend afhankelijk is van het aantal productieonderbrekingen en een deel dat afhankelijk is van de duur van die onderbrekingen. In [2] en [5] worden de onderhoudskosten uitvoerig toegelicht.

Het resultaat van de kostenanalyse kan op overzichtelijke wijze in kostenstructuren en -profielen verwerkt worden. Figuur 7 toont een voorbeeld van zo'n kostenstructuur van een luchtbehandelingsinstallatie.

In figuur 8 is weer het gedragsprofiel uit figuur 6 getekend, maar nu aangevuld met een kostenprofiel. Bovendien zijn zowel het gedrags- als het kostenprofiel per component weergegeven. Uit het

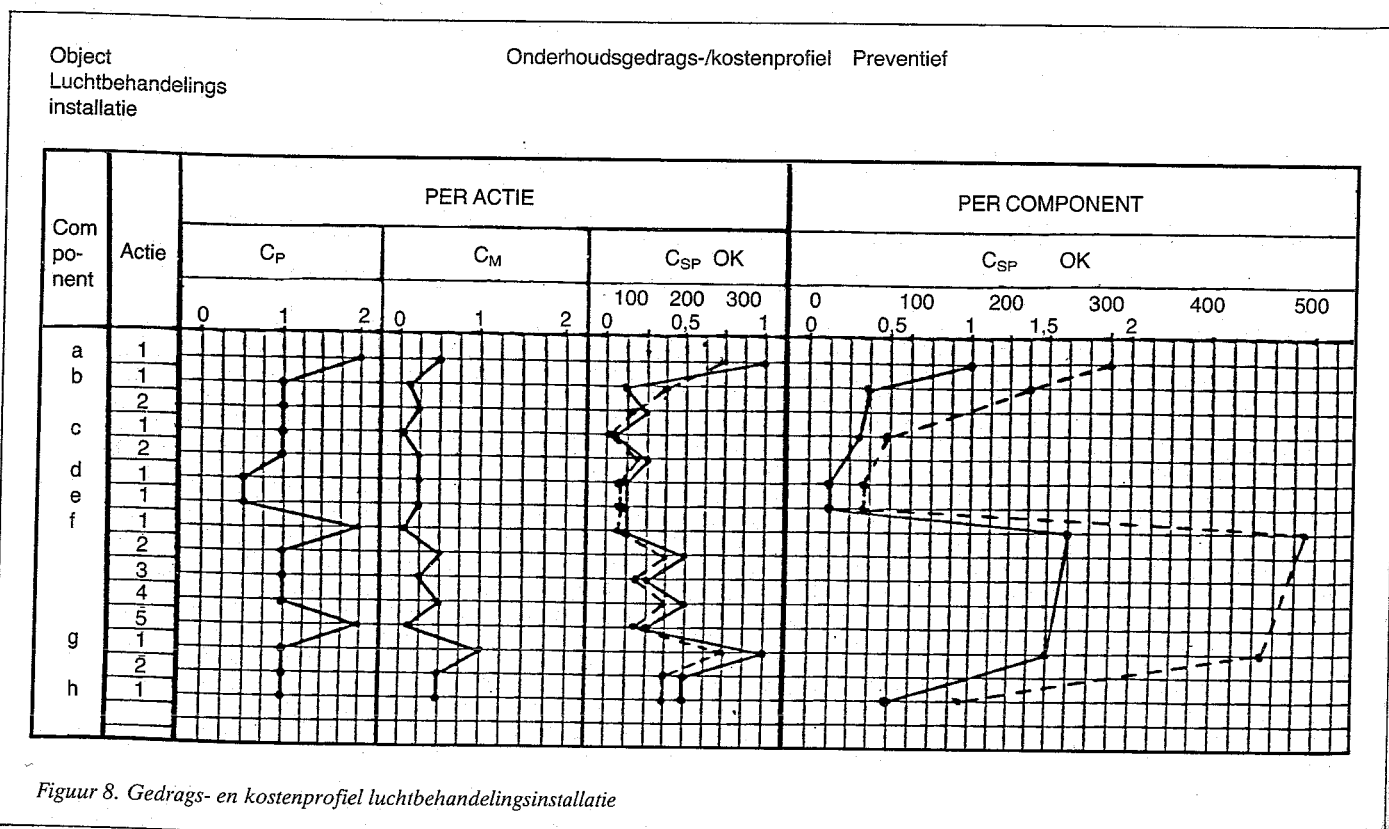
kostenprofiel per component blijkt dat de twee uitschieters uit de gedragsanalyse nog steeds hoog scoren, maar dat ze beide overtroffen worden door de onderhoudskosten van component f, de bevochtiger. Hieruit blijkt eenduidig de invloed van het aspect kosten op de analyse, hetgeen het uitvoeren van een kostenanalyse, aansluitend op de gedragsanalyse, zeker zinvol maakt.

De methode geeft een absolute schatting in geld van de onderhoudsbehoefte van een alternatief als geheel, alsmede van de bijdragen daartoe van zijn componenten. Daarmee is volledig voldaan aan de drie eisen die in de aanvang werden geformuleerd.

Het genereren en beoordelen van alternatieven

Het bedenken van oplossingen voor gestelde technische problemen kan uiteraard op verschillende manieren plaatsvinden. Ontwerperstalent, intuïtie, literatuurstudies, associatieprocessen, brainstorming en methodisch ontwerpen zijn allemaal mogelijkheden met behulp waarvan men tot nieuwe ideeën kan komen. In het geval van technische verbeteringen, waar zoals reeds gezegd met name de rol van de onderhouder en zijn relatie met ontwerper en gebruiker (productie) van groot belang zijn, is het noodzakelijk om in verband met de schaarse beschikbare tijd op praktische wijze te werk te gaan. Dit is bij voorbeeld mogelijk door gebruik te maken van zogenaamde oplossingsvelden ten aanzien van de onderhoudsaspecten preventievrijheid, bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid. Figuur 9 stelt zo'n oplossingsveld voor onderhoudbaarheid voor met verticaal de verschillende onderhoudbaarheidsaspecten en horizontaal een compleet overzicht van constructieve parameters. Dergelijke oplossingsvelden en met name de constructieve parameters zijn een uitvloeisel van methodisch ontwerpen [6].

Uitgangspunt voor het gebruik ervan zijn de resultaten van de onderhoudsgedrags- en kostenanalyse. Die leveren immers zogenaamde knelpunten op, met andere woorden componenten met bijvoorbeeld een te hoge storingsfrequentie (lage bedrijfszekerheid) en/of te langdurige onderhoudsacties (slechte onderhoudbaarheid). Met deze informatie als achtergrond kan men nu gericht in het oplossingsveld met behulp van brainstorming naar alterna-



Figuur 8. Gedrags- en kostenprofiel luchtbehandelingsinstallatie

Oplossingsveld M ↑

	Componenten		Structuur		Hulpcomponen-ten	
	Aantal	Aard		Functi-oneel		Mate-rieel
		Werk-wijze	Con-structie			
Afstemming middelen ↑						
Afstemming procedures ↑						
Werkomstandigheden ↑						
Waarneembaarheid ↑						
Inzichtelijkheid ↑						
Localisatie defecten ↑						
Bereikbaarheid ↑						
Uitwisselbaarheid ↑						
Bewerkbaarheid ↑						

Figuur 9. Oplossingsveld ten aanzien van onderhoudbaarheid

tieven zoeken, door achtereenvolgens voor elke constructieve parameter mogelijke oplossingen te bedenken. Naast vakmanschap en systematiek is hierbij zeker ook creativiteit een onmisbare eigenschap om tot goede resultaten te komen. Een eerste selectie ten aanzien van technische realiseerbaarheid reduceert het aantal oplossingen; alvorens echter de economische haalbaarheid na te gaan en vervolgens tot een definitieve keuze te komen is het vaak zinvol om een tweede selectie van de alternatieven uit te voeren. Om dit op rationele wijze te doen plaatsvinden kan men gebruik maken van de reeds eerder beschreven check-list-analyse, nu echter uit te voeren als beslissingsanalyse. Men dient hiervoor eerst een beperkt aantal (maximaal 10) relevante beoordelingskenmerken vast te stellen en van gewichtsfactoren te voorzien. Vervolgens kan men dan alle alternatieven per beoordelingskenmerk waarderen, bij voorbeeld met behulp van de 5-puntsschaal. De betekenis van het cijfer 0 is 'zeer slecht', maar wel nog net toelaatbaar, de score 4 betekent 'zeer goed' of 'uitstekend'. De noodzaak van beperken van kenmerken is gelegen in het feit dat deze anders niet meer onafhankelijk van elkaar zijn, een voorwaarde om tot een rationele keuze te komen.

Teneinde tot de economisch meest aantrekkelijke oplossing te komen kan men van de overgebleven alternatieven een batenkosten analyse uitvoeren. Onder baten wordt verstaan de vermindering van onderhoudskosten, te bepalen met behulp van een gedrags- en kostenanalyse ten aanzien van de voorgestelde verbeteringen en deze vervolgens met de oorspronkelijke resultaten te vergelijken. De kosten hebben uiteraard betrekking op de uit te voeren verbeteringen en zijn bij voorbeeld met behulp van snelcalculatiemethoden [7] te bepalen.

Besluit

Het afloopschema TVB geeft op overzichtelijke wijze de stappen weer welke voor het ontwikkelen van een technische verbetering doorlopen moeten worden. Tevens zijn bij elke stap mogelijke methoden als gereedschap aangegeven. Uiteraard is niet elke technische verbetering van zodanig belang of omvang dat het schema volledig doorlopen dient te worden. Tevens is het zeker geen vanzelfsprekendheid dat de genoemde methoden steeds in volle omvang toegepast moeten worden. Met name de onderhoudsanalyse, waarvan de mérites in figuur 10 zijn samengevat, leent zich voor een verkorte, op de praktijk toegesneden aanpak.

De check-list-analyse berust op analyse van de constructieve kenmerken van het object als geheel, door vergelijking met een aantal relevante aanbevelingen. Bij gebruik als beslissingsanalyse dienen met name aantal en aard van de kenmerken met bijzondere zorg gekozen te worden. De methode is relatief snel en goedkoop uit te voeren.

De gedragsanalyse berust op een inventarisatie per component van de aard, de frequentie en de omvang van de benodigde onder-

houdsacties; de kostenanalyse bouwt hierop voort door berekening van de onderhoudsuitvoeringskosten en de onderhoudsafhanke-lijke kosten. Beide methoden kunnen leiden tot een resultaat dat wordt weergegeven op een ratioschaal en beide kunnen inzicht leveren in het gedrag, zowel van de componenten als van het object als geheel. Voor de optimalisatie is het resultaat van de kostenana-lyse beter geschikt dan dat van de gedragsanalyse.

Voor het genereren van alternatieven zijn diverse methoden aan te wenden. Het oplossingsveld met daarin opgenomen een volledig overzicht van de constructieve parameters, en met de resultaten van de onderhoudsanalyse als uitgangspunt, werkt het gericht zoeken naar oplossingen met behulp van brainstorming op praktische wijze in de hand. Samenwerking tussen onderhouder, ontwerper en gebruiker zijn hierbij van essentieel belang.

Tenslotte dient te worden opgemerkt dat het belang van onderhoudskosten steeds ondergeschikt is aan het belang van de zogenaamde levensduurkosten [8]. Door hun onderlinge relaties beïnvloeden de verschillende deeltkosten, waaronder dus ook de onderhoudskosten, elkaar. Bij het ontwikkelen van nieuwe projecten, maar ook van technische verbeteringen dienen de relevante deeltkosten dan ook steeds in hun onderlinge samenhang bekeken te worden.

Figuur 10. Vergelijking methoden voor onderhoudsanalyse

	Werkwijze			
	constructie-analyse	gedrags-analyse	kosten-analyse	
- beoordelingschaal	ordinaal	ratio	ratio	ratio
- ontwerpfase				
• voorontwerp	X	O	O	O
• ontwerp	X	X	X	X
- geschiktheid				
• zwakke componenten	-	-	++	++
• vergelijking alternatieven	□	+	++	++
• optimalisatie	-	□	+	++
- benodigde middelen	gering	vrij gering	vrij veel	veel

- ++ uitstekend
- + goed
- voldoende
- onvoldoende
- X toepasbaar
- O niet toepasbaar

Literatuur

- [1] Woodruff, D.M., Phillips, F.M., *The Pareto chart... tool for problem solving*, Chemical Engineering, april 1986, p. 111-114.
- [2] Mooren, A.L. van der en Hankmann, W., *Beoordeling van ontwerpalternatieven uit onderhoudsoogpunt*, de Constructeur, 1985, nr. 6, p. 30-37 en nr. 12 p. 64-70.
- [3] VDI - Richtlinie 2225.
- [4] Mooren, A.L. van der, *Evaluatie in de ontwerpfase van het onderhoudsdrag van werktuigkundige objecten*, NVDO-rapport 1983/3.
- [5] Hankmann, W., *Handleiding Onderhoudsanalyse*, T.U. Eindhoven, oktober 1987.
- [6] Mooren, A.L. van der, *Ontwerpkunde, Methodiek en Werktuigonderdelen, deel I: Methodisch ontwerpen*, T.U. Eindhoven.
- [7] Pahl, G., Rieg, F., *Kostenwachstumsgesetze für Baureihen*, Carl Hauser Verlag, München, Wien
- [8] Hankmann, W., *Onderhoudsanalyse van een luchtbehandelingsinstallatie*, Technische Bedrijfsvoering, 1987, nr. 2, p. 63-67. □