

TNO-rapport
FEL-96-A204

Verkennde studie naar de besturing van de kringloop van repareerbare reservedelen van de Koninklijke Landmacht

TNO Fysisch en Elektronisch
Laboratorium

Oude Waalsdorperweg 63
Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage

Telefoon 070 374 00 00
Fax 070 328 09 61

Datum
maart 1997

Auteur(s)
Ir. C.J.W. von Bergh
Ir. J.A.M. Hontelez CPIM
Dr. M.H.A. Klaver

Rubricering
Vastgesteld door : Ir. D.G. Boorsma
Vastgesteld d.d. : 25 februari 1997

Titel : Ongerubriceerd
Managementuittreksel : Ongerubriceerd
Samenvatting : Ongerubriceerd
Rapporttekst : Ongerubriceerd
Bijlagen A - E : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : 9
Oplage : 38
Aantal pagina's : 96 (incl. bijlagen,
excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen : 5

© 1997 TNO

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for public release;
Distribution Unlimited

DTIC QUALITY INSPECTED 2

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium is onderdeel
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek
waartoe verder behoren:

TNO Prins Maurits Laboratorium
TNO Technische Menskunde



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

19970716 170

Managementuittreksel

Titel : Verkennende studie naar de besturing van de kringloop van repareerbare reservedelen van de Koninklijke Landmacht
Auteur(s) : Ir. C.J.W. von Bergh, Ir. J.A.M. Hontelez CPIM,
Dr. M.H.A. Klaver
Datum : maart 1997
Opdrachtnr. : A49KL629
IWP-nr. : 749
Rapportnr. : FEL-96-A204

In opdracht van de Afdeling Logistiek Beleid van de Directie Materieel Koninklijke Landmacht (DMKL/ALB) is een studie uitgevoerd naar de besturing van de kringloop van repareerbare reservedelen (reps). In een eerdere studie waren al de knelpunten in de huidige twee kringlopen (Directe Ruil (DR) en CVBKL) geanalyseerd. De Koninklijke Landmacht (KL) wil toe naar één kringloop voor de bevoorrading van alle reps. De processen en betrokken eenheden van deze nieuwe kringloop hebben gestalte gekregen in de ideeën uit de Projectgroep Onderhoud en Logistiek en de werkgroep HARENO. In deze studie is een besturingsmodel ontwikkeld voor de kringloop en zijn diverse onderwerpen die bij de besturing een rol spelen geanalyseerd. Daarbij is voorlopig uitgegaan van een 'steady-state' situatie, dat wil zeggen een constante hoeveelheid repareerbare reservedelen in de kringloop, dus geen opbouw of afbouw van voorraden.

In algemene termen wordt de prestatie van de kringloop bepaald door de servicegraad en de totale kosten. Servicegraad is een combinatie van het percentage van de totale behoefte waarin uit voorraad wordt voorzien (het servicepercentage) en de wachttijd als geen voorraad aanwezig is. Onder de totale kosten vallen de kosten van de processen in de kringloop, voorraadkosten, kosten voor nieuwe aanschaf ter vervanging van onherstelbaar geraakte reps en de materiaalkosten, gemaakt bij reparatie. De mogelijkheden om servicegraad en kosten van de kringloop te beïnvloeden zijn als volgt te categoriseren:

- processen;
- voorraadregels;
- kringloopbesturing.

Bij dit besturingsmodel zijn prestatie-indicatoren vastgesteld. Diverse onderwerpen uit de drie categorieën zijn nader geanalyseerd waarbij gebruik is gemaakt van een simulatiemodel in het pakket Taylor en twee spreadsheet-modellen.

Processen

Doorlooptijden, capaciteit en integrale kosten van processen hebben gevolgen voor de prestatie van de kringloop. De processen zijn grotendeels als gegeven beschouwd en doorlooptijden en kosten worden zoveel mogelijk conform de huidige

praktijk gebruikt, waar nodig aangevuld met aannames. Twee onderwerpen zijn nader uitgediept:

1. Classificeren.

Een spreadsheet-model is gemaakt ter ondersteuning van de keuze tussen het afkeuren dan wel repareren van een defect reservedeel. Het gaat om een kostenafweging gebruik makend van de geschatte kans op een geslaagde reparatie. Het model is bruikbaar voor het classificeren in de praktijk.

2. Inleveren.

Snelle inlevering van defecte repareerbare reservedelen is voor de beheersing van de kringloop belangrijk. Indien omwille van de kosten wordt afgezien van een ruil-systeem, moeten gebruikers anderszins worden geprikkeld om snel in te leveren. Dit zou kunnen door gebruikers verantwoordelijk te stellen voor veroorzaakte kosten of met een 'statiegeld'-regeling. Deze ideeën moeten nog nader worden uitgewerkt.

Voorraadregels

Voorraadregels leggen vast bij welk voorraadniveau aanvulling nodig is en in welke hoeveelheden dit moet gebeuren. Ze zijn bepalend voor de servicegraad en leiden tot voorraad- en proceskosten. Volgens het principe van kostenafweging is een set regels ontwikkeld, waarmee de niveaus en hoeveelheden zijn vast te stellen voor reparaties, aanschaffingen en aanvulling van decentrale voorraden, alsmede de initiële kringloopvoorraad. Uit simulaties is gebleken dat deze 'kosten-optimale' voorraadregels tot een betere servicegraad en lagere kosten leiden dan de DR-regels. Aanbevolen wordt dan ook om in de nieuw op te zetten kringloop 'kosten-optimale' voorraadregels te hanteren in plaats van de huidige DR- of CVBKL-regels.

Kringloopbesturing

Onder deze noemer zijn een viertal onderwerpen nader onderzocht.

1. Repareren of verbruiken.

Initieel staat men voor de keuze om een reservedeel als verbruiksdeel te beschouwen dan wel als repareerbaar. Een (spreadsheet-)model is ontwikkeld dat inzicht verschaft in de (geschatte) kosten van beide alternatieven. Dit model kan dergelijke beslissingen in de toekomst ondersteunen.

2. Integrale of lokale besturing van voorraden.

Een lokale manager kan voorraadregels bepalen, waarmee hij voor zijn lokatie een afweging maakt tussen servicegraad en kosten. Het alternatief is om centraal de gewenste servicegraad te vertalen naar aanvul-niveaus en -hoeveelheden voor alle voorraden in de kringloop. Aangetoond kan worden dat integraal besturen van de kringloop tot lagere kosten leidt. Het verdient aanbeveling om een kringloopbeheerder aan te stellen die integraal verantwoordelijk is voor de besturing, in het bijzonder de bepaling van de niveaus en hoeveelheden voor reparatie, aanschaffing en aanvulling van decentrale voorraden.

3. Omgang met oorlogsvoorraden.

Momenteel wordt de eis dat steeds 30 dagen oorlogsvoorraad in de kringloop beschikbaar moet zijn vertaald naar het aantal dagen voorraad (verwacht verbruik) dat op specifieke lokaties aanwezig moet zijn. Een andere interpretatie kan zijn dat in de totale kringloop steeds 30 dagen oorlogsvoorraad aanwezig moet zijn, waarbij de kringloopbeheerder de verdeling over lokaties kan bepalen. In simulaties is getoond dat deze laatste interpretatie een (beperkte) kostenbesparing mogelijk maakt. Nader bezien moet worden of deze interpretatie acceptabel is uit operationeel oogpunt. Voorraadniveaus zouden eventueel hierop aangepast kunnen worden. Deze mogelijkheid geldt ook voor verbruiksartikelen.

4. Sturing van het reparatieproces op vraag of aanbod.

De start van een reparatieserie, kan afhangen van de hoeveelheid nog beschikbare gebruiksgereede reps of de hoeveelheid defecte reps. In het eerste geval is de *vraag* naar gebruiksgereede reps bepalend; in het tweede geval het *aanbod* van defecten. Als 'verstoringen' optreden (uitval, vertragingen bij processen) lopen beide manieren van besturing uiteen in servicegraad en kosten. Simulaties laten zien dat de servicegraad beter gehandhaafd blijft bij sturing op vraag. Wel zijn hier hogere kosten aan verbonden. Een nadere afweging moet plaatsvinden.

Door combinatie van analyses zijn verder nog vastgesteld:

- de gegevensbehoefte voor de besturing van de kringloop;
- een eenvoudige heuristiek, om op grond van kenmerken van een reservedeel een praktische bevoorradingsstrategie te bepalen.

De gegevensbehoefte en de voorgestelde prestatie-indicatoren kunnen als basis dienen bij het aanpassen of opzetten van informatiesystemen die de besturing van de kringloop moeten ondersteunen.

Het beschreven besturingsmodel, de prestatie-indicatoren en het simulatiemodel kunnen gebruikt worden bij verdere analyse van de besturing van de kringloop en het vormgeven van besturing in de praktijk. Aanbevolen wordt de modellen en overige resultaten van deze studie ter beschikking te stellen van degenen die de kringloop nader vorm moeten geven. Bij invoering van de ideeën uit dit onderzoek, dient men te beseffen dat op diverse gebieden vereenvoudigingen zijn aangebracht en aannames zijn gedaan. Het is aan te bevelen enkele van deze punten met aanvullend onderzoek te verifiëren voorafgaand aan implementatie.

Samenvatting

In opdracht van de Afdeling Logistiek Beleid van de Directie Materieel Koninklijke Landmacht (DMKL/ALB) is een studie uitgevoerd naar de besturing van een kringloop van repareerbare reservedelen. Van de kringloop is een algemeen besturingsmodel gemaakt met bijbehorende prestatie-indicatoren. Verder is een kader ontwikkeld om op economische gronden bestel-niveaus en -hoeveelheden te bepalen. Met behulp van een simulatie-model is een vergelijking gemaakt met de huidige voorraadregels ('Directe Ruil'). Ook zijn de effecten van besturing van het reparatieproces op vraag of aanbod en de omgang met oorlogsvoorraden in simulaties onderzocht. Daarnaast zijn nog enkele andere onderwerpen uit de besturing geanalyseerd, deels met gebruik van spreadsheet-modellen.

Inhoud

1	Inleiding	7
2	Huidige situatie	9
2.1	Inrichting van de kringloop	9
2.2	Kenmerken van de huidige situatie	11
3	Nieuwe kringloop en besturingsmodel	15
3.1	Betrokken organisaties en processen in de nieuwe kringloop.....	15
3.2	Besturingsmodel en prestatie-indicatoren	17
4	Alternatieven in de besturing	23
4.1	Processen	23
4.2	Voorraadregels	26
4.3	Kringloopbesturing	33
4.4	Afsluitende opmerkingen	40
5	Conclusies en aanbevelingen	45
5.1	Conclusies	45
5.2	Aanbevelingen	46
6	Literatuur	49
7	Ondertekening	51
	Bijlagen	
A	Voorraadregels huidige situatie	
B	Mathematisch model voor de voorraadregels voor het kringloopproces	
C	Beschrijving van het simulatiemodel, gegevens en resultaten	
D	Voorbeeld van keuze verbruiken of repareren	
E	Voorbeeld van keuze afkeuren of repareren	

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft een studie in opdracht van de Afdeling Logistiek Beleid van de Directie Materieel Koninklijke Landmacht (DMKL/ALB) naar de wijze waarop een kringloop voor het bevoorraden en repareren van repareerbare reservedelen (reps) binnen de Koninklijke Landmacht (KL) moet worden bestuurd. De aanleiding tot deze studie is enerzijds dat er op dit moment twee afzonderlijke kringlopen naast elkaar bestaan, waarbij de nodige knelpunten worden ervaren. Anderzijds is door de veranderingen binnen Defensie de wens ontstaan om de efficiëntie van de kringloop en de verdeling van verantwoordelijkheden kritisch te bezien. In een voorstudie [4] komt deze aanleiding ruimer aan bod.

Doel van de studie is het zichtbaar maken van de mogelijkheden om met de besturing de prestaties van de kringloop te beïnvloeden. Een kringloop van repareerbare reservedelen neemt een bijzondere plaats in het totale logistieke proces in. Afwijkend van normale bevoorrading is het bestaan van een retourstroom van defecte reservedelen, die na reparatie opnieuw voor gebruikers ter beschikking komen. Het gaat vooral om dure artikelen, die essentieel zijn voor de inzet van materieel. Hierdoor ontstaat een spanningsveld tussen hoge beschikbaarheid voor gebruikers en beperking van voorraden. Gebruik zal worden gemaakt van een simulatiemodel en spreadsheet-modellen om analyses aanschouwelijk te maken.

Het gaat om een verkennende studie waarbij een algemeen model voor de besturing van de kringloop wordt voorgesteld en vervolgens een aantal relevante onderwerpen wordt geanalyseerd, zonder naar volledigheid te streven. Onderwerpen die aan de orde zullen komen zijn:

- classificeren van defecte reservedelen;
- inleveren van defecte reservedelen;
- kosten-optimale voorraadregels (vergelijking met Directe Ruil regels);
- initiële keuze tussen verbruiken of repareren van een reservedeel;
- integrale of lokale vaststelling van voorraadregels;
- omgang met oorlogsvoorraad;
- sturing van het reparatieproces op vraag of aanbod.

Uitgegaan is van een zogenaamde "steady-state" situatie: de vraag naar repareerbare reservedelen wordt als constant in de tijd gezien en er is geen sprake van op- of afbouw van voorraden.

Hoofdstuk 2 beschrijft de huidige twee kringlopen van . In hoofdstuk 3 komen de betrokken eenheden en processen uit de nieuwe kringloop aan de orde en het bijbehorende besturingsmodel. In hoofdstuk 4 worden bovengenoemde onderwerpen uit de besturing geanalyseerd. Afgesloten wordt met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 5. In bijlagen worden momenteel gehanteerde voorraadregels en de theoretische afleiding van kosten-optimale voorraadregels behandeld. Verder

zijn een uitgebreide beschrijving van het simulatiemodel en uitgewerkte voorbeelden bij besturingsonderwerpen in bijlagen opgenomen.

2 Huidige situatie

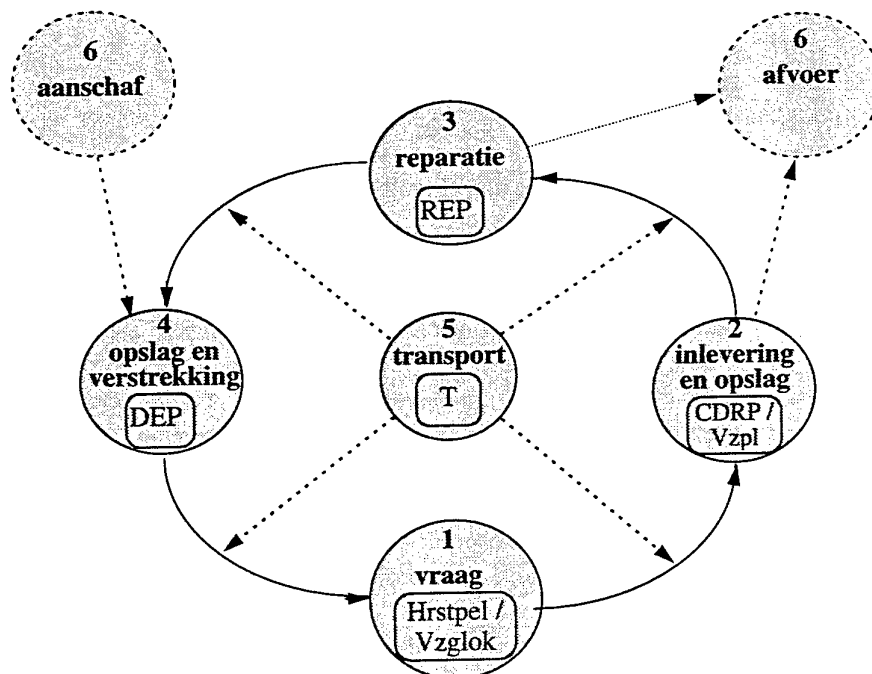
In dit hoofdstuk wordt kort de huidige situatie van de kringloop beschreven. Een globale proces- en organisatiebeschrijving wordt gegeven, alsmede de belangrijkste kenmerken van de huidige kringloop. Dit hoofdstuk is een samenvatting van het onderzoek, dat in een eerdere studie is uitgevoerd. Voor details wordt dan ook verwezen naar het eindrapport van die studie [4]. Bijlage A bevat voorts een nauwkeurige beschrijving van de huidige voorraadregels.

2.1 Inrichting van de kringloop

De KL werkt met twee verschillende systemen voor het bevoorraden van repareerbare reservedelen:

1. Centrale Voorraadbeheersing KL (CVBKL);
2. Directe Ruil (DR).

Beide systemen hebben elk hun eigen, afzonderlijke kringloop. Op globaal niveau kunnen we echter dezelfde deelprocessen onderscheiden. Zie ter illustratie het schema in figuur 2.1. De deelprocessen en de eenheden die daarbij zijn betrokken, worden in onderstaande nader toegelicht. De situatie is momenteel aan het veranderen; deze weergave was valide op het moment dat [4] is uitgebracht.



Figuur 2.1: Huidige kringloop van repareerbare reservedelen

1. De vraag naar repareerbare reservedelen (reps)

Ontstaan van vraag naar reps geschiedt op het niveau van de herstellpelotons / verzorgingslokaties (Hrspel / Vzglob), die herstel uitvoeren voor gebruikers van uitrustingsstukken (materieel).

2. Inlevering en opslag van defecte repareerbare reservedelen

Defecte reps worden ingeleverd bij de verzamelplaats of bij het Centrale Directe Ruil Punt (Vzpl / CDRP), afhankelijk van of het 'normale' reps dan wel DR-artikelen betreft. Tevens vindt hier classificatie plaats.

3. Reparatie van repareerbare reservedelen

Reparatie van defecte reps doen de (aangewezen) reparatiebedrijven (REP).

4. Opslag en verstrekking van gerepareerde repareerbare reservedelen

Opslag van gerepareerde reps (en ook van nieuwe aangeschafte reps) vindt plaats in het depot, DEP. Het depot van de DR-artikelen is weer het CDRP. Na ontstane vraag volgt verstrekking.

5. Transport

De artikelen worden over de verschillende trajecten door de Transporteenheden (T) van de Lijndienst vervoerd (in vredestijd).

6. Aanschaf en afvoer

Nieuw aangeschafte reps worden ontvangen bij DEP. Af te voeren reservedelen worden vanuit de verzamelplaats afgevoerd. Afvoer kan tevens bij het reparatieproces plaatsvinden; aanschaf ontstaat enerzijds door afgekeurde, onherstelbare reps, en anderzijds door een hogere vraag naar reps.

De besturing van de kringlopen ligt bij DMKL. Ook de aanschaf van nieuwe reps, ter vervanging van onherstelbaar geraakte, is de verantwoordelijkheid van DMKL. De overige betrokken eenheden maken deel uit van 1(GE/NL)LK en NATCO.

Het CVBKL bevoorraadt vooral verbruiksartikelen (non-reps). Volgens deze systematiek worden ook verscheidene reps bevoorraadt. Voor een aantal specifieke reps is het Directe Ruil systeem opgezet met het doel de inzetbaarheid zeker te stellen van de uitrustingsstukken waar die reps een essentieel onderdeel van uitmaken en de reparatiedoorlooptijd te minimaliseren. Daarnaast worden ook op basis van kostprijs en/of verkrijgbaarheid schaarse reservedelen via het DR-systeem bevoorraadt.

Een beschrijving van uitvoerende en bestuurlijke processen uit de kringlopen en betrokken onderdelen is te vinden in de voorstudie van dit onderzoek [4]. In dit rapport zijn beschrijvingen opgenomen van de CVBKL- en DR-systematiek in bijlage A, waarin speciaal wordt ingegaan op de gehanteerde voorraadregels.

2.2 Kenmerken van de huidige situatie

In deze paragraaf worden de voornaamste kenmerken, inclusief knelpunten, van de huidige systemen voor bevoorrading van repareerbare reservedelen belicht. Dit overzicht is nodig om aan te kunnen geven waar het besturingsmodel uit het volgende hoofdstuk afwijkt van de huidige situatie. Twee kanttekeningen moeten vooraf gemaakt worden:

1. Voor een deel worden knelpunten veroorzaakt doordat de KL zich in een veranderingsproces bevindt. Aangezien dit rapport zich richt op de besturing van een z.g. "steady state" situatie waarin geen grote reorganisaties en herinrichtingen plaatsvinden, wordt op deze specifieke knelpunten hier niet verder ingegaan.
2. Momenteel lopen verscheidene projecten die tot consequenties voor de kringlopen van reps kunnen leiden. Zo wordt gewerkt aan een systeem dat behoeftestelling en verwerving van reservedelen gaat ondersteunen, het OBVT (Ondersteuning Behoeftbepalings- en Vervullingstraject). Verder speelt de discussie over een organisatorische scheiding van voorzien in en instandhouding tussen respectievelijk DMKL en NATCO. Ook zijn de procedures voor de planning en realisatie van onderhoudswerklast recentelijk aangepast. Het is derhalve moeilijk om van 'de huidige situatie' te spreken.

Kenmerken en knelpunten

- I) Twee aparte kringlopen
Repareerbare reservedelen worden deels bevoorrad via de kanalen waarlangs ook verbruiksartikelen worden geleverd ('CVBKL') en deels via een specifiek systeem ('Directe Ruil'). Dit leidt tot meerdere depotlocaties, aparte transportvoorzieningen en deels gescheiden informatie- en beheersingssystemen.
- II) Beheersing van de kringlopen
Het CVBKL-systeem is specifiek opgezet voor verbruiksartikelen. De retourstroom van defecte reps tussen Hrstopel / Vzlok's en de Vzpl wordt maar ten dele ondersteund en is daardoor niet beheerst. Op het moment dat een reservedeel defect geraakt, verdwijnt het uit het systeem, totdat het eventueel als te repareren wordt opgeboekt. Of en wanneer het vervolgens wordt gerepareerd ligt niet vast.

Het DR-systeem is wel specifiek voor reps. Er is door het ruilsysteem sprake van een beheersbare kringloop, met druk op snelle inlevering van defecte repareerbare reservedelen.
- III) Voorraadregels
Voorraadregels (de regels voor bepaling van moment van aanvullen, repareren en aanschaffen van repareerbare reservedelen en de hoeveelheid waarin dat gebeurt) bij zowel CVBKL als DR richten zich vooral op

de beschikbaarheid van reps. Minimaliseren van kosten speelt nauwelijks een rol.

Voorraadniveaus bestaan uit een altijd aanwezige voorraad (de 'oorlogsvoorraad') en een hoeveelheid ter overbrugging van de vraag in de tijd dat op gebruiksgereede reps wordt gewacht (afkomstig uit reparatie of nieuwe aanschaf). Geen van beide systemen berekent veiligheidsvoorraden op basis van de spreiding in gebruik van reps en de doorlooptijd voor overbrugging. CVBKL kent een veiligheidsvoorraad, maar die wordt op andere wijze berekend. DR rekent met maximale doorlooptijden bij de overbrugging en houdt geen rekening met fluctuaties in de vraag.

- IV) Sturing reparatieproces en aanschaf nieuwe repareerbare reservedelen
Het CVBKL maakt geen onderscheid tussen het voorzien in de behoefte aan reps door reparatie of door nieuw aanschaffen. De keuze is aan de betreffende produktafdeling DMKL. De behoefte hangt af van de totale voorraad die zich in de kringloop bevindt (de ketenvoorraad of landsvoorraad). Zo er gerepareerd wordt, dan is dat altijd nadat de produktafdeling een opdracht heeft verstrekt. Het reparatieproces wordt dus gestuurd op basis van vraag naar gebruiksgereede reps.

Bij DR wordt het aantal defecte reps bepaald dat zich maximaal in de reparatiekringloop mag bevinden. Als dit aantal bereikt wordt, moet het reparatiebedrijf gaan repareren. Hier is dus het aanbod van defecte reps de prikkel. Eén maal per jaar wordt bekeken of aanschaffing van nieuwe reps nodig is, waarbij eveneens wordt gekeken naar de totale kringloopvoorraad.

- V) Verdeling van verantwoordelijkheden
Tussen DMKL, degene die de kringlopen stuurt, en de uitvoerenden is een grote afstand. Deze laatsten zijn voor het verloop van hun processen sterk afhankelijk van de beslissingen van DMKL. Voor de reparatiebedrijven is de reparatie van reps niet de hoofdtaak. Reparatie in de CVBKL-kringloop ('Structureel Herstel') vereist nogal wat extra handelingen door de reparatiebedrijven. In de praktijk wordt veelal pas gerepareerd wanneer een expliciete opdracht (een zogenaamde incidentele werkorder, IWO) door DMKL is verstrekt. De reparatiebedrijven voelen zich verantwoordelijk voor hun opdrachten, niet voor de kringloop. Nogal wat instanties zijn bij de kringlopen betrokken. Het lijkt erop dat door de huidige taakverdeling niemand werkelijk greep op de kringlopen heeft.

- VI) Classificatie
Op drie plaatsen in de kringloop kan classificatie van defecte reps plaatsvinden (het beoordelen of al of niet wordt gerepareerd). De technische staat en de verwachte reparatiekosten worden hierbij bekeken. De Verzamelplaats kijkt of een bepaald artikel door DMKL als repareerbaar is aan-

gemerkt en of de actuele nieuwprijs nog wel boven de f 400,- ligt¹. Goed inzicht in de kosten van het reparatiecircuit ontbreekt. Classificatie vindt plaats op basis van ervaring en vereist soms omslachtig zoeken in de prijslijst KL. Andersoortige classificatie op technische gronden vindt plaats bij de reparatiebedrijven voorafgaand aan reparatie. Tenslotte zal ook bij Hrstopel / Vzglok vaak al een beeld ontstaan van de toestand van het defecte reservedeel.

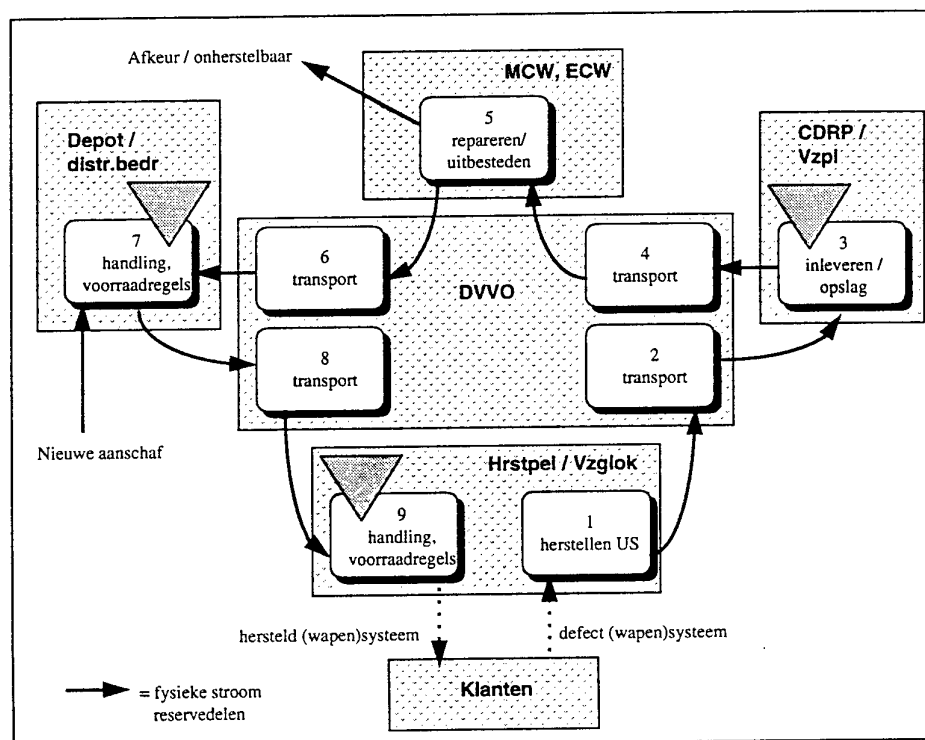
¹ Het voornemen bestaat dit bedrag op te trekken tot f 1000,-.

3 Nieuwe kringloop en besturingsmodel

In het vorige hoofdstuk is de 'ist-situatie' voor de kringlopen van repareerbare reservedelen beschreven. Dit onderzoek beoogt bij te dragen aan een 'soll-situatie', waarin sprake is van een betere beheersing en een betere prestatie in termen van beschikbaarheid van repareerbare reservedelen afgewogen tegen kosten. Dit hoofdstuk beschrijft eerst processen en betrokken eenheden van een vernieuwde kringloop. Vervolgens komt een besturingsmodel voor de kringloop aan de orde. Daarbij worden in de besturing te hanteren prestatie-indicatoren gegeven. Tevens worden de onderwerpen aangekondigd die in hoofdstuk 4 nader worden geanalyseerd.

3.1 Betrokken organisaties en processen in de nieuwe kringloop

In deze studie is uitgegaan van het ‘redesigned’ bevoorradingsproces, zoals voorgesteld in de Projectgroep Onderhoud en Logistiek. Nadere uitwerking daarvan heeft plaatsvonden in de werkgroep HARENO. Dit heeft geleid tot de kringloop uit figuur 3.1, waarin zowel betrokken organisaties als processen staan aangegeven. De kringloop heeft alleen betrekking op vredestdij.



Figuur 3.1: Nieuwe kringloop van repareerbare reservedelen (reps)

Bij deze nieuwe kringloop zijn de volgende instanties betrokken (vgl. Hoofdstuk 2):

- **Herstelpeloton (Hrstopel) / Verzorgingslokatie (Vzglok)**

Bij Herstelpelotons (Legerkorps) en Verzorgingslokaties (Nationale Sector) vinden twee processen plaats:

- 1) Ten behoeve van klanten wordt het *herstel van uitrustingsstukken* gedaan. Het gaat om zowel gepland, preventief onderhoud als het oplossen van storingen. Tijdens preventief onderhoud worden, afhankelijk van de toestand, repareerbare reservedelen vervangen, zodat geen sprake is van een volledig planbare vraag. Ook voor ongepland correctief onderhoud kunnen repareerbare reservedelen nodig zijn. Uit deze beide soorten onderhoud komen defecte reps voort en ontstaat tevens de vraag naar gebruiksgereede reps.
- 9) Handling van lokale voorraden gebruiksgereede reps gebeurt aan de hand van voorraadregels (Voorraadregels zijn alleen van toepassing op gebruiksgereede reps. Defecte reps kunnen direct worden ingeleverd. Geen enkele instantie heeft er belang bij ze in zijn bezit te hebben.) In figuur 3.1 worden Hrstopel/Vzglok's vanuit het Depot beleverd. In de praktijk gaat dit mogelijk via een tussenmagazijn.

- **Defensie Verkeers- en Vervoersorganisatie (DVVO)**

Het transport tussen alle fysiek gescheiden lokaties wordt verzorgd door de DVVO.

- 2),4),6),8) Transport is in principe een beweging van centraal naar decentraal voor gebruiksgereede en omgekeerd voor defecte repareerbare reservedelen. Men kan ervoor kiezen om voor gebruiksgereede reps ook transport in te bouwen tussen decentrale lokaties ('herspreiden') of van decentraal naar centraal ('terug-spreiden'). Het transport kan geschieden via een dienstregeling, met op vaste tijden transport tussen lokaties, of met speciale transportcapaciteit. In beide gevallen kan daarnaast aparte transportcapaciteit voor spoedeisende bestellingen aanwezig zijn.

- **Centrale Directe Ruil Punt / Verzamelplaats (CDRP / Vzpl)**

Hier vindt het volgende proces plaats:

- 3) Inleveren van defect geraakte reps, waarna deze worden opgeslagen tot de kringloopbeheerder (zie Depot / Distr.bedr) aangeeft wat ermee dient te gebeuren. In de meeste gevallen zal dat betekenen dat defecte reps voor reparatie naar het reparatiebedrijf gaan. Het is ook denkbaar dat besloten wordt ze af te voeren.

(Vermoedelijk organisatorisch gekoppeld aan Depot / distributie bedrijf en geografisch nabij MCW/ECW.)

- **Mechanisch Centrale Werkplaats (MCW) / Elektronische Centrale Werkplaats (ECW)**
Reparaties van reservedelen vinden plaats bij MCW/ECW, of deze organisaties verzorgen uitbesteding naar derden.
 - 5) Het reparatieproces leidt ertoe dat defecte reservedelen worden gerepareerd of afgekeurd. Het moment van afkeur kan in de praktijk zowel voorafgaand aan als tijdens de feitelijke reparatie liggen. Reparatie wordt gerekend tot het zogenaamde '4e niveau onderhoud'. Dit onderhoud kan, vanwege de specialistische kennis, beschikbare tijd of benodigde produktiemiddelen, niet door gebruiker of zijn Hrstopel/Vzglok worden gedaan. Indien het reparatieproces wordt uitbesteed, zullen kosten en doorlooptijd anders zijn, maar verandert er niets wezenlijks in de kringloop.
- **Depot / Distributiebedrijf (Depot / Distr.bedr)**
Het depot verzorgt de opslag en uitgifte van gebruiksgereede repareerbare reservedelen en schaft deze aan ter compensatie van onherstelbaar geraakte reps. Tevens is hier de rol van kringloopbeheerder ondergebracht.
 - 7) Gerepareerde of nieuw aangeschafte reps worden bij het depot op voorraad gehouden en van daaruit, indien de voorraadsituatie bij Hrstopel/Vzglok's erom vraagt, uitgeleverd. De voorraadsituatie in de gehele kringloop, die de kringloopbeheerder op het depot kan overzien, bepaalt tevens eventuele bestellingen bij het reparatiebedrijf of externe leveranciers. Het is mogelijk dat, afwijkend van de figuur, via tussenmagazijnen wordt geleverd.
(Vermeedelijk dezelfde organisatie als Vzpl / CDRP)

Figuur 3.1 geeft specifiek de uitvoerende werkzaamheden weer. Beleidsmatige taken die Staf NATCO en/of DMKL voor hun rekening nemen zijn niet zichtbaar.

Als apart proces zou men nog kunnen zien het beslissen of een defect reservedeel afgekeurd moet worden, het zogenaamde *classificeren*. Een beslissing zal afhangen van de kans op een geslaagde reparatie. Het ligt voor de hand om classificatie bij het reparatiebedrijf te doen, maar het is ook denkbaar bij het Hrstopel/Vzglok al een eerste beoordeling te doen. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.

3.2 Besturingsmodel en prestatie-indicatoren

In deze paragraaf zal een model worden beschreven waarin de besturing van de nieuwe kringloop wordt weergegeven. Tevens zullen de prestatie-indicatoren die bij de besturing te gebruiken zijn worden aangegeven.

3.2.1 Besturingsmodel

De besturing van de kringloop als geheel bevindt zich in het spanningsveld tussen de servicegraad aan gebruikers tegenover de kosten die daarmee gemoeid zijn. Deze twee factoren bepalen de prestatie van de kringloop. De servicegraad valt uiteen in:

- het percentage van de behoefte waarbij gebruikers uit eigen voorraad kunnen putten (servicepercentage);
- de (gemiddelde) tijd dat gewacht moet worden indien geen voorraad aanwezig is (wachtijd).

De kosten liggen deels vast in capaciteit van mensen, produktiemiddelen en gebouwen. Daarnaast variëren zij met de uitvoering van processen. De totale kosten omvatten:

- integrale kosten van alle processen (met eventueel een opslag voor geïnvesteerd vermogen);
- voorraadkosten;
- kostprijs van nieuwe repareerbare reservedelen (ter compensatie van onherstelbaar geraakte reps);
- materiaalkosten, tijdens reparatie.

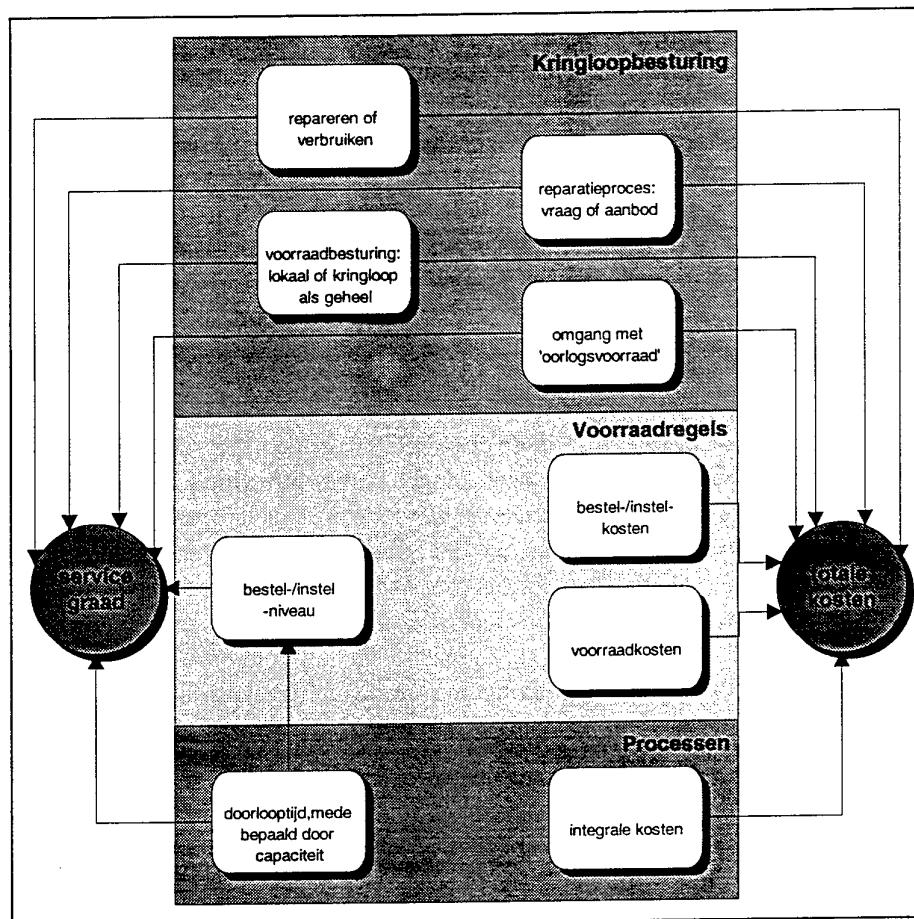
Er zijn diverse mogelijkheden om invloed uit te oefenen op servicegraad, de totale kosten of beide. Onderstaand worden drie categorieën onderkend, waarbinnen deze mogelijkheden zijn onder te verdelen (ter illustratie figuur 3.2). Tevens wordt aangegeven welke onderwerpen in het vervolg van dit onderzoek worden uitgediept.

- **Processen**

De afzonderlijke processen, bepaald door doorlooptijden, capaciteit en integrale kosten zijn te beïnvloeden, met gevolgen voor de prestatie van de kringloop. De processen, zoals beschreven aan de hand van figuur 3.1, zijn uitgangspunt voor dit onderzoek. Hoofdstuk 4 gaat nader in op twee processen. Ten eerste wordt een beslissingsmodel besproken voor het classificeren. Hierin wordt op basis van de kans op succesvolle reparatie bepaald of, gezien de verwachte kosten, moet worden besloten tot reparatie of afkeur van een bepaald rep. Ten tweede komt het effect van de snelheid waarmee gebruikers defecte reps inleveren bij het CDRP / Vzpl aan de orde. In overige analyses zijn doorlooptijden en kosten zoveel mogelijk conform de huidige praktijk gebruikt, waar nodig aangevuld met aannames.

- **Te hanteren voorraadregels**

Voorraadregels leggen vast bij welk voorraadniveau op een bepaalde lokatie aanvulling nodig is en in welke hoeveelheden dit moet gebeuren. Niveaus en hoeveelheden bepalen in belangrijke mate de servicegraad van de kringloop en leiden tot voorraad- en proceskosten. In de beschrijving van de huidige situatie in hoofdstuk 2 en bijlage A zijn kanttekeningen geplaatst bij zowel de CVBKL-



Figuur 3.2: Beïnvloedingsfactoren voor de kringloop van repareerbare reservedelen

als DR-voorraadregels, in het bijzonder dat het aspect kosten nauwelijks een rol speelt. In hoofdstuk 4 wordt een nieuwe set voorraadregels afgeleid, gebaseerd op het leveren van een geëiste servicegraad tegen minimale kosten ('kosten-optimale voorraadregels'). De achterliggende theorie en formules worden beschreven in bijlage B. Het effect van deze regels op de prestatie van de kringloop wordt getoond, waarbij een vergelijking wordt gemaakt met de DR-regels.

• Kringloopbesturing

Naast processen en voorraadregels is er een aantal andere factoren waarmee de prestatie van de kringloop kan worden beïnvloed. De volgende onderwerpen zullen in hoofdstuk 4 worden behandeld:

- 1) *De keuze of een reservedeel een rep of non-rep artikel moet worden.*
Aanvankelijk staat men voor de keuze om een nieuw reservedeel te gaan repareren dan wel verbruiken. De verwachte kosten van beide alternatieven zullen een belangrijke rol spelen bij deze keuze. Een model waarmee een kostenvergelijking kan worden gemaakt zal nader worden uitgewerkt.

2) *Integrale of lokale besturing van voorraden.*

Voorraadregels leggen niveaus en hoeveelheden voor aanvulling van voorraden vast. Het is mogelijk om per lokatie niveaus en hoeveelheden vast te stellen waarbij een lokale manager een afweging maakt tussen servicegraad en kosten op zijn lokatie. Het alternatief is om een kringloopbeheerder de gewenste servicegraad te laten vertalen naar aanvul-niveaus en -hoeveelheden voor alle voorraden in de kringloop. Nader zal worden ingegaan op de verschillen tussen deze besturingswijzen en het effect op de prestatie van de kringloop.

3) *Omgang met oorlogsvoorraden.*

Oorlogsvoorraad is een soort 'reservevoorraad' die continu beschikbaar moet zijn. Momenteel wordt de eis van '30 dagen oorlogsvoorraad in de kringloop' vertaald naar het aantal dagen verwacht verbruik dat op een lokatie aanwezig moet zijn. Daarmee wordt de oorlogsvoorraad volgens vaste regels verdeeld. Een andere interpretatie van de eis kan zijn dat in de totale kringloop 30 dagen oorlogsvoorraad aanwezig moet zijn, waarbij de kringloopbeheerder kan bepalen hoe de verdeling over verschillende lokaties is. In hoofdstuk 4 zal op het verschil van deze interpretaties voor servicegraad en kosten van de kringloop worden teruggekomen.

4) *Sturing van het reparatieproces op vraag of aanbod.*

Het criterium waarbij een reparatieserie moet starten, kan men uitdrukken in termen van de nog beschikbare gebruiksgereede reps of defecte, te repareren reps. In het eerste geval leidt de actuele voorraad gebruiksgereed tot een *vraag* om aanvulling. In het tweede geval is er een bepaald *aanbod* van defecten. In een volledig gesloten kringloop zonder uitval en met constante doorlooptijden van processen is er geen verschil. Als 'verstoringen' wel aanwezig zijn kunnen beide manieren van besturing uiteen gaan lopen in servicegraad en kosten van de kringloop. In hoofdstuk 4 wordt dit uitgewerkt en worden beide alternatieven vergeleken.

De analyse van een aantal van de bovengenoemde onderwerpen gebeurt met behulp van een simulatiemodel van de kringloop in het pakket Taylor. In dit model zijn de processen van de kringloop opgenomen en kunnen variabelen in de besturing, waaronder de voorraadregels, worden ingesteld. De effecten op servicegraad en kosten worden zichtbaar gemaakt. Voor de verschillende analyses zijn in totaal zijn twaalf simulatie-experimenten uitgevoerd, die in hoofdstuk 4 worden toegelicht. De beschrijving van het simulatiemodel staat in bijlage C.

3.2.2 Prestatie-indicatoren

In de voorgaande sub-paragraaf zijn alternatieven in de besturing aangegeven, die invloed hebben op de prestatie van de kringloop. Met behulp van prestatie-indicatoren kan de prestatie meetbaar worden gemaakt. Tabel 3.1 geeft een overzicht. De tabel geeft een geheel van prestatie-indicatoren, waarmee in de praktijk de volledige kringloop gestuurd kan worden.

Primaire prestatie-indicatoren geven de prestatie van de gehele kringloop aan. Een directe verklaring voor de gevonden waarden blijkt uit de secundaire indicatoren, die op hun beurt soms weer worden bepaald door tertiaire indicatoren.

Tabel 3.1: Prestatie-indicatoren

Prestatie-indicatoren		
Niveau	Servicegraad	Kosten
Primair	• Servicepercentage • Wachtijd	• Totale kosten
Secundair	• Voorraden (verloop) - gebruiksgereed kringloop - gebruiksgereed. centraal - gebruiksgereed decentraal - defect - onherstelbaar • Servicegraad centraal • Doorlooptijd processen	• Integrale kosten processen • (Geïnvesteed vermogen) • Voorraadkosten • Materiaalkosten • Kosten nieuwe reps
Tertiair	• Seriegroottes • Capaciteit voor processen • Wachtijd op materialen	• Diverse kostensoorten • Uitbestedingskosten • Nieuwprijs reps • Nieuwprijs materialen

Wanneer oorlogsvoorraad aanwezig is, krijgt het begrip servicegraad een speciale betekenis. Onder normale omstandigheden kan 'service worden verleend' zolang op een bepaald punt voorraad aanwezig is. Vanwege de oorlogsvoorraad zal soms voorraad aanwezig zijn, die eigenlijk niet gebruikt mag worden. Het aantasten van oorlogsvoorraad komt dan overeen met het buiten voorraad zijn zonder oorlogsvoorraad. Voor het servicepercentage moet in deze situatie onderscheid gemaakt worden tussen het percentage van de behoefte waarin voorzien wordt uit 'normale' voorraad en uit oorlogsvoorraad. Bij wachtijd speelt zowel de tijd totdat voorraad in het algemeen is aangevuld, als de tijd totdat de oorlogsvoorraad weer op peil is.

4 Alternatieven in de besturing

In dit hoofdstuk zal een aantal onderwerpen die bij de besturing van een kringloop van repareerbare reservedelen een rol spelen worden geanalyseerd. Daarbij zal, net als in hoofdstuk 3, een onderverdeling worden gemaakt naar processen, voorraadregels en kringloopbesturing. Deze drie categorieën komen achtereenvolgens in drie afzonderlijke paragrafen aan de orde. Afgesloten wordt in paragraaf 4.4 met twee onderwerpen bij de besturing die volgen uit de combinatie van eerdere analyses.

4.1 Processen

In deze paragraaf worden classificeren en inleveren besproken.

4.1.1 Classificeren: afkeuren of repareren van een defect reservedeel

In een reparatie-kringloop is voor iedere defecte rep een afweging aan de orde tussen afkeuren of (proberen te) repareren. Het is mogelijk om verschillende beslismomenten in te bouwen, waarbij het meest voor de hand liggen het ontstaan van defecten bij het Hrstopel/Vzglok en een in-inspectie bij het reparatiebedrijf, voorafgaand aan de reparatie. Als men besluit het reservedeel door te laten voor reparatie, kan nog steeds tijdens de reparatie afkeur plaatsvinden.

De beslissing al of niet af te keuren wordt genomen op grond van een vergelijking van de verwachte kosten die volgen op afkeuren dan wel verder laten gaan voor reparatie. Het bestaan van een kringloop impliceert dat succesvol repareren goedkoper is dan een nieuw reservedeel aanschaffen. Echter, het aanbieden voor reparatie van een reservedeel dat later alsnog wordt afgekeurd leidt tot hogere kosten dan onmiddellijk afkeuren. De juiste beslissing hangt af van wat er met een reservedeel kan gebeuren (scenario's), de kosten van een scenario en de kans waarmee scenario's zich zullen voordoen. Hiermee wordt bedoeld de kans dat een rep met succes gerepareerd kan worden. De beslisser dient deze kans op technische gronden te schatten. Onderstaand wordt dit uitgewerkt voor de in-inspectie in het reparatiebedrijf.

Voor een defect reservedeel bij het reparatiebedrijf kunnen de volgende scenario's zich voordoen:

Tabel 4.1

scenario	bijbehorende kosten
1. onmiddellijk afkeuren	1. nieuwprijs, aandeel in aanschafkosten
2. aanbieden voor reparatie, waarna afkeur tijdens reparatie volgt	2. aandeel in voorbereiding van batch voor reparatie, deel reparatieproces, nieuwprijs, aandeel in aanschafkosten
3. aanbieden voor reparatie, wat tot een gebruiksgereed reservedeel leidt	3. aandeel in voorbereiding van batch voor reparatie, reparatieproces

Aan elk van de scenario's zijn verschillende kosten verbonden. Afkeur leidt tot vervanging, waarmee de nieuwprijs plus een deel van de aanschafkosten gemoeid zijn. Indien besloten wordt tot reparatie over te gaan, vindt handling van de reps, werkvoorbereiding en reparatie plaats. De beslisser dient zijn keuze te maken door te schatten hoe groot hij de kans op een geslaagde reparatie acht. Wanneer dit gegeven plus de kosten verbonden aan de scenario's bekend zijn kan de juiste beslissing worden bepaald. In bijlage D is dit in een uitgewerkt voorbeeld toegelicht.

Omdat de reparatiebedrijven toch al een in-inspectie doen ten behoeve van hun planning en het bestellen van materialen, zal een classificatie op technische gronden nauwelijks tot extra werk leiden.

4.1.2 Inleveren

Het is gemakkelijk te beredeneren dat het voor de prestatie van de kringloop van belang is dat defecte reservedelen zo snel mogelijk worden ingeleverd. De tijd die volgens planning met inleveren is gemoeid moet gecompenseerd worden met een overbruggingsvoorraad, waaraan uiteraard kosten zijn verbonden. Ongeplande vertragingen duiden op een niet beheerste kringloop en leiden tot problemen met de servicegraad of tot kleinere reparatieseries dan gepland.

De DR-systematiek bewerkstelligt snelle inlevering. Men krijgt pas nieuwe gebruiksgereede repareerbare reservedelen als men defecte inlevert. Daarmee krijgt de gebruiker er belang bij om in te leveren. Wel vinden alle leveringen van gebruiksgereede reps hierdoor afzonderlijk plaats. Het is denkbaar dat het uit kostenoverwegingen gunstig is om in grotere series te leveren, omdat dan minder afzonderlijke leveringen nodig zijn (zie hiervoor paragraaf 4.2 over voorraadregels). Negatief gesteld krijgen gebruikers van reps in zo'n situatie er pas een belang bij om defecten in te leveren wanneer zij behoefte aan nieuwe gebruiksgereede reps hebben. Hoe groter de serie waarin gebruikers worden bevoorrad, hoe langer zij kunnen wachten met inleveren zonder met hun operationele proces in de problemen te komen. In dat geval moet getracht worden andere prikkels in te bouwen om snelle inlevering te bewerkstelligen.

Twee mogelijke oplossingsrichtingen dienen zich aan. De eerste is om de gebruikers verantwoordelijk te stellen voor de kosten die zij veroorzaken. Te berekenen is welke voorraad gemiddeld bij een gebruiker aanwezig is, wanneer snel wordt ingeleverd. Via de hiërarchische lijn kan erop worden toegezien dat de werkelijke

voorraad-kosten van gebruikers hier niet (teveel) bovenuit komen. Een andere oplossingsrichting die nader uitgewerkt zou kunnen worden is een regeling waarbij een vorm van statiegeld in rekening wordt gebracht voor het in bezit hebben van reps.

In de beoogde nieuwe kringloop, zoals beschreven in hoofdstuk 3, is voorzien dat repareerbare reservedelen worden ingeleverd bij de verzamelplaats, waarna naderhand transport naar het reparatiebedrijf plaatsvindt. Het is belangrijk, gezien de bovenstaande redenering, om te voorkomen dat deze tussenstap tot verlenging leidt van de doorlooptijd van gebruikslokatie naar reparatiebedrijf. Een overweging daarbij is nog dat de reparatiebedrijven veelal pas nadat zij de repareerbare reservedelen geïnspecteerd hebben kunnen beoordelen welke materialen voor reparatie nodig zijn.

4.2 Voorraadregels

In deze paragraaf wordt eerst een theoretisch kader gegeven voor de bepaling van voorraadstrategieën volgens het principe van kostenafweging. De achterliggende theorie voor de bepaling van niveaus en hoeveelheden en de te gebruiken formules staan in bijlage B. Het theoretisch model dat hier beschreven wordt, zou verder onderzocht en uitgewerkt dienen te worden wanneer het principe aanspreekt en uitvoerbaar lijkt. Afgesloten wordt met een vergelijking tussen de nieuw bepaalde voorraadregels en de huidige DR-regels.

4.2.1 Probleemschets

De problematiek waar met voorraadregels een antwoord op moeten geven is de volgende:

- I) De aanschaf van nieuwe repareerbare reservedelen ter compensatie van uitval van onherstelbare reservedelen. Twee vragen dienen te worden beantwoord:
 - Hoeveel reps dienen per keer te worden aangeschaft?
 - Wanneer dient een aanschaffing bij de leverancier of fabrikant plaats te vinden?
- II) De reparatie van ingeleverde repareerbare reservedelen. Dezelfde vragen als bij I dienen hier te worden beantwoord:
 - Hoeveel reps dienen tegelijk te worden gerepareerd?
 - Wanneer dient te worden gerepareerd?
- III) De spreidingsaanvragen van de lokale voorraadopunten om aanvulling van repareerbare reservedelen bij het depot. Ook hier dienen de volgende vragen beantwoord te worden:
 - Hoeveel reps dienen per keer te worden aangevuld?
 - Wanneer dient te worden aangevuld?

Hierbij behoren de onderstaande sturingsparameters die in deze paragraaf worden toegelicht en in bijlage B concreet bepaald.

- I(i) Q_{as} = de bestelgrootte per aanschaffing centraal bij de leverancier;
- I(ii) B_{as} = het voorraadniveau waarop aanschaffing bij de leverancier start;
- II(i) Q_r = de reparatie-seriegrootte;
- II(ii) B_r = het voorraadniveau waarbij reparatie moet aanvangen;
- III(i) Q_{av_i} = de bestelgrootte per aanvulling, bij elk decentrale voorraadopunt i ;
- III(ii) B_{av_i} = het voorraadniveau waarbij aanvulling bij decentraal voorraadopunt i nodig is.

4.2.2 Uitgangspunten

Uitgangspunt van het model is de beheersing van een enkel specifiek reservedeel. De afhankelijkheid tussen verschillende soorten repareerbare reservedelen in de vraag en uitval (onherstelbaar) wordt niet meegenomen; een andere benadering hiervoor zou kunnen zijn om per (wapen-)systeem de behoefte van repareerbare reservedelen te beschouwen, aangezien het uiteindelijke doel niet het streven van een bepaalde servicegraad van een reservedeel is, maar de beschikbaarheid van een (wapen-)systeem. Aannee is echter dat deze beschikbaarheidseis "vertaald" kan worden naar een bepaalde servicegraad van een enkel reservedeel en dat afhankelijkheid in de vraag naar de verschillende repareerbare reservedelen van een (wapen-)systeem verwaarloosbaar is.

In alle gevallen wordt de zogenaamde (B,Q)-voorraadstrategie (zie bijlage B) gehanteerd. Een (B,Q)-strategie geeft aan de aanschaf-, reparatie-, resp. aanvullings- hoeveelheid (Q) en het voorraadniveau (B) waarop die hoeveelheid Q dient te worden aangeschaft, gerepareerd of aangevuld. Voor een gedetailleerde, mathematische afleiding van de waarden van B en Q in de boven onderkende gevallen wordt verwezen naar bijlage B.

Een andere belangrijke aanname bij de bepaling van de verschillende waarden van de (B,Q)-strategie is een constante vraag in de tijd (de zogenaamde 'steady state'-situatie). Indien de vraag verandert, kunnen nieuwe waarden worden bepaald volgens de formules die in bijlage B worden afgeleid. In de praktijk is het bijstellen van de verschillende niveaus steeds een dynamisch proces. De bepaling van de vraag staat niet ter discussie in deze afleiding. Het moge duidelijk zijn dat een goede voorspelling van de verwachte vraag van groot belang is, en dat in de praktijk hiervoor eveneens regels afgeleid dienen te worden, gebruik makend van de historische gegevens en de verwachte veranderingen in de omstandigheden die de vraag bepalen.

De bepaling van de besturingsregels is gebaseerd op economische gronden. Dit vereist dat de kosten van de verschillende processen in het kringloopproces bekend zijn. Hierop wordt teruggekomen in paragraaf 4.2.5. Oorlogsvoorraden zijn vooralsnog buiten de bepaling gehouden.

Verder is aangenomen dat de kosten van het op voorraad houden voor alle repareerbare reservedelen gelijk zijn, onafhankelijk van de vraag of het een gebruiksgereed of defect reservedeel betreft.

Tabel 4.2 somt de verschillende uitgangspunten nogmaals op.

Tabel 4.2 *Uitgangspunten bij voorraadregels*

Aannames	• geen afhankelijkheid in vraag naar verschillende reps • servicegraad rep is goede vertaling van beschikbaarheidseis wapensysteem • (B,Q)-strategie • steady state, d.w.z. geen op- of afbouw voorraden • kosten op voorraad houden onafhankelijk van toestand rep
Vereisten	• geëiste servicegraad is per rep is bekend • kosten van processen bekend
Beperkingen	• voorraadregels hebben betrekking op één rep • oorlogsvoorraad buiten beschouwing

4.2.3 **Bepaling sturingsparameters**

In onderstaande wordt kort aangegeven welke factoren van invloed zijn op de grootte van de parameters uit de probleemschets; details staan in bijlage B.

4.2.3.1 **Aanschaf van repareerbare reservedelen (reps) ten gevolge van uitval**

Doordat een bepaald percentage van de defecte reps onherstelbaar is, dient regelmatig een bestelling geplaatst te worden bij de leverancier om de hoeveelheid reps in de kringloop weer op peil te brengen. Het voorraadniveau waarop een bestelorder dient uit te gaan en de bestelgrootte kunnen op economische gronden optimaal worden bepaald.

1 **De aanschafhoeveelheid**

De volgende factoren beïnvloeden de serie waarin wordt aangeschaft:

- a) Vaste en variabele aanschafkosten.
- b) Onherstelbaar verklaarde reps per tijdseenheid.
- c) Voorraadkosten van een reservedeel.

De aanschafgrootte is de zogenaamde "economic order quantity" (EOQ).

2 **Het aanschafniveau**

Het voorraadniveau op het moment van aanvullen dient de uitval tijdens de aanschaf tijd op te vangen. Dit niveau bestaat uit twee componenten:

- a) De gemiddelde uitval gedurende de aanschaf tijd (tijd tussen plaatsen en ontvangst order).
- b) De veiligheidsvoorraad: de extra voorraad om onverwachte uitval gedurende de aanschaf tijd op te vangen. De omvang van de veiligheidsvoorraad hangt af van de geëiste servicegraad: hoe hoger de servicegraad, des te hoger de veiligheidsvoorraad.

Het aanschafniveau is gerelateerd aan de economische voorraad:

$$\begin{aligned}
 \text{economische voorraad} &= \text{fysieke voorraad} + \text{uitstaande bestellingen bij de leverancier} \\
 \text{fysieke voorraad} &= \text{repareerbare defecten} + \text{gebruiksgereed.}
 \end{aligned}$$

4.2.3.2 Reparatie van repareerbare reservedelen (reps)

Analoog aan aanschaf kunnen voor het reparatieproces het voorraadniveau waarop een reparatieopdracht dient uit te gaan, en de seriegrootte voor reparatie op economische gronden optimaal worden bepaald.

1 De reparatie-seriegrootte

De volgende factoren zijn van invloed op de reparatie-seriegrootte:

- a) Vaste en variabele reparatiekosten.
- b) Vraag naar reps op het centrale voorraadopunt per tijdseenheid.
- c) Onherstelbaar verklaarde reps per tijdseenheid (als percentage van de vraag).
- d) Voorraadkosten van een reservedeel.

De reparatie-seriegrootte kan ook gezien worden als een "economic order quantity" (EOQ).

2 Het reparatieniveau

Het voorraadniveau op het moment dat een reparatieopdracht geplaatst wordt, dient de vraag tijdens het reparatieproces op te vangen. Het bestaat uit twee componenten:

- a) De gemiddelde vraag minus uitval gedurende de reparatietijd.
- b) De veiligheidsvoorraad: de extra voorraad om onverwachte vraag gedurende de reparatie op te vangen, net als bij aanschaf afhankelijk van de geëiste servicegraad.

Het reparatieniveau is gerelateerd aan de economische voorraad van gebruiksgereede reps:

economische voorraad gebruiksgereede reps

$$\begin{aligned} = & \text{totale landelijke fysieke voorraad gebruiksgereede reps} \\ & (\text{inclusief de voorraden bij de decentrale voorraadopunten}) \\ & + \text{uitstaande reparatieorders} \\ & + \text{uitstaande bestellingen bij de leverancier} \end{aligned}$$

4.2.3.3 Aanvulling van repareerbare reservedelen (reps)

Bij een decentraal voorraadopunt (een DSE) kunnen in principe op dezelfde wijze het niveau voor aanvullen en de optimale spreidingsseriégrootte bepaald worden.

1 De aanvullingshoeveelheid

Van invloed zijn:

- a) Vaste en variabele kosten die optreden bij een (spreidings-) aanvraag.
- b) De vraag naar reps op het decentrale voorraadopunt per tijdseenheid.
- c) De voorraadkosten van een reservedeel.

De hoeveelheid is eveneens een "economic order quantity" (EOQ).

2 Het aanvullingsniveau

Met het voorraadniveau op het moment van aanvullen dient het verbruik tijdens de aanvultijd overbrugd te worden. Ook hier kunnen we twee componenten onderscheiden:

- a) De gemiddelde vraag naar reps gedurende de aanvullingstijd (de tijd tot aan het moment dat de spreiding is ontvangen van het depot en uitgiftegereed is).
- b) De veiligheidsvoorraad: de extra voorraad om onverwachte vraag gedurende de aanvullingstijd op te vangen. De omvang van de veiligheidsvoorraad hangt af van de geëiste servicegraad.

4.2.4 Kostenafweging wel of niet repareren en initiële voorraad

Bovenstaande niveaus en seriegroottes beogen minimalisatie van kosten in de kringloop. Door de resultaten te combineren kan een berekeningswijze aangegeven worden, om de verwachte beheers- en onderhoudskosten van een kringloop-reservedeel te schatten. Tevens is een schatting van de benodigde initiële voorraad te bepalen. Voor de formules wordt verwezen naar bijlage B.

De gehanteerde rekenmethode en de formules uit de bijlage gelden ook als een reservedeel niet gerepareerd wordt, maar als verbruiksartikel wordt beschouwd. De vraag is dan gelijk aan de uitval en moet volledig door aanschaf worden gecompenseerd. Door de kosten van deze optie met die van de optie "wel repareren" met elkaar te vergelijken is een kwantitatieve methode aangegeven om op basis van minimalisatie van kosten te kunnen beslissen of reparatie zinvol is.

4.2.5 Enkele afsluitende opmerkingen naar aanleiding van de modellering

De economische voorraadniveaus zijn belangrijke stuurparameters in de voorraadbeheersing van de reparatiecyclus. Zowel decentrale economische voorraden als centrale economische voorraad dient te allen tijde middels het voorraadbeheersingssysteem aan de kringloopmanager bekend te zijn. Tevens dient de uitval real-time bekend te zijn. Een juiste up-to-date informatie van deze gegevens is essentieel voor een goede besturing.

Voorwaarden voor implementatie van deze beheersingsregels zijn:

- I) Het voorraadbeheersingssysteem dient de gegevens te kunnen leveren die benodigd zijn voor de bepaling van de genoemde stuurparameters. Bijzondere aandacht is nodig voor de betrouwbaarheid van de gegevens en de berekeningswijze van de voorspelling voor vraag en spreiding op elk decentraal voorraadpunt.
- II) De formules van de B en Q's zoals die in de bijlage zijn afgeleid, dienen in het voorraadbeheersingssysteem te worden geïmplementeerd.
- III) De afleiding zoals hier gegeven, is een economisch optimale. Een aantal kostenposten dient daartoe bekend te zijn en kan tevens dienen als prestatie-indicator bij de sturing van het kringloopproces ter verbetering van de efficiëntie:
transport-, handling en administratieve kosten bij spreidingen;

- voorraadkosten;
 - vaste en variabele reparatiekosten;
 - vaste bestelkosten van nieuw aan te schaffen reps;
 - variabele kosten (de prijs van een reservedeel).
- IV) Andere benodigde gegevens, eveneens secundaire prestatie-indicatoren van het kringloopproces, zijn de volgende doorlooptijden:
- de aanschaf tijd;
 - de reparatie tijd;
 - de aanvullingstijd van het depot aan de decentrale voorraadpunten.

Verder zij nogmaals opgemerkt dat oorlogsvoorraden niet in de beschouwing meegenomen zijn. Wanneer deze ook in de kringloop worden gebracht, zal bij de gegeven voorraadregels de servicegraad zeker gehaald worden. In paragraaf 4.3.3 wordt beschreven hoe op een gunstige manier van oorlogsvoorraden gebruik gemaakt kan worden.

4.2.6 DR-regels ten opzichte van kosten-optimale voorraadregels

De verwachting is dat kosten-optimale voorraadregels een verbetering van de prestatie van de kringloop kunnen bewerkstelligen ten opzichte van de momenteel gehanteerde DR-regels. Het was ook mogelijk geweest een vergelijking te maken met de CVBKL-regels. Omdat de CVBKL-kringloop niet volledig beheerst is (retourstroom) had dit om extra aannames gevraagd en bovendien is de algemene indruk dat DR voor reps beter functioneert dan CVBKL-bevoorrading. Vandaar dat de vergelijking beperkt wordt tot de DR-regels.

Simulatie-experiment

Zes van de twaalf simulatie-experimenten werpen nader licht op de vergelijking tussen DR en kosten-optimale voorraadregels. Optie 1 en 2 moeten met 3 vergeleken worden, 4 en 5 met 6.

Tabel 4.3 Opties voor vergelijking DR met kosten-optimale regels

Optie	Art.	Oorlogsvoorraad decentraal?	Sturing reparatieproces	Voorraadregels	Bijzonderheden
1	1	Ja	Vraag	kosten-optimaal	geen
2	1	Nee	Vraag	kosten-optimaal	geen
3	1			DR	
4	2	Ja	Aanbod	kosten-optimaal	geen
5	2	Nee	Aanbod	kosten-optimaal	geen
6	2			DR	

Resultaten

De exacte resultaten staan vermeld in tabel C.4.1 in bijlage C. Hieruit blijkt dat DR-regels tot hogere kosten leiden dan kosten-optimale regels. De verklaring hiervoor is dat bij DR aanmerkelijk vaker leveringen van de centrale voorraad naar decentrale lokaties plaatsvinden. De vraag is gelijk, maar wordt bij DR per stuk geleverd en bij de andere opties in een veelvoud. Daarbij moet erop gewezen

worden dat verondersteld is dat het in kosten niet uitmaakt of één of meer artikelen tegelijk worden geleverd.

Bij DR zijn de voorraadkosten lager. Dit wordt geheel veroorzaakt doordat DR geen gebruik maakt van veiligheidsvoorraden. Dit is namelijk het enige punt waarop de berekening van de totale voorraad verschilt. Gevolg is dan ook dat bij DR de totale oorlogsvoorraad in de kringloop wordt aangetast (bij hoge vraag tijdens de doorlooptijd van de reparatie) en de gemiddelde voorraad lager ligt. Een laatste verschilpunt is het aantal reparatieseries. Aangezien de gegeven seriegrootte waarin gerepareerd wordt bij DR kleiner blijkt dan de 'kosten-optimaal' bepaalde seriegrootte (zie tabel C.6 in de bijlage), is het aantal reparatieseries over de gehele simulatie groter, met hogere kosten.

De overige verschillen in de resultaten in bijlage C zijn terug te voeren op de stochastische vraag, die tot geringe verschillen over de volledige duur van de simulatie leidt. Aangezien sprake is van een gesloten kringloop is er geen verschil tussen sturing van het reparatieproces op vraag (kosten-optimale regels) of aanbod (DR).

Kosten-optimale voorraadregels leiden tot een reductie in de totale kosten bij artikel 1 en 2 van respectievelijk 7% en 14% ten opzichte van DR. Het effect op de kosten is echter afhankelijk van de opbouw van verschillende kostensoorten binnen de totale kosten van een reservedeel. De totale kosten worden grotendeels bepaald door de variabele reparatiekosten, die uiteraard onafhankelijk zijn van de besturing. Verschillen ontstaan in de 'logistieke kosten', te weten voorraadkosten en kosten veroorzaakt door het aantal reparatieseries en aanvullingen. Wordt alleen naar logistieke kosten gekeken, dan gaat het om een reductie van 25% en 29%. Geconcludeerd mag worden dat er sprake is van een aanzienlijke reductie van logistieke kosten die haalbaar is door het toepassen van kosten-optimale voorraadregels.

4.3 Kringloopbesturing

4.3.1 Afweging tussen verbruiken of het opzetten van een reparatie-kringloop

Een kringloop van repareerbare reservedelen wordt opgezet met de verwachting dat dit tot lagere kosten leidt dan wanneer defecte reps direct afgestoten worden. De beslissing tussen repareren of verbruiken ligt in de verwervingsfase en zal in de loop van de levenscyclus van materieel regelmatig heroverwogen moeten worden, doordat kosten kunnen veranderen gedurende de levenscyclus.

Bij een gelijke geëiste servicegraad kunnen de verwachte kosten van verbruiken en repareren worden bepaald. Het is denkbaar dat bij een beslissing ook andere dan economische overwegingen gelden, bijvoorbeeld het niet afhankelijk willen zijn van externe leveranciers. Wanneer een organisatie al beschikt over reparatie-capaciteit zal een beslissing tot repareren gemakkelijker zijn. Het kan zelfs verstandig zijn tot repareren te besluiten om een betere bezetting te krijgen van de aanwezige capaciteit, terwijl op economische gronden 'verbruiken' de voorkeur zou verdienen. Ook in dergelijke gevallen blijft inzicht in de verwachte kosten van beide alternatieven gewenst.

Strikt genomen zou men de kosten van beide alternatieven over de gehele levenscyclus moeten bezien. Aangezien materieel met bijbehorende repareerbare reservedelen een levenscyclus van meerdere jaren kent, zullen kosten veranderen in de loop van de cyclus. Het is daarom praktisch om beide alternatieven te vergelijken over een beperkte periode, bijvoorbeeld een jaar. Men dient zich te realiseren dat verbruiken gevoeliger is voor prijsstijgingen dan repareren. Een reparatie-kringloop vergt echter investeringen met bijbehorende risico's. Bovendien zal de gemiddelde hoeveelheid repareerbare reservedelen in de kringloop groter zijn, met het risico van incurante voorraden.

De kosten die in de vergelijking meewegen zijn de volgende:

- kosten van de processen;
- voorraadkosten;
- materiaalkosten (waarbij het te verwerven reservedeel ook als materiaal wordt gezien).

In feite moet ook het geïnvesteerd vermogen in reparatie-capaciteit worden meegerekend. Het idee hierachter is dat wanneer niet een behoorlijk rendement op een investering wordt behaald, het geld beter voor andere doeleinden gebruikt kan worden. De gemakkelijkste manier om hier rekening mee te houden is door een opslag bovenop de integrale tarieven voor processen te berekenen.

In tabel 4.4 worden deze kosten uitgewerkt.

Tabel 4.4 Kostensoorten van verbruiken en repareren

Kostensoort		Rep.	Verbr.
Proces	Repareren	x	
	Bevoorraden	ontvangst defect bij rep.bedr.	x
		batch voor reparatie	x
		gerepareerde batch centraal	x
		aangeschafte batch centraal	x x
		verzamelen batch centraal	x x
		ontvangst batch decentraal	x x
	Bestellen	decentraal	x x
		reparatie	x
		aanschaf	x x
	Transporteren	x	x
Vorraden		x	x
Materiaal (incl. nieuw aanschaf reps)		x	x

Opmerkingen

- Kosten van het gebruiken van reps bij het herstellen van uitrustingsstukken drukken rechtstreeks op de instandhouding van uitrustingsstukken.
- Kosten verbonden aan het decentraal aanvullen met bijbehorende bevoorradingshandelingen en transportkosten zijn in beide gevallen hetzelfde. Overige kostensoorten die bij zowel repareren als verbruiken voorkomen kunnen verschillen in omvang.
- Proceskosten worden bepaald door de integrale tarieven van deel-activiteiten, tijdsduur van deel-activiteiten en het aantal malen dat het proces wordt herhaald gedurende de te beschouwen periode. Dit laatste hangt af van de vraag en bestelgroottes.
- Voorraadkosten zijn hier berekend als fractie van de nieuwprijs en dus volledig variabele. Het is zuiverder om zowel het in voorraden vastgelegde vermogen (variabele kosten) als de voorzieningen voor opslag en uitlevering (deels vaste deels variabele kosten) in de voorraadkosten tot uiting te laten komen.

De kosten worden in belangrijke mate bepaald door de kosten van het reparatieproces (inclusief materiaal kosten) en de prijs van nieuw aangeschafte reps. De overige kosten zijn hier meestal slechts een fractie van. Een ruwe vuistregel is dan ook om alleen deze kosten te vergelijken. Een uitgewerkt voorbeeld is te vinden in bijlage E.

De KL is van plan als regel te hanteren dat repareerbare reservedelen met een nieuwprijs beneden de f 1000,- niet voor reparatie in aanmerking komen. Een dergelijke regel kan erg praktisch zijn, maar de hier voorgestelde werkwijze is zuiverder.

4.3.2 Sturing op kringloop-voorraden of lokale voorraden

Indien het reparatieproces wordt aangestuurd door vraag vanaf het centrale depot is het van belang of daar inzicht bestaat in de voorraad in de gehele kringloop of alleen de lokale voorraad op het depot. Wanneer bij het centrale depot geen inzicht bestaat in de voorraden decentraal, zullen op het depot voorraadniveaus zo vastgesteld worden dat met een bepaalde servicegraad aan de vraag van decentrale eenheden kan worden voldaan. Daarbij wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat het (nog) niet voldoen aan (een deel van) de vraag niet tot problemen voor de inzetbaarheid van materieel decentraal hoeft te leiden. Feitelijk levert men een te goede service, waar uiteraard kosten aan verbonden zijn. Het gaat om twee effecten:

- Op het depot wil men voorkomen dat men buiten voorraad raakt, terwijl het voor de servicegraad decentraal niet problematisch hoeft te zijn wanneer het centrale depot tijdelijk geen voorraad heeft, omdat er op dat moment decentraal nog voorraad aanwezig kan zijn. De veiligheids- en overbruggingsvoorraad die men op het depot zal aanhouden kan men probleemloos decentraal neerleggen, zolang men het overzicht over alle voorraden heeft.
- De landelijke voorraad neemt per stuk af; bij het depot neemt de voorraad af met batches die aan een decentrale lokatie geleverd worden, die groter kunnen zijn dan één. De totale vraag is in beide gevallen even groot, maar de spreiding is groter bij afname in batches. De daarbij behorende veiligheidsvoorraad, gebaseerd op spreiding in de vraag, zal ook groter zijn. Men kan hier spreken van een 'opslinger-effect'.

Op grond hiervan is het duidelijk dat sturen op de kringloop-voorraad een bepaalde servicegraad tegen lagere (voorraad)kosten kan bewerkstelligen. Daarnaast heeft integrale besturing van de kringloop het voordeel dat er, indien nodig, meer mogelijkheden zijn om in te spelen op onvoorziene omstandigheden, bijvoorbeeld door incidenteel te herspreiden tussen decentrale lokaties of eerder te repareren.

4.3.3 Oorlogsvoorraad

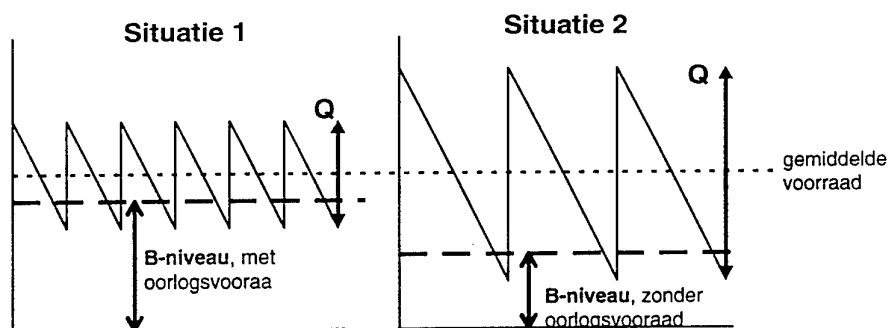
Een bijzonderheid in de bevoorradings bij Defensie is het verschijnsel oorlogsvoorraad. "Er moet zich te allen tijde een oorlogsvoorraad van 30 dagen gebruiksgereede artikelen in het systeem bevinden" [1]. Diverse lokaties hebben een eigen oorlogsvoorraad in de vorm van een x aantal dagen verwacht gebruik. In de praktijk blijkt de regel niet al te strikt gehanteerd te worden. Zo zal een herstellpeloton waar vraag optreedt zijn voorraad, zijnde oorlogsvoorraad, aanspreken, waarna via de DR-systematiek binnen één dag aanvulling komt. Ook door noodzakelijke afrondingen op gehele getallen kan het voorkomen dat net niet aan de geëiste hoeveelheid oorlogsvoorraad op een bepaalde lokatie wordt voldaan.

Een andere zienswijze is om oorlogsvoorraad te beschouwen als een hoeveelheid voorraad die op een willekeurige plaats aanwezig dient te zijn. Aan de gestelde eis wordt voldaan zolang er in totaal maar 30 dagen verwacht gebruik aanwezig is. Bij de huidige frequentie van transport lijkt een verdeling over lokaties immers niet

meer strikt noodzakelijk. In dat geval is het mogelijk oorlogsvoorraad te benutten om de kosten voor decentrale aanvullingen te verminderen.

Uitgegaan wordt van een situatie waarin kosten-optimale voorraadregels worden gehanteerd. De interpretatie van de eis ten aanzien van oorlogsvoorraad heeft uiteraard geen invloed op de totale voorraad in de kringloop en series en niveaus voor repareren en aanschaffen. Er is als het ware een vast 'reservoir' voorraad ter beschikking dat zich decentraal mag bevinden. In het vervolg wordt dit beschouwd als de gemiddelde voorraad decentraal.

Het verschil in interpretaties van de eis van oorlogsvoorraad leidt tot verschillende niveaus voor B decentraal. Indien oorlogsvoorraad zich deels decentraal moet bevinden, dan leidt dat tot een B-niveau bestaande uit oorlogs-, overbruggings- en veiligheidsvoorraad². Het laten vallen van deze eis resulteert in een lagere B. Bij een gelijkblijvende gemiddelde voorraad ontstaat dan als het ware ruimte om met een grotere Q te werken. Dit komt doordat de hoeveelheid voorraad die gemiddeld decentraal ligt constant is. Figuur 4.1 illustreert dit verschijnsel. In situatie 1 bevat het B-niveau oorlogsvoorraad. Zonder dat de gemiddelde voorraad stijgt is het mogelijk om bij een lagere B met grotere series voor aanvulling (Q) te werken, zoals situatie 2 laat zien.



Figuur 4.1 Effect van verlaging B-niveau

Dit verschijnsel speelt vooral bij repareerbare reservedelen met een relatief grote oorlogsvoorraad en kleine series voor aanvulling. Dit zijn vooral de dure artikelen met een behoorlijk verbruik.

Simulatie-experiment

Het boven beschreven effect is met simulatie nader onderzocht. Van de in totaal twaalf onderscheiden situaties (bijlage C) hebben de volgende vier betrekking op

² Bij DR ligt er decentraal alleen oorlogsvoorraad, die ook aangetast wordt. In feite doet men zo een concessie aan het geëiste servicepercentage. Hier wordt een vergelijking gemaakt tussen het aantasten van lokale oorlogsvoorraden en kringloop-oorlogsvoorraden bij hetzelfde geëiste servicepercentage.

het effect van oorlogsvoorraad. Een vergelijking moet worden gemaakt van optie 1 met 2, 4 met 5.

Tabel 4.5 Opties voor bepaling van de invloed van de omgang met oorlogsvoorraad

Optie	Art.	Oorlogsvoorraad decentraal?	Sturing repara- ratieproces	Voorraadregels	Bijzonderheden
1	1	Ja	Vraag	kosten-optimaal	geen
2	1	Nee	Vraag	kosten-optimaal	geen
4	2	Ja	Aanbod	kosten-optimaal	geen
5	2	Nee	Aanbod	kosten-optimaal	geen

Resultaten

Voor de resultaten wordt verwezen naar tabel C.4.1 in bijlage C. Uit de simulaties blijkt dat het gebruiken van oorlogsvoorraad voor het beperken van het aantal leveringen van het centrale voorraadpunt naar decentrale lokaties het verwachte effect heeft. Het verlagen van het niveau voor aanvulling (B) door oorlogsvoorraad erbuiten te laten leidt niet tot problemen met de servicegraad. De verhoging van Q zorgt ervoor dat het aantal leveringen afneemt. Het effect op de kosten is overigens beperkt. Over de gehele simulatie-periode (± 6 jaar) ontstaat bij artikel 1 een reductie van 0,4% in de logistieke kosten. Decentrale leveringen bepalen bij dit artikel echter slechts 1,0% van de totale logistieke kosten, waarmee de ogenschijnlijk geringe verbetering wordt verklaard. Voor artikel 2 gaat het om 13,4% lagere logistieke kosten, waarbij decentrale leveringen 19% van de totale logistieke kosten vormen. Het verschil dat met een gunstige inzet van oorlogsvoorraden bereikt kan worden is afhankelijk van de procentuele toename van de seriegrootte en het aandeel van de kosten van decentrale leveringen op de totale (logistieke) kosten. Toch lijkt over de gehele linie met deze aanvul-strategie een interessante besparing te realiseren, omdat de strategie toepasbaar is voor zowel reps als non-reps.

4.3.4 Sturing van het reparatieproces op vraag naar gebruiksgerede of aanbod van defecte repareerbare reservedelen (reps)

De aanleiding om tot reparatie van reps over te gaan kan zijn het bereiken van een zekere hoeveelheid defecte reps of het niet meer aanwezig zijn voldoende gebruiksgerede reps. In het eerste geval is *aanbod* (van defecten) bepalend. In het tweede geval zal het onderschrijden van een niveau van gebruiksgerede reps leiden tot *vraag* vanaf het depot aan het reparatiebedrijf.

In een 'gesloten' kringloop (zonder uitval van onherstelbare reservedelen), waar gestuurd wordt op kringloop-voorraden en waarbij processen een constante doorlooptijd hebben is er geen verschil tussen vraag- en aanbod-sturing. Het ontstaan van een defect reservedeel leidt namelijk (vrijwel) tegelijkertijd tot afname van de - in dit geval constante - kringloop-voorraad en aanbod bij het reparatiebedrijf. In de praktijk zullen echter verstoringen aanwezig zijn. Door uitval zal de fysieke voorraad niet constant zijn. Ook lijkt het niet onwaarschijnlijk dat zich soms vertragingen bij bepaalde processen zullen voordoen, bijvoorbeeld bij het inleve-

ren. Onder dergelijke condities kan een verschil in de prestatie van de kringloop ontstaan bij vraag- en aanbod-sturing.

Simulatie-experiment

Zes van de twaalf simulatie-experimenten kunnen het verschil tussen vraag- en aanbod-sturing illustreren.

Tabel 4.6 Opties voor vergelijking van vraag- en aanbodsturing van reparatie

Optie	Art.	Oorlogsvoorraad decentraal?	Sturing reparatieproces	Voorraadregels	Bijzonderheden
7	1	Nee	Vraag	kosten-optimaal	Vertraging bij inleveren
8	1	Nee	Aanbod	kosten-optimaal	Vertraging bij inleveren
9	2	Nee	Vraag	kosten-optimaal	Vertraging bij inleveren
10	2	Nee	Aanbod	kosten-optimaal	Vertraging bij inleveren
11	1	Nee	Vraag	kosten-optimaal	Uitval
12	1	Nee	Aanbod	kosten-optimaal	Uitval

Er zijn bewust verstoringen in de experimenten gebracht. Bij opties 7 tot en met 10 betrof dat een vertraging van 30 dagen bij het inleveren. Bij optie 11 en 12 is een uitval-percentage van 5% gehanteerd, conform de praktijk-gegevens over het betreffende artikel. De seriegrootte voor aanschaffingen is gesteld op 24, bewust hoger dan de optimale seriegrootte om het effect beter zichtbaar te maken. Conclusies kunnen getrokken worden uit de vergelijking van optie 7 met 8, 9 met 10 en 11 met 12.

Resultaten

Men zou verwachten dat voor zowel uitval als vertraging bij sturing op vraag de servicegraad overeind blijft, waarbij wel de reparatieseries kleiner worden dus met hogere kosten. Immers, de 'trigger' voor reparatie in de vorm van een bepaald aantal gebruiksgereede reps in de kringloop blijft onveranderd. Wel zal op het moment dat de trigger in werking treedt niet de volledige beoogde hoeveelheid defecten bij het reparatiebedrijf aanwezig zijn. Het restant is afgekeurd of ligt nog bij de gebruikers. Bij sturing op aanbod gebeurt naar verwachting het omgekeerde. De reparatieserie blijft in tact, maar de servicegraad zal afnemen. De benodigde hoeveelheid defecten bereikt nu pas het reparatiebedrijf wanneer de hoeveelheid gebruiksgereede reps in de kringloop verder is afgenomen dan onder de normale omstandigheden.

De effecten bij uitval blijven in de simulaties beperkt (zie bijlage C). Bij sturing op vraag neemt de reparatieserie enigszins af; sturing op aanbod leidde ertoe dat twee keer de oorlogsvoorraad wordt onderschreden. De verklaring is gelegen in het volgende. Door het opnemen van uitval in de kringloop neemt de minimale voorraad aan te repareren en defecte reps samen weliswaar af maar met een betrekkelijk geringe hoeveelheid ten opzichte van de totale voorraad. Bovendien blijkt uit de minimum voorraad gebruiksgereede van andere simulaties met artikel 1 dat het minimale niveau aan gebruiksgereede reps in de kringloop dat zich tijdens de si-

mulaties voordoet steeds ruim boven de oorlogsvoorraad blijft. Tenslotte moeten voor een onderschrijding van de oorlogsvoorraad de volgende factoren samenvallen: een periode van grote vraag naar reps, kort voor ontvangst van nieuw aangeschafte reps en een lopende reparatie. Het is mogelijk dat deze combinatie zich niet (vaak) tijdens de simulatie heeft voorgedaan.

Het verstoren van de kringloop door vertraging bij het inleveren gaf resultaten volgens verwachting. Bij beide artikelen leidde sturing op vraag ertoe dat de oorlogsvoorraad onaangetast bleef en dus de servicegraad op peil bleef. Wel moest in kleinere series gerepareerd worden, dus tegen hogere kosten. Sturing op aanbod leidde hier tot aantasting van de oorlogsvoorraad. Een afweging tussen hogere kosten of mindere servicegraad valt buiten dit onderzoek.

Geconcludeerd mag worden dat sturing op vraag de kringloop qua servicegraad minder gevoelig maakt voor verstoringen door afkeur of vertragingen bij het inleveren. Men gebruikt het reparatieproces als het ware als een buffer die de verstoringen opvangt. De capaciteit van de buffer hangt samen met grootte van de reparatieserie. De prijs die men hiervoor betaalt zijn de hogere kosten voor het voorbereiden van extra reparatieseries.

4.4 Afsluitende opmerkingen

Ter afsluiting van dit hoofdstuk worden twee onderwerpen die voortvloeien uit meerdere van de bovengenoemde analyses.

4.4.1 Benodigde gegevens voor besturing van de kringloop

Bij de modellen en simulatie-experimenten wordt van diverse gegevens gebruik gemaakt. De totale gegevensbehoefte wordt in deze paragraaf opgesomd en toege-licht. Deels betreft het gegevens die in het huidige CVBKL niet voorhanden zijn. De gehanteerde indeling is conform de categorieën in het CVBKL. Tabel 4.7 (pagina 42) geeft een opsomming van alle genoemde gegevens.

Financiële gegevens

De totale kosten die met de kringloop van repareerbare reservedelen gemoeid zijn bestaan uit:

- integrale kosten van processen;
- voorraadkosten;
- kostprijs van nieuwe reps;
- materiaalkosten.

Allereerst zijn de integrale kosten van de reparatie relevant. Deze zijn bekend (bij DMKL en de bedrijven zelf), waarbij niet in alle gevallen duidelijk is of ze zijn gebaseerd op integrale tarieven. Transportkosten zijn voorlopig buiten de bereke-ningen gehouden, omdat gegevens ontbreken. Bovendien is de toerekening aan specifieke reps lastig. Dit zou nader onderzocht moeten worden.

Voor het bepalen van seriegroottes voor aanvullen, reparatie en aanschaffen zijn de integrale kosten van de volgende 'indirecte' processen gebruikt:

- aanvullen op decentraal niveau vanuit het centrale voorraadpunt;
- in reparatie nemen van een batch reps (de 'reparatieserie');
- het doen van een externe bestelling.

Deze processen bestaan uit meerdere activiteiten, zoals handling in een magazijn, intern transport, administratieve handelingen, beslissen tot aanschaffen/repareren, planning, werkvoorbereiding en contacten met externe leveranciers. De kosten zijn bepaald door de (geschatte) tijdsduur van de activiteiten te vermenigvuldigen met het (deels geschatte) integrale uurtarief van de afdeling die de activiteiten verricht.

Ook voorraadkosten moeten bekend zijn bij het bepalen van optimale seriegroot-tes. In de berekeningen is een fractie van de nieuwprijs (uit het CVBKL) van de rep genomen. Het is nauwkeuriger om in de voorraadkosten ook de kosten voor opslagcapaciteit (gebouwen, mensen, middelen) tot uitdrukking te brengen. Nader onderzoek is nodig om een correcte uitdrukking voor voorraadkosten te bepalen.

De kostprijs van nieuwe repareerbare reservedelen is zoals vermeld een gegeven in het CVBKL en de materiaalkosten zijn bekend bij DMKL en de reparatie-bedrijven.

Beheersgegevens

De beheersgegevens leggen de specifieke kenmerken van een artikel vast. De meeste gegevens waar het CVBKL in voorziet zijn in dit onderzoek niet gebruikt. Aanvullend zijn wel de doorlooptijden van relevante processen. Voor ieder punt waar zich voorraad bevindt, is van belang te weten hoe lang het duurt voordat aanvullende voorraad dat punt kan bereiken. Hiermee wordt de overbruggings-voorraad bepaald. Het gaat om de gemiddelde doorlooptijden van:

- reparatie;
- nieuw aanschaffen;
- transport, leidend tot aanvulling van voorraad decentraal.

Naast de gemiddelde doorlooptijd speelt ook de spreiding in de doorlooptijden een rol bij het berekenen van veiligheidsvoorraden.

Verbruiksgegevens

Kosten-optimale voorraadregels gaan uit van inzicht in de toekomstige vraag en spreiding in de vraag per lokatie. Voor de simulaties is gebruik gemaakt van de totale vraag per jaar over de laatste vier jaar, waarmee gemiddelde vraag en spreiding zijn bepaald. De vraag per lokatie is geschat en daarmee niet erg representatief. Het zou echter wenselijk zijn om per lokatie vraag-intervallen te verzamelen, waaruit gemiddelde vraag en spreiding veel nauwkeuriger zijn te bepalen. Het optreden van afkeur (onherstelbaar verklaringen) is eveneens van belang. Men kan overwegen te volstaan met het landelijke uitvalspercentage per jaar. Nauwkeuriger is uiteraard om gemiddelde en spreiding te registreren.

Besteladviezen

Signalen voor extern aanschaffen, reparatie-opdrachten en decentraal aanvullen komen voort uit de vergelijking van berekende voorraadmiveaus ('B' of 's') met actuele voorraadhoogten. Voorraadmiveaus gebruiksgerede reps zijn steeds opgebouwd uit drie componenten, minimum voorraad (oorlogsvoorraad), overbrugging van de doorlooptijd voor aanvoer en veiligheidsvoorraad. De berekening van de minimum voorraad blijft onveranderd, waarbij de verdeling over lokaties een punt van overweging kan zijn. De overbruggingsvoorraad blijft qua systematiek hetzelfde maar maakt in kosten-optimale voorraadregels gebruik van gemiddelde doorlooptijden in plaats van maximum doorlooptijden. Voor het bepalen van de veiligheidsvoorraad moeten bekend zijn: de spreiding in vraag en doorlooptijden, gewenst servicepercentage en de vraag per tijdseenheid. Om te bepalen of daadwerkelijk tot actie moet worden overgegaan is tevens inzicht nodig in lopende aanschaffingen, reparaties en aanvullingen.

Tabel 4.7: Gegevens voor besturing van de kringloop

Categorie		Gegevens	toelichting
Algemeen		oorlogsintensiteitsfactor (OIF)	
		verhouding oorlogstotaal / vredeestotaal	
		nieuwprijs	
		reparatie-kosten materiaal	
Besturing	service- graad	voorraad gebruiksgereed, op ieder moment	voor elke lokatie
		voorraad defect per lokatie, op ieder moment	
		landelijke voorraad gebruiksgereed op ieder moment	
		landelijke voorraad defect op ieder moment	
		vraag om reservedelen bij gebruikers per lokatie	
		wachttijd per vraag bij gebruikers	
	kosten	aantal reparaties	
		aantal reparatie-series	
		gerealiseerde kosten per reparatie(serie)	materiaal, proces
		gerealiseerde seriegrootte reparatie	
		aantal aanvullingen	
		aantal aangeschafte reservedelen	
		aantal aanschaffingen (series)	
		gerealiseerde betalingen voor aanschaf	
Processen	door loop tijden	reparatie	
		aanschaffen (nieuw)	
		transport (evt. per traject)	
	vraag / gebruik	gemiddelde vraag	voor elke gebruikerslokatie
		spreiding/standaarddeviatie in vraag	voor elke gebruikerslokatie
		onherstelbaar verklaringen, aantal (landelijk)	
		onherstelbaar verklaringen, spreiding/standaarddeviatie (landelijk)	
	kosten	aanvullen	bestellen
			handling
			administratie
		repareren	opdracht tot repareren
			werkvoorbereiding
			handling
			administratie
			reparatie
		aanschaffen	bestellen
			handling
			administratie
		voorraad	fractie van nieuwprijs
			apart rente, ruimte, risico, evt. per lokatie

Besturing van de prestatie van de kringloop

Het uiteindelijke doel van besturing van de kringloop is om tot een zo goed mogelijke prestatie in termen van servicegraad en kosten te komen. De gegevens waarmee de totale kosten bepaald worden zijn reeds aangegeven. Daarnaast speelt de servicegraad een rol. In hoofdstuk 3 zijn de factoren waarmee de prestatie van de

kringloop kan worden beïnvloed al genoemd en zijn prestatie-indicatoren gegeven (tabel 3.1). De precieze informatiebehoefte is afhankelijk van nog te maken keuzen bij de besturing.

4.4.2 Aanzet tot een heuristiek

Op basis van de bevindingen in de simulaties zijn algemene vuistregels op te stellen hoe, afhankelijk van bepaalde kenmerken van een reservedeel, met voorraden in de kringloop moet worden omgegaan. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de kosten-optimale voorraadregels en de omgang met oorlogsvoorraden, die in de simulaties beproefd zijn. De uitgangspunten bij de onderstaande driedeling zijn:

- B's en Q's zijn volgens bijlage B (dus zonder oorlogsvoorraad) berekend, en nog niet afgerond op gehele getallen. Hiermee is ook de gemiddelde voorraad decentraal te berekenen.
- Oorlogsvoorraad wordt beschouwd als een bepaalde hoeveelheid gebruiksgereede reps die op een willekeurige plaats in de kringloop aanwezig mogen zijn.

Situatie 1: Gemiddelde voorraad decentraal is groter dan het reparatieniveau en de totale oorlogsvoorraad samen.

Deze situatie zal zich voordoen bij een niet te hoog verbruik van een relatief goedkoop artikel. In dit geval zal men om economische redenen zoveel voorraad in de kringloop brengen, dat vanzelf aan de eis voor oorlogsvoorraad wordt voldaan. Men kan nu de berekende niveaus voor B's en Q's hanteren zoals afgeleid in bijlage B, zonder speciale aandacht aan oorlogsvoorraad te schenken.

Situatie 2: Gemiddelde voorraad decentraal is kleiner dan het reparatieniveau en de totale oorlogsvoorraad samen.

Bij een redelijk hoog verbruik wordt de oorlogsvoorraad (dertig dagen verbruik met verhoogde intensiteit) bepalend voor de totale kringloop-voorraad. De 'extra voorraad' kan zo goed mogelijk benut worden volgens de in paragraaf 4.3.3 beschreven wijze. De berekende niveaus (B) voor aanvullen decentraal kunnen ongewijzigd gehanteerd worden. De series waarin dat gebeurt (Q) kan men vergroten, om het aantal leveringen te beperken.

In principe kan men seriegrootten zo groot maken dat de gemiddelde voorraad decentraal gelijk wordt aan het reparatieniveau en de totale oorlogsvoorraad samen. De kans bestaat dan echter dat herspreiding tussen decentrale lokaties nodig wordt. Daarom is het in de praktijk verstandig om de seriegrootte net iets onder dit maximum te bepalen.

Een bijzondere situatie doet zich voor bij een laag totaal verbruik. In dat geval heeft de afronding van berekende B's en Q's een sterke invloed.

Situatie 3: Sommige decentrale niveaus voor aanvullen en seriegroottes zijn vrijwel gelijk aan nul.

Kenmerkend voor deze situatie is ook dat de te berekenen initiële voorraad inclusief oorlogsvoorraad waarschijnlijk kleiner zal zijn dan het aantal lokaties waar

verbruik plaatsvindt, zodat niet zonder meer op iedere lokatie tenminste één gebruiksgereed reservedeel kan worden neergelegd. Men moet daarom afwegen of het acceptabel is om (op een aantal lokaties) geen decentrale voorraad aan te houden en pas vanaf de centrale voorraad te leveren nadat vraag is opgetreden. In dat geval blijven de berekende niveaus, seriegrootten en initiële voorraad gewoon van kracht. Indien het toch noodzakelijk wordt geacht op iedere decentrale lokatie tenminste één rep te hebben liggen, verhoogt men feitelijk de berekende B'niveaus decentraal. De geleverde service zal gelijk veel hoger liggen dan de geëiste. Uiteraard zijn daar (voorraad)kosten aan verbonden. Bij de bepaling van de initiële voorraad moet men dan rekening houden met een verhoogde gemiddelde voorraad decentraal.

Deze driedeling is een eerste aanzet tot een heuristiek. Nadere uitwerking dient plaats te vinden.

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport worden diverse onderwerpen geanalyseerd die verband houden met de besturing van een kringloop van repareerbare reservedelen (reps). Uitgangspunt vormde de wens van de Koninklijke Landmacht (KL) om in de toekomst nog slechts één kringloop voor de bevoorrading van alle reps te hanteren. De ideeën uit de Projectgroep Onderhoud en Logistiek en de werkgroep HARENO over betrokken eenheden en processen zijn als gegeven beschouwd.

Een model is ontwikkeld voor de besturing van de kringloop. Met de besturing beoogt men een gewenste servicegraad aan gebruikers van repareerbare reservedelen te leveren tegen zo laag mogelijke kosten. Diverse factoren zijn hierop van invloed waarbij de volgende driedeling is gehanteerd:

- processen;
- voorraadregels;
- kringloopbesturing.

Tevens is een set prestatie-indicatoren vastgesteld, waarmee besturing in de praktijk vorm kan krijgen. Diverse onderwerpen uit de drie categorieën zijn nader geanalyseerd waarbij onder andere gebruik is gemaakt van een simulatiemodel van de kringloop in het pakket Taylor en twee spreadsheet modellen.

5.1 Conclusies

Uit de verschillende analyses mogen de volgende conclusies worden getrokken:

- Een bruikbaar model is ontwikkeld om, met behulp van de geschatte kans op een geslaagde reparatie, een kostenafweging te maken tussen het afkeuren dan wel door laten gaan voor reparatie van een defecte rep. [Par. 4.1.1]
- Voor de beheersing van de kringloop is het van groot belang dat defect geraakte reservedelen snel worden ingeleverd. Indien uit kosten-oogpunt wordt overwogen af te zien van directe ruil (DR), moeten gebruikers anderszins worden gestimuleerd om snel in te leveren. Mogelijkheden hiervoor liggen op het gebied van gebruikers verantwoordelijk stellen voor veroorzaakte kosten en een 'statiegeld'-regeling. [Par. 4.1.2]
- Het is mogelijk gebleken op basis van het principe van kostenafweging een volledige set voorraadregels op te stellen (kosten-optimale voorraadregels). Hiermee zijn de niveaus en hoeveelheden voor reparaties, aanschaffingen bij externe leveranciers en aanvulling van decentrale voorraden alsmede de initiële kringloopvoorraad vast te stellen. [Par. 4.2.1 - 4.2.5]
- Uit simulaties is gebleken dat kosten-optimale voorraadregels tot een betere servicegraad en lagere kosten leiden dan de DR regels. [Par. 4.2.6]
- Voor de initiële keuze om een reservedeel als verbruiksdeel te gaan beschouwen dan wel te gaan repareren is een model ontwikkeld dat inzicht kan verschaffen in de (geschatte) kosten van beide alternatieven. [Par. 4.3.1]

- Het integraal besturen van de kringloop door een kringloopbeheerder (met name het vaststellen van niveaus en hoeveelheden voor bevoorrading) leidt tot lagere kosten dan wanneer lokaties hun eigen strategie bepalen. [Par. 4.3.2]
- Wanneer oorlogsvoorraad wordt beschouwd als een voorraad die landelijk aanwezig moet zijn in plaats van een volgens bepaalde regels over lokaties verdeelde voorraad is een (beperkte) kostenbesparing mogelijk. [Par. 4.3.3]
- Het reparatieproces kan gestuurd worden op basis van het 'aanbod' van een bepaalde hoeveelheid defecte reps of 'vraag' tengevolge van het uitgeput raken van een hoeveelheid gebruiksgereede reservedelen. Wanneer verstoringen optreden (uitval, vertraging bij processen, etc.) blijft bij de laatste wijze de servicegraad beter op peil, zij het met hogere kosten. [Par. 4.3.4]

Uit de combinatie van een aantal analyses ontstond inzicht in de totale gegevensbehoefte voor de besturing van de kringloop. [Par. 4.4.1] Tevens is het mogelijk gebleken om uit de analyse-resultaten een eenvoudige heuristiek af te leiden, hoe op grond van bepaalde kenmerken van een reservedeel een praktische bevoorradingsstrategie is te bepalen. [Par. 4.4.2]

5.2 Aanbevelingen

Op grond van het onderzoek kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan.

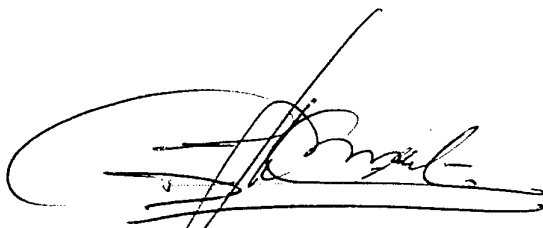
- Diverse aanbevelingen volgen rechtstreeks uit de conclusies:
 - Hanteer het in dit rapport beschreven spreadsheet-model ter ondersteuning van de beslissing om een defect reservedeel af te keuren dan wel te repareren.
 - Besteed bijzondere aandacht aan het inleveren van defecte reps. De ideeën om een snelle inlevering te bewerkstelligen moeten daarvoor nader worden uitgewerkt.
 - Bestuur de nieuw op te zetten kringloop met behulp van de in dit rapport bepaalde 'kosten-optimale' voorraadregels in plaats van de huidige DR- of CVBKL-regels.
 - Hanteer het in dit rapport beschreven (spreadsheet-)model bij de initiële keuze om een reservedeel als verbruiksartikel of reparabel te kwalificeren.
 - Stel een kringloopbeheerder aan die integraal verantwoordelijk is voor de besturing van de kringloop en in het bijzonder de niveaus en hoeveelheden voor reparatie, aanschaffing en aanvulling van decentrale voorraden bepaalt.
 - Ga na of er operationele bezwaren zijn om de eis van 30 dagen oorlogsvoorraden te beschouwen als een eis aan de landelijke voorraad, zonder een nadere verdeling over lokaties. Indien er geen bezwaren zijn kan een kostenbesparing worden bereikt door voorraadmiveaus aan te passen. Deze mogelijkheid geldt ook voor verbruiksartikelen.

- Maak een afweging tussen het belang van servicegraad en kosten, om op grond daarvan te kiezen tussen sturing van het reparatieproces op vraag of aanbod.
- Het beschreven besturingsmodel, de prestatie-indicatoren en het simulatiemodel kunnen gebruikt worden bij verdere analyse van de besturing van de kringloop en het vormgeven van besturing in de praktijk. Aanbevolen wordt de modellen en resultaten ter beschikking te stellen van degenen die de kringloop nader vorm moeten geven.
- Bij eventuele invoering van de ideeën uit dit onderzoek in de praktijk, dient men te beseffen dat op bepaalde gebieden vereenvoudigingen zijn aangebracht en aannames zijn gedaan. Nader onderzoek lijkt daarom gewenst, voorafgaand aan implementatie. Het gaat concreet om de volgende punten:
 - De bepaling van veiligheidsvoorraden in een situatie waarin vraag, uitval en doorlooptijden van processen als stochastisch worden beschouwd.
 - Aannames en gehanteerde rekenwijzen bij het bepalen van integrale kosten van (deels indirecte) processen in de kringloop en voorraadkosten moeten geverifieerd worden, waarbij bezien moet worden in hoeverre ze in lijn zijn met de calculatie-methoden die de KL hanteert.
 - Transportkosten zijn tot nu toe volledig buiten de berekeningen gehouden.
 - Uitgegaan is van een 'steady-state' situatie, waarbij geen op- of afbouw van voorraden plaatsvindt en historische gegevens beschikbaar zijn. Nader aandacht moet worden besteed aan de initiële behoeftetestelling van repareerbare reservedelen en de geleidelijke afstoting.
- De vastgestelde gegevensbehoefte bij de besturing en de voorgestelde prestatie-indicatoren kunnen als basis dienen bij het opzetten of aanpassen van informatiesystemen die de besturing van de kringloop moeten gaan ondersteunen.

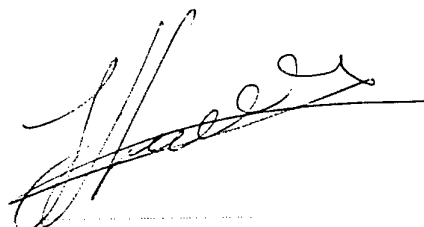
6 Literatuur

- [1] DMKL/LOG/Sectie ondersteunende systemen, *Werkinstructie centrale voorraadbeheersing Koninklijke Landmacht*, 1 juli 1992.
- [2] DMKL/Matdnst/Sectie Voorraadbeheersing, *Aanwijzing Directe Ruil*, versie 1 maart 1993.
- [3] Geurts, J.H.J., *Iets over Voorraadbeheersing*, college-dictaat Technische Universiteit Eindhoven, 1984.
- [4] Hontelez, Ir. J.A.M., G.D. Klein Baltink, Ir P.J.G. Verhaegh, *Integrale besturingsconcepten repareerbare reservedelen Koninklijke Landmacht*, TNO-rapport FEL-94-A314, november 1994.
- [5] Mechanisch Centrale Werkplaats, afdeling Control, *Voorcalculatorische Kosten Verdeelstaat 1995*, december 1994.
- [6] Eppen, Gary D. & R. Kipp Martin, *Determining safety stock in the presence of stochastic lead time and demand*, Management Science, Vol.34, 11, 1380-1390, november 1988.
- [7] Feller, William, *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*, John Wiley & Sons, Inc., new York, 1957.
- [8] Wagner, Harvey M., *Principles of Operations Research*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1975.

7 Ondertekening



G.D. Klein Baltink
Groepsleider



Ir. J.A.M. Hontelez CPIM
Projectleider/Auteur

Bijlage A Voorraadregels huidige situatie

In deze bijlage worden de voorraadregels beschreven zoals die in de huidige situatie worden toegepast. Het gaat om enerzijds de regels voor de reps die met het voorraadbeheersingssysteem CVBKL worden bestuurd en anderzijds de voorraadregels van het Directe-Ruilsysteem (DR).

A.1 CVBKL rekenregels

De CVBKL-regels¹ voor de totale landelijke voorraad worden onderstaand toegelicht.

A.1.1 Berekening landelijke voorraden

De begrippen:

In onderstaande tabellen worden de begrippen toegelicht. De codes "Rxxx" verwijzen naar rubrieken in het CVBKL.

Voorraden

Begrip	Betekenis	CVBKL code
LAWAVO	landelijke waarschuwingsvoorraad: voorraad, waarop een advies wordt gegenereerd om bij te bestellen	R47
LAMIVO	landelijke minimum voorraad: minimaal aanwezige voorraad (voor het geval een oorlogssituatie zich zou voordoen)	R46
Veiligheidsvoorraad	voorraad voor het opvangen van afwijkingen in de normgetallen waarop de voorraadberekening is gebaseerd.	R141
'Oorlogsvoorraad'	zie LAMIVO	R46
Overbruggingsvoorraad	voorraad ter overbrugging van verbruik gedurende de periode tussen het ontstaan van een besteladvies en het beschikbaar komen van de bestelling	R142
Vervangingsbehoefte	hoeveelheid om behoefte gedurende bestelinterval te dekken, afhankelijk van verbruik en bestelinterval	R145
Voorraad landelijk bruto	aanwezige voorraad, zowel voorraad op een bepaalde lokatie, voorraad in spreiding en voorraad van equivalente artikelen	R110
Te verwachten retouren	aantallen te repareren reservedelen, waarvoor nog geen opdracht aan het betreffende reparatiebedrijf is gegeven	R151
Nog te ontvangen bruto	hoeveelheden van een artikel, die in bestelling zijn of waarvoor toestemming is om te bestellen	R150
Beschikbaar	voorraad plus bekende (mogelijke) ontvangsten	R152

¹ De beschrijving in deze bijlage is gebaseerd op [1].

Overige begrippen:

Begrip	Betekenis	CVBKL code
FOR	factor oorlogsreserve, factor die het verband tussen gebruik in oorlogs- en vreedstijd aangeeft, vaak op 4 gesteld	R25
Verbruik	spreekt voor zich	div.
Besteltijd (in maanden)	som van doorlooptijd interne verwerking besteladvies, ordervoorbereidingstijd (offertes beoordelen, etc.) en levering, keuring en verwerking: tijd vanaf besteladvies tot daadwerkelijk beschikbaar komen.	div.
Bestelinterval	berekend interval voor bestellingen, niet als daadwerkelijk te hanteren interval, maar voor het bepalen van de behoefte aan artikelen	R38, R149

Toelichting:

Niet met name genoemd zijn hier reserveringen, verplichtingen die een beslag leggen op de voorraad, maar die nog niet feitelijk verbruikt zijn. Een berekende bestelbehoefte wordt hiervoor gecorrigeerd.

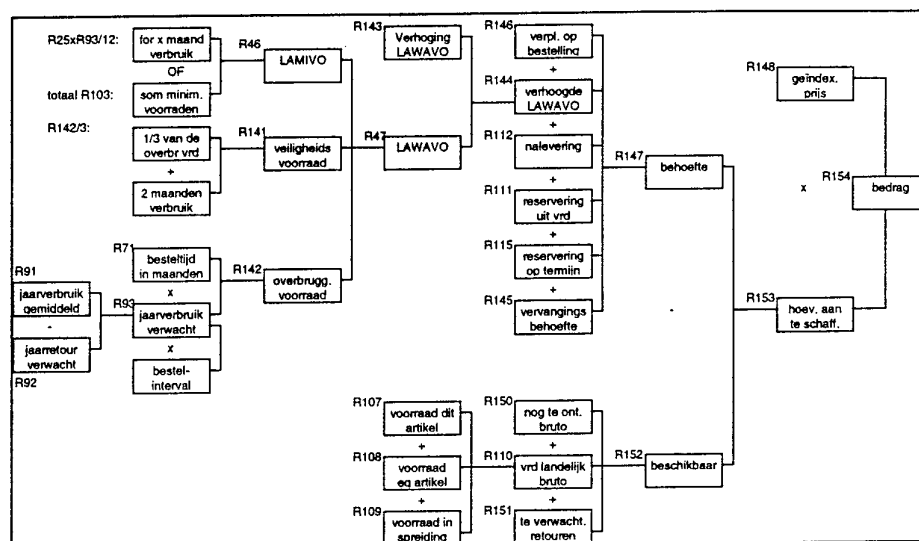
Besteltijden zijn gebaseerd op normtijden voor de genoemde deeltrajecten, die variëren met het verwervingskanaal. De ondergrens is 5 1/3 maand. Mogelijk zijn de doorlooptijden voor de verwerving door DMKL zelf iets sneller.

Het bestelinterval is de periode waarvoor een te bestellen hoeveelheid in het verwachte verbruik moet voorzien. Dit wordt bepaald door het verwervingskanaal (R38), de omzetwaardegroep (R149) en de drie laatste jaarverbruiken. Bij de verwervingskanalen A (Amerika), B (Bundeswehr) en N (Namsa) ligt het bestelinterval vast op resp. 1/2, 1 en 1/2 jaar. Voor kanaal Z (door DMKL zelf verworven) volgt eerst een onderverdeling in vier groepen op basis van omzetwaarde (de geldende prijs maal het verwacht jaarverbruik). Vervolgens vindt binnen zo'n groep een berekening plaats, waarin het hoogste en het laagste jaarverbruik gedurende de laatste drie jaar worden vergeleken, en wordt op basis van die vergelijking een bestelinterval van tenminste 1 1/2 en ten hoogste 10 jaar verkregen. Een artikel krijgt zo een lang bestelinterval naarmate het goedkoper is en de spreiding in verbruik minder wordt.

Te verwachte retouren worden niet door het systeem gegenereerd, maar ingegeven door de bevo-analist. Zolang defecte artikelen echter niet op de Verzamelplaats zijn geclassificeerd bevinden zij zich buiten het blikveld van de bevo-analist.

De berekeningen van de landelijke voorraden

(Zie onderstaande schema in figuur A.1).



Figuur A.1: Rekenregels voorraden CVBKL

LAMIVO = Maandverbruik * FOR
 OverbrVoorr = Maandverbruik * Besteltijd
 Veil.Voorr =
 kanaal A of N: $\frac{1}{3} * \text{Overbr.Voorr}$
 kanaal B: $\frac{1}{3} * \text{OverbrVoorr} + \text{Verwacht Verbruik 6 maanden}$
 overig: $\frac{1}{3} * \text{OverbrVoorr} + \text{Verwacht Verbruik 2 maanden}$
 LAWAVO = LAMIVO + OverbrVoorr + Veil.Voorr
 Verv.Beh. = Jaarverbruik * Bestelinterval
 Behoefte = LAWAVO + Verv.Beh. (+ aangevuld met reserveringen)
 Beschikbaar = Voorraad landelijk bruto + Nog te ontvangen bruto + Te verwachten retouren
 Hoev aan te schaffen = Behoefte - Beschikbaar

Het landelijke voorraadniveau wordt continu bewaakt. De te bestellen hoeveelheid varieert, afhankelijk van verschillende bovengenoemde factoren. De bevoorradingsstrategie is dus BS.

A.1.2 Berekening lokale voorraden

Op lokaal niveau is het iets eenvoudiger. Het 'lokale niveau' is niet de gebruiker van reservedelen, maar zijn DSE (direct steunende eenheid). Hier spelen een rol: MIVO, minimum voorraad; WAVO, waarschuwingsvoorraad; MAVO, maximum voorraad.

Zodra de waarschuwingsvoorraad wordt onderschreden ontstaat een spreidingsopdracht. De hoeveelheid die verstrekt wordt is zodanig dat het maximum niveau wordt bereikt. Er geldt dus een BS strategie.

MIVO = $\text{FOR} * \text{aantal dagen minimum voorraad} * \text{gem. dagverbruik}$
WAVO = $\text{MIVO} + \text{aantal dagen aanvoertijd} * \text{gem. dagverbruik}$
MAVO = $\text{WAVO} + \text{aantal dagen werkvoorraad} * \text{gem. dagverbruik}$

Verbruik betreft hier alleen het reguliere verbruik. Incidenteel verbruik wordt buiten de berekening van voorraadniveaus gehouden.

A.1.3 CVBKL en repareerbare reservedelen

Repareerbare reservedelen worden in het CVBKL als verbruiksdelen behandeld. Overbruggingsvoorraden zijn dan ook gebaseerd op de 'besteltijd' (tijd voor aanschaffen bij externe leverancier) in plaats van de veel kortere reparatietijd. Dit leidt tot te grote voorraden. Het is op zich wel logisch om een aparte overbruggingsvoorraad met besteltijd te berekenen, maar dan moet gerekend worden met afgekeurde reservedelen. Dit gegeven wordt echter niet in het CVBKL bijgehouden.

Het CVBKL is niet geëquipeerd voor de speciale eisen voor het beheersen van repareerbare reservedelen. Verbruiken betekent voor het CVBKL dat een item verdwenen is. De aanwezige voorraad te herstellen reservedelen kan weliswaar worden ingevoerd, maar pas na tussenkomst van de bevo-analist. Daaraan voorafgaand moet een defect reservedeel zijn ingeleverd door de gebruikende eenheid en zijn geclassificeerd op de Verzamelplaats. Er zijn voor deze activiteiten geen 'triggers' ingebouwd. De retourstroom is dus niet beheerst.

Verder is opmerkelijk dat vaste 'bestelkosten' en voorraadkosten geen rol spelen bij de het bepalen van de vervangingsbehoefte. Via een omweg wordt bewerkstelligd dat dure artikelen met een grote spreiding in gebruik frequenter worden besteld dan goedkopere met een lagere spreiding. Veel zuiverder is om optimale bestelgrootten te berekenen met gebruikmaking van prijs, rentekosten, bestelkosten en vraag. Spreiding in verbruik kan beter in het bestelniveau worden verdisconteerd, dan in de bestelgrootte.

A.2 Directe ruil rekenregels

In deze paragraaf worden de directe ruil rekenregels² weergegeven, waarbij achtereenvolgens de gebruikte gegevens en de berekening van voorraadhoogten, landelijk en per lokatie, aan de orde komen. Ter afsluiting worden enkele kanttekeningen geplaatst.

A.2.1 Gegevens

De gebruikte gegevens zijn onder te verdelen in:

1. vaste gegevens kenmerkend voor het betreffende reservedeel;
2. planningsgegevens van het materieel waar het reservedeel deel van uitmaakt;
3. historische gegevens over het gebruik van het reservedeel.

ad 1) Vaste gegevens

Onafhankelijk van voorraden, gebruik, etc. worden vastgesteld:

T	=	aantal jaren dat vooruit wordt gekeken, met name van belang voor het nieuw aanschaffen.
OIF	=	oologsintensiteitsfactor, maat voor intensiever verbruik in oorlogssituatie.
α	=	doorlooptijd herstelproces, opgebouwd uit
	t1	van gebruiker naar centraal directe ruil punt;
	t2	van directe ruil punt naar reparatie-werkplaats;
	t3	doorlooptijd voor inboeken;
	t4	doorlooptijd voor opbouw gewenste seriegrootte;
	t5	doorlooptijd herstelproces;
	t6	van reparatiepunt naar verstrekingsdepot.

ad 2) Materieel planningsgegevens

Gebruik van reservedelen ontstaat door gebruik van uitrustingsstukken. Men spreekt van:

VVT	=	vredes verzorgingstotaal, aantal uitrustingsstukken waarmee in vreedetijd wordt geoefend.
OVT	=	oorlogsverzorgingstotaal, aantal uitrustingsstukken, waarvan in oorlogstijd gebruik wordt gemaakt.

Toekomstige verzorgingstotalen zijn voor een aantal jaren geschat. Op basis hiervan wordt verwacht verbruik van reservedelen in de toekomst voorspeld.

ad 3) Historische gebruiksgegevens

Van belang zijn de volgende gegevens:

tr(x)	=	totaal aantal ruilingen in jaar (x); (x) ligt in het verleden.
ohv(x)	=	totaal aantal onherstelbaar verklaringen in jaar (x); (x) ligt in het verleden.

² De beschrijving in deze bijlage is gebaseerd op [2].

δ_{tr} = spreiding in totale ruil, gedurende de genormeerde maximale doorlooptijd voor reparatie.

Verder wordt berekend:

U_{per} = uitvalpercentage, berekend als uitval ($ohv(x)$) gedeeld door totaal verbruik ($tr(x)$) over alle nog bekende jaren uit het verleden.

A.2.2 Berekeningen landelijke voorraadhoogte

De totale voorraadhoogte bestaat uit:

1. behoefte voor noodsituaties, de voorraad gebruiksgereede DR-artikelen;
2. behoefte voor overbruggen reparatietermijn, de voorraad dekking voor defecte DR-artikelen;
3. behoefte voor overbruggen externe bestellingen, de voorraad uitvaldekking.

ad 1) Behoeft voor noodsituaties

Voor noodsituaties moet standaard dertig dagen voorraad aanwezig zijn. Daarbij wordt rekening gehouden met een hoger verbruik van reservedelen in de omstandigheden van een noodsituatie. De term 'voorraad gebruiksgereede DR-artikelen' impliceert dat de betreffende voorraad te allen tijde gebruiksgereed aanwezig moet zijn. De berekening gaat als volgt:

VUD = vredesverbruik *per uitrustingsstuk* per dag;
 = functie van verbruik, $tr(x)$, over aanwezige uitrustingsstukken in vredetijd, VVT.
 OUD = oorlogsverbruik per uitrustingsstuk per dag, uitgaande van intensiever gebruik in oorlog;
 = $OIF * VUD$
 OD = oorlogsverbruik per dag;
 = $OUD * OVT$
 $n(x)$ = oorlogsbehoefte, behoefte voor 30 dagen oorlogsverbruik;
 = $OD * 30$

ad 2) Dekking voor defecte (te repareren) artikelen

Een extra behoefte aan voorraad ontstaat doordat defecte reservedelen pas na enige tijd weer beschikbaar komen voor gebruik. Voor de vraag gedurende deze periode is de voorraad dekking voor defecte DR-artikelen aanwezig. Berekend wordt het verwachte aantal ruilingen, met gebruikmaking van de geplande toekomstige verzorgingstotalen en de op historische gegevens gebaseerde relatie tussen verzorgingstotaal (VVT) en totale ruilingen ($tr(x)$).

$tr(x,x)$ = schatting, op moment x van ruilingen in toekomstige periode.

De doorlooptijden van de verschillende deeltrajecten van de keten liggen vast behalve t_4 , de doorlooptijd voor opbouw van de gewenste seriegrootte. Hiervoor moet eerst bepaald worden:

seriegrootte = seriegrootte bij reparatieproces

De wijze van vaststelling van de seriegrootte is niet bekend. Met de op enigerlei wijze vastgestelde seriegrootte en de verwachte ruilingen wordt de wachttijd, t_4 , berekend. Nu is vast te stellen:

Max α = genormeerde maximum doorlooptijd van het gehele reparatieproces.
 MaxVH2= norm voor maximum aantal artikelen in reparatieproces, de 'reservevoorraad' om de doorlooptijd van reparatie op te vangen;
 = functie van maximale doorlooptijd reparatieproces, en ruil gedurende doorlooptijd;
 = $tr(x,x) * \text{Max } \alpha$

ad 3) dekking voor uitval

Gegeven het uitvalpercentage, U_{per} , wordt berekend:

VVV = Vredes Vervangings Voorraad;
 = verwachte ruil over T periodes, maal gemiddelde uitval (U_{per}) op basis van historische gegevens;
 = $(tr(x,x) + \dots + tr(x,x+T)) * U_{per}$
 (het zou kunnen dat T bewust gelijk aan de doorlooptijd van het bestellen wordt gekozen).

Totaaltellingen

tb = totale behoefte;
 = oorlogsreserve plus compensatie voor doorlooptijd reparatieproces plus compensatie voor doorlooptijd nieuw aanschaffen;
 = $n(x) + \text{MaxVH2} + \text{VVV}$.

A.2.3 Lokale voorraadniveaus

Decentraal

De voorraad op gebruikslokaties, direct steunende eenheden en materiaalbevoorraderscompagnieën is gelijk aan de voorraad voor noodsituaties, de zg. 'oorlogsvoorraad'. Deze is als volgt verdeeld:

- 2 dagen 'oorlogsvoorraad' bij gebruikende eenheden
- 4 dagen 'oorlogsvoorraad' bij direct steunende eenheden
- 6 dagen 'oorlogsvoorraad' bij materiaal bevoorraderscompagnieën

Door het systeem van ruiling is altijd in zeer korte tijd de voorraad weer aangevuld. Deze eenheden tasten dus wel hun oorlogsvoorraad aan. De overige 18 dagen voorraad ligt op centraal niveau.

Centraal

• Reparatieketen

De voorraad die zich in de reparatieketen bevindt ligt vast door verwachte ruilingen en de genormeerde doorlooptijd van het reparatieproces. Dit is de eerder genoemde MaxVH2. Ter controle wordt nog bijgehouden de actuele VH2-waarde, zijnde de werkelijke voorraad in de reparatieketen op een bepaald moment.

- **Centrale Directe Ruil Punt (CDRP)**

Voor het CDRP geldt een minimaal aanwezige voorraad, gedefinieerd als,

$$\begin{aligned}
 \text{minVH1} &= \text{minimum aanwezige voorraad op Centrale Directe Ruil Punt} \\
 &= \text{voorraad waarmee in de maximale vraag tijdens reparatie voorzien kan worden;} \\
 &= \text{aantal ruilingen gedurende doorlooptijd plus reserve voor spreiding in aantal ruilingen;} \\
 &= \text{tr}(x,x) * \text{Max } \alpha + \delta_{tr} * \sqrt{\text{Max } \alpha}
 \end{aligned}$$

- **Centrale Depot**

Resterende voorraad kan liggen op het centrale depot. Er geldt geen minimum of maximum waarde voor de aanwezige voorraad.

A.2.4 Kanttekeningen

Bij het berekenen van de MaxVH2 maakt men gebruik van het totaal aantal ruilingen ($\text{tr}(x,x)$). De suggestie ontstaat dat alle ruilingen gecompenseerd moeten worden door reparatie. Feitelijk zal de uitval opgevangen worden door aanschaf van nieuwe reservedelen. Men zou in de MaxVH2 de term 'totale ruil' hiervoor kunnen corrigeren.

De doorlooptijd voor opbouw van de seriegrootte is de verwachte wachttijd op alle reservedelen in de serie. In feite moet hier het eerste reservedeel van worden afgetrokken. Immers, zolang er geen ruilingen zijn, hoeft er ook geen voorraad aanwezig te zijn om het reparatieproces te compenseren.

Bij de vredesvervangingsvoorraad (VVV) wordt gerekend met de uitval over een bepaalde periode, (in het voorbeeld 2 jaar) die, hopelijk niet toevallig, gelijk is aan de doorlooptijd van de externe bestellingen (OTA/BO-fase plus levertijd). Dit kan te maken hebben met het feit dat de totale voorraad niet doorlopend, maar periodiek wordt beschouwd. Het blijft echter vreemd dat niet deze doorlooptijd als variabele in de formule is opgenomen.

In het voorbeeld blijft onduidelijk hoe de 'economische seriegrootte' voor reparatie wordt bepaald. Het is vreemd dat deze als gegeven voor de gehele toekomst wordt genomen en onafhankelijk is van verwachte ruilingen.

Bijlage B Mathematisch model voor de voorraadregels voor het kringloopproces

In deze bijlage wordt een theoretisch kader gegeven voor de bepaling van de voorraadstrategieën voor het kringloopproces volgens het principe van kostenafweging. De mathematische afleiding leidt tot een methode voor kostenoptimale bepaling van de voorraadregels. Een aantal vereenvoudigingen en aannames zijn meegenomen, waardoor weliswaar afwijkingen ten opzichte van de praktijk ontstaan, maar de kern van de problematiek duidelijker wordt. Het theoretisch model dat hier beschreven wordt, kan voor verder onderzoek gebruikt worden en getoetst worden aan de praktijk om te komen tot een implementatie van het nieuwe bestuursconcept. De regels die hier zijn afgeleid, zijn algemeen geldend en kunnen als richtlijn gebruikt worden.

Allereerst wordt kort beschreven op welke wijze een voorraadstrategie gekarakteriseerd wordt en welke in het algemeen verschillende typen van strategieën kunnen worden onderscheiden (B.1). Vervolgens wordt de algemene afleiding gegeven van de bepaling van een kosten-optimale voorraadregel bij een enkel voorraadpunt (B.2). Daarna wordt op basis van deze algemene theorie het model ontwikkeld voor de kringloop van repareerbare reservedelen (B.3). Het resultaat betreft een algemeen model waarmee de verschillende voorraadniveaus kunnen worden berekend.

B.1 Voorraadstrategieën

Bevoorradsingsstrategieën kan men karakteriseren aan de hand van twee vragen:

- Wanneer bestellen; op vaste (periodieke) of variabele tijdstippen?
- Hoeveel bestellen; vaste of variabele hoeveelheid?

Uit de beantwoording van de vragen ontstaan vier strategieën:

Wanneer	Hoeveel	Strategie
Variabel	Vast	BQ
Variabel	Variabel	BS
Vast	Vast	sQ
Vast	Variabel	sS

B = bestelniveau

s = voorraadniveau (stock)

Q = quantity, te bestellen hoeveelheid

S = stock, maximaal toelaatbare hoeveelheid

De aanleiding om te bestellen is steeds dat de voorraad beneden een bepaald niveau is gedaald. Wanneer het voorraadverloop continu bewaakt wordt, bemerkt men ogenblikkelijk wanneer dit het geval is en kan dan tot bestelling overgaan. Het bestelmoment is dan variabel, namelijk het moment dat de voorraad tot onder niveau 'B' is gedaald. Met de huidige geautomatiseerde systemen is continue

In deze bijlage wordt een model voor de kringloop uitgewerkt volgens (B,Q)-voorraadregels. Op analoge wijze kan echter een model worden ontwikkeld met andere typen voorraadstrategieën. Voor het begrip en het principe van de voorraadbesturing maakt de keuze van een bepaalde bestelstrategie niets uit. Centraal

staat het principe van kostenafweging, dat moet leiden tot kosten-optimale voorraadregels. Indien bij uiteindelijke implementatie blijkt dat op bepaalde plaatsen voor een andere voorraadstrategie gekozen wordt, dan kan de afleiding herhaald worden voor de betreffende strategie.

Literatuur:

Bovenstaande is algemene voorraadtheorie en is in alle bekende literatuur beschreven. Voorbeelden hiervan zijn:

Geurts [3], Eppen[6], Feller[7] en Wagner[8].

B.2 Bepaling van de parameters van een (B,Q)-voorraadstrategie

Deze paragraaf beschrijft op welke wijze de waarden B en Q bepaald kunnen worden. De (B,Q)-strategie zal namelijk gehanteerd worden voor alle voorraden in de kringloop. Voor een overzicht van literatuur wordt verwezen naar paragraaf B.1.

B.2.1 Notaties

Onderstaande gegevens en bijbehorende notaties zijn benodigd om de B en Q-waarde te bepalen. Zij gegeven:

X	de vraag per tijdseenheid
μ_X	de gemiddelde vraag per tijdseenheid
σ_X	de standaarddeviatie in de vraag per tijdseenheid
L	de levertijd (hiermee wordt bedoeld de periode vanaf het moment dat de bestelprocedure van start gaat tot aan het moment dat de aangeschafte artikelen op voorraad liggen en gereed zijn voor uitgifte)
p	de nieuwprijs van een aangeschaft artikel
r	de fractie van de nieuwprijs van het gedurende een tijdseenheid op voorraad hebben van een artikel.
K	de bestelkosten: de vaste kosten die optreden wanneer een bestelling wordt gedaan.

De twee te bepalen grootheden zijn:

Q	de bestelgrootte; deze waarde dient bepaald te worden
B	het bestelniveau; het economische voorraadniveau op het moment dat een bestelling dient plaats te vinden.

B.2.2 Bepaling van de bestelgrootte Q

Op basis van een kostenafweging kan de bestelgrootte Q worden vastgesteld.

Benodigde gegevens zijn de gemiddelde vraag per tijdseenheid, de kosten van op voorraad hebben van een reservedeel, de nieuwprijs en de bestelkosten. Hiermee zijn de totale voorraadbeheerskosten te berekenen.

De gemiddelde kosten per tijdseenheid zijn de som van:

- de nieuwprijs van per tijdseenheid aan te schaffen artikelen: $\mu_x * p$
- de vaste kosten per bestelling maal het gemiddelde aantal bestellingen per tijdseenheid: $\frac{\mu_x}{Q} * K$.
- de gemiddelde voorraadkosten per tijdseenheid: $B * p * r + \frac{1}{2} Q * p * r$

Zodat de kosten per tijdseenheid bij een bepaalde bestelgrootte $K(Q)$ zijn:

$$K(Q) = \mu_x * p + \frac{\mu_x}{Q} * K + B * p * r + \frac{1}{2} Q * p * r$$

Het minimum kan gevonden worden door deze functie naar Q te differentiëren en de afgeleide nul te stellen. Dit leidt tot de zogenaamde 'economic order quantity' (EOQ):

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 * \mu_x * K}{p * r}}$$

B.2.3 Bepaling van het bestelniveau B

Het probleem dat rest, is de bepaling van het niveau B . De voorraad B dient de vraag gedurende de levertijd op te vangen. Het niveau B bestaat uit een "gemiddelde" of verwachte vraag gedurende de levertijd en een veiligheidsvoorraad vv die onzekerheid in de vraag gedurende de levertijd moet kunnen opvangen:

$$B = L * \mu_x + vv$$

Probleem bij de tweede term is dat over het algemeen niet bekend is hoe groot de onzekerheid is. We geven hieronder de bepaling van deze grootheden die gebruikelijk is in de literatuur, wanneer weinig over de onzekerheid bekend is. De hoogte van het veiligheidsniveau hangt af van de kans die men accepteert, dat de voorraad niet toereikend is om aan de vraag naar reservedelen te voldoen gedurende de levertijd.

We definiëren daartoe:

$$\alpha = \text{de kans dat er tekorten ontstaan gedurende de levertijd}$$

Opgemerkt zij, dat $(1-\alpha)$ een maat voor de servicegraad is. In formulevorm wordt dit:

$$P(X_L > \mu_L + vv) < \alpha, \quad (B.2.1)$$

waarbij X_L de vraag gedurende levertijd is, en μ_L de gemiddelde vraag.

In het algemeen geldt, indien de verschillende vragen gedurende de levertijd onafhankelijk van elkaar zijn:

$$\begin{aligned}\mu_L &= L * \mu_X \\ \sigma_L^2 &= L * \sigma_X^2\end{aligned}$$

Hiermee kan formule (B.2.1) omgeschreven worden tot:

$$\begin{aligned}P\left[\left(\frac{X_L - \mu_L}{\sigma_L}\right) > \frac{vv}{\sigma_L}\right] < \alpha \\ \Leftrightarrow \\ P\left[\left(\frac{X_L - \mu_L}{\sigma_L}\right) > \frac{vv}{\sqrt{L} * \sigma_X}\right] < \alpha\end{aligned}$$

In de literatuur wordt om B te bepalen de volgende veronderstelling gedaan:

"X is normaal verdeeld met verwachting μ_X en variantie σ_X^2 ."

Daarmee is af te leiden dat $(X_L - \mu_L)/\sigma_L$ standaard normaal verdeeld is, d.w.z. dat de afwijking van het gemiddelde gedurende de besteltijd normaal verdeeld is met verwachting 0 en variantie $\sigma_L^2 = \sqrt{L} \sigma_X^2$. Met behulp van tabellen is bij een gegeven overschrijdingskans α de waarde $k(\alpha) = vv/\sigma_L$ te bepalen. Vaak wordt in dit geval vv aangeduid als:

$$vv = k(\alpha) * \sigma_L = k(\alpha) * \sqrt{L} * \sigma_X$$

Enkele waarden zijn van k als functie van α zijn in onderstaande tabel B.1 aangegeven.

α	percentage $\alpha * 100$	$vv/\sigma_L = vv / (\sqrt{L} * \sigma_X) = k$
0,1587	15,87	1,000
0,1	10	1,282
0,05	5	1,645
0,04	4	1,751
0,03	3	1,881
0,025	2,5	1,960
0,0228	2,28	2,000
0,02	2	2,054
0,01	1	2,327
0,005	0,5	2,576
0,0025	0,25	2,807
0,0013	0,13	3,000
0,001	0,1	3,090
0,0005	0,05	3,290

Tabel B.1: De veiligheidsfactor $k(\alpha)$ als functie van de stockout-kans α .

B.2.4 Resumé

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 * \mu_X * K}{p * r}}$$

$$B = L * \mu_X + vv = L * \mu_X + k(\alpha) * \sqrt{L} * \sigma_X$$

met $k(\alpha)$ zoals in tabel B.1 is aangegeven.

Deze waarden zijn correct indien de vraag normaal verdeeld is; in andere gevallen betreft dit een benadering. Er is enige literatuur bekend omtrent de correcte bepaling van de veiligheidsvoorraad indien de vraag niet normaal verdeeld is. Indien noodzakelijk, zou dit een punt van verder onderzoek kunnen zijn. In de praktijk blijkt echter vaak dat de benadering als "geschikt" kan worden aangemerkt.

B.3 Voorraadregels in de kringloop

In deze paragraaf wordt een theoretisch kader gegeven voor bepaling van de voorraadregels volgens het principe van kostenafweging, gebaseerd op de theorie uit de vorige twee paragrafen¹.

B.3.1 Probleemschets

De problematiek waar met voorraadregels een antwoord op moeten geven is de volgende:

- I. De aanschaf van nieuwe reps ter compensatie van uitval van onherstelbare reservedelen. Twee vragen dienen te worden beantwoord:
 - i) Hoeveel reps dienen per keer te worden aangeschaft?
 - ii) Wanneer dient een aanschaffing bij de leverancier of fabrikant plaats te vinden?
- II. De reparatie van ingeleverde herstelbare reps. Dezelfde vragen als bij I dienen hier te worden beantwoord:
 - i) Hoeveel reps dienen tegelijk te worden gerepareerd?
 - ii) Wanneer dient te worden gerepareerd?
- III. De spreidingsaanvragen van de lokale voorraadpunten om aanvulling van reps bij het depot. Ook hier dienen de volgende vragen beantwoord te worden:
 - i) Hoeveel reps dienen per keer te worden aangevuld?
 - ii) Wanneer dient te worden aangevuld?

Hierbij behoren de volgende sturingsparameters, die in de volgende paragraaf worden ingevuld.

- | | | | |
|---------|------------|---|---|
| I(i) | Q_{as} | = | de bestelgrootte per aanschaffing centraal bij de leverancier; |
| I(ii) | B_{as} | = | het voorraadniveau waarop aanschaffing bij de leverancier start; |
| II(i) | Q_r | = | de reparatie-seriegrootte; |
| II(ii) | B_r | = | het voorraadniveau waarbij reparatie moet aanvangen; |
| III(i) | Q_{av_i} | = | de bestelgrootte per aanvulling, bij elk decentrale voorraadpunt i ; |
| III(ii) | B_{av_i} | = | het voorraadniveau waarbij aanvulling bij decentraal voorraadpunt i nodig is. |

¹ In de vorige paragraaf is gesproken over bestellen en leveren. Van nu af zal om onderscheid te maken tussen verschillende voorraadpunten worden gesproken van aanschaffen, (opdracht geven tot) repareren en (decentraal) aanvullen.

B.3.2 Uitgangspunten

B.3.2.1 Algemene uitgangspunten

Uitgangspunt van het model is de beheersing van een enkel specifiek reservedeel. De afhankelijkheid tussen verschillende soorten reps in de vraag en uitval (onherstelbaar) wordt niet meegenomen; een andere benadering hiervoor zou kunnen zijn om per (wapen-)systeem de behoefte van reps te beschouwen, aangezien het uiteindelijke doel niet het streven van een bepaalde servicegraad van een reservedeel is, maar de beschikbaarheid van een (wapen-)systeem. Aanneمة is echter dat deze beschikbaarheidseis "vertaald" kan worden naar een bepaalde servicegraad van een enkel reservedeel en dat afhankelijkheid in de vraag naar de verschillende reps van een (wapen-)systeem verwaarloosbaar is.

De afleiding gaat in alle gevallen uit van de (B,Q)-voorraadstrategie (zie voorgaande paragrafen). Een (B,Q)-strategie geeft aan de aanschaf-, reparatie-, resp. aanvullings hoeveelheid (Q) en voorraadniveau (B) waarop die hoeveelheid Q dient te worden aangeschaft, gerepareerd of aangevuld. Voor een algemene afleiding van de waarden van B en Q wordt verwezen naar Bijlage B.2.

Een andere belangrijke aanname bij de bepaling van de verschillende waarden van de (B,Q)-strategie is een constante vraag in de tijd (de zogenaamde 'steady state' situatie). Indien de vraag verandert, kunnen nieuwe waarden worden bepaald volgens de formules die in deze paragraaf worden afgeleid. Het bijstellen van de verschillende niveaus is een dynamisch proces zijn. De bepaling van de vraag staat niet ter discussie in deze afleiding. Het moge echter duidelijk zijn dat een goede voorspelling van de verwachte vraag van groot belang is, en dat in de praktijk hiervoor eveneens regels afgeleid dienen te worden, gebruik makend van de historische gegevens en de verwachte veranderingen in de omstandigheden die de vraag bepalen.

De bepaling van de besturingsregels is gebaseerd op economische gronden. Dit vereist dat de kosten van de verschillende processen in het kringloopproces bekend zijn. Hierop wordt teruggekomen in paragraaf B.4. Verder is aangenomen dat de kosten van het op voorraad houden voor alle reps gelijk zijn, onafhankelijk van de vraag of het een gebruiksgereed of defect reservedeel betreft.

Vooraf moet nog worden opgemerkt dat oorlogsvoorraden buiten beschouwing zijn gelaten. Ook de afronding van berekende B's en Q's die voor gebruik in de praktijk nodig zal zijn komt hier niet aan de orde.

Tabel B.2 somt de verschillende uitgangspunten nogmaals op.

Tabel B.2 *Uitgangspunten bij voorraadregels*

Aannames	• geen afhankelijkheid in vraag naar verschillende reps • servicegraad rep is goede vertaling van beschikbaarheidseis wapensysteem • (B,Q)-strategie • steady state, d.w.z. geen op- of afbouw voorraden • kosten op voorraad houden onafhankelijk van toestand rep
Vereisten	• geëiste servicegraad is per rep is bekend • kosten bekend
Beperkingen	• voorraadregels hebben betrekking op één rep • oorlogsvoorraad buiten beschouwing

B.3.2.2 Notaties

In deze subparagraaf worden de notaties gegeven die gebruikt worden bij de afleiding. Hierbij wordt regelmatig over "tijdseenheid" gesproken. Van belang is dat alle variabelen uitgedrukt zijn in één en dezelfde tijdseenheid. In de praktijk zullen echter bepaalde gegevens per jaar zijn, andere gegevens wellicht per kwartaal, enz. Voor het gebruik van de formules dienen de variabelen vooraf te worden omgezet in dezelfde tijdseenheid.

Vraag naar reservedelen en uitval

X	=	De (totale, landelijke) vraag naar reservedelen per tijdseenheid.
μ_X	=	De gemiddelde vraag per tijdseenheid.
σ_X	=	De standaarddeviatie in de vraag per tijdseenheid.
f_U	=	De fractie van de reservedelen die niet meer te repareren is (uitval).
U	=	De uitval (onherstelbaar) per tijdseenheid; $U = f_U * X$.
μ_U	=	De gemiddelde uitval per tijdseenheid; $\mu_U = f_U * \mu_X$.
σ_U	=	De standaarddeviatie in de uitval per tijdseenheid; $\sigma_U = f_U * \sigma_X$.
r	=	De fractie van de nieuwprijs van het op voorraad hebben van een reservedeel gedurende één tijdseenheid (voorraadkosten).

Aanschaffen

K_{as}	=	De aanschafkosten: de vaste kosten die optreden wanneer een bestelling wordt gedaan. Dit zijn enerzijds vaste, administratieve kosten die bij de KL plaatsvinden t.g.v. het plaatsen van een order bij een leverancier (en zal veel lager uitvallen bij afroepcontracten dan bij "incidentele" orders), anderzijds kunnen dit (transport en handling) kosten zijn die een leverancier in rekening brengt.
p_{as}	=	De aanschafprijs van een nieuw reservedeel, ofwel de variabele aanschafkosten van een reservedeel.
T_{as}	=	De aanschaf tijd (besteltijd): de tijd vanaf het moment dat de aanschafprocedure in gang wordt gezet (het moment dat geconstateerd wordt dat het voorraadniveau zodanig is gedaald dat een

aanschaf dient plaats te gaan vinden) tot aan de ontvangst en beschikbaarstelling van de aangeschafte reservedelen.

Repareren

- K_r = De reparatiekosten: de vaste kosten die optreden wanneer een reparatieopdracht wordt uitgevoerd. Dit zijn de kosten voor de voorbereiding van het daadwerkelijk uitvoeren van de reparatie (administratieve handelingen, planning, en omstellen).
- p_r = De variabele kosten van een reparatie van een reservedeel.
- T_r = De reparatietijd: de tijd vanaf het moment dat de reparatieprocedure opgestart wordt tot aan het moment dat de reservedelen gerepareerd en weer beschikbaar zijn voor uitgifte. Impliciet wordt ervan uitgegaan dat de gehele batch van reservedelen die voor reparatie worden aangeboden op hetzelfde moment weer voor uitgifte gereed zijn.

Aanvullen

- $i=1, \dots, N=$ De verschillende lokale voorraadpunten, genummerd van 1 t/m N.
- X_i = De vraag naar reservedelen per tijdseenheid op decentraal voorraadpunt i . Opgemerkt zij dat $X = \sum_{i=1}^N X_i$.
- μ_{X_i} = De gemiddelde vraag per tijdseenheid bij decentraal voorraadpunt i ; er geldt: $\mu_X = \sum_{i=1}^N \mu_{X_i}$
- σ_{X_i} = De standaarddeviatie in de vraag per tijdseenheid bij decentraal voorraadpunt i . Er geldt: $\sigma_X^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_{X_i}^2$
- K_i = De aanvulkosten bij decentraal voorraadpunt i : de vaste kosten die optreden wanneer een spreidingsopdracht wordt gegenereerd, of een andersoortige aanvraag wordt ten behoeve van voorraadpunt i . Hieronder vallen administratiekosten en transportkosten.
- T_i = De tijd voor aanvulling bij voorraadpunt i : de tijd vanaf het moment dat de spreidingsopdracht of aanvraag gegenereerd wordt tot aan de ontvangst en gereedstelling voor uitgifte van de aangeleverde reservedelen.

B.3.3 Aanschaf van reservedelen ten gevolge van uitval

B.3.3.1 De bestelhoeveelheid bij aanschaffen van nieuwe reservedelen

Op basis van een kostenafweging kan de aanschafgrootte worden vastgesteld. De volgende kosten zijn relevant omdat zij de bestelhoeveelheid beïnvloeden:

- a) De aanschafkosten per tijdseenheid. Dit betreft de nieuwprijs van een reserve-deel maal het gemiddelde aantal dat per tijdseenheid uitvalt, en de vaste aanschafkosten per keer per tijdseenheid, afhankelijk van de aanschafgrootte:

$$\mu_U * p_{as} + \frac{\mu_U}{Q_{as}} * K_{as} \quad (B.3.3.1)$$

- b) De voorraadkosten per tijdseenheid ten gevolge van uitval van reservedelen. Aanneme is dat de omvang van de voorraad van de reservedelen in principe constant is. Ten gevolge van uitval is er naast de constante voorraad in de kringloop, *gemiddeld* $1/2 * Q_{as}$ extra aanwezig. De omvang van deze extra voorraadkosten hangt af van de bestelgrootte en dient in de kostenafweging voor bepaling van de bestelgrootte te worden meegenomen:

$$\frac{1}{2} Q_{as} * p_{as} * r \quad (B.3.3.2)$$

De som van bovenstaande is de kosten per tijdseenheid die afhankelijk zijn van de bestelgrootte:

$$\text{Kosten per tijdseenheid} = \frac{Q_{as}}{2} * p_{as} * r + \mu_U * p_{as} + \frac{\mu_U}{Q_{as}} * K_{as} \quad (B.3.3.3)$$

Minimale kosten treden op wanneer (analoog aan bijlage B.2):

$$\begin{aligned} Q_{as} &= \sqrt{\frac{2 * \mu_U * K_{as}}{p_{as} * r}} \\ &= \sqrt{\frac{2 * f_U * \mu_X * K_{as}}{p_{as} * r}} \end{aligned} \quad (B.3.3.4)$$

Dit is de zogenaamde "economic order quantity" (EOQ).

B.3.3.2 Het bestelniveau voor aanschaf van reservedelen

Het voorraadniveau op het moment van aanvullen dient de uitval tijdens de aanvultijd (besteltijd) op te vangen. In het algemeen bestaat dit niveau uit twee componenten (zie voor details de afleiding die in paragraaf B.2 is gegeven):

- a) de gemiddelde uitval gedurende de besteltijd:

$$T_{as} * \mu_U \quad (B.3.3.5)$$

- b) de veiligheidsvoorraad: de extra voorraad om onverwachte vraag gedurende de besteltijd op te vangen. Van deze onverwachte vraag zal een fractie f_a ook weer onherstelbaar zijn. Bij een gegeven overschrijdingskans α dat de uitval gedurende de besteltijd het voorraadniveau overschrijdt, wordt de veiligheidsvoorraad:

$$k(\alpha) * \sqrt{T_{as}} * \sigma_U \quad (B.3.3.6)$$

met $k(\alpha)$ de veiligheidsfactor; voor een tabel met de waarde van de veiligheidsfactor als functie van α , zie bijlage B.2.

Hiermee is het bestelniveau B_{as} in principe bepaald:

$$\begin{aligned} B_{as} &= T_{as} * \mu_U + k(\alpha) * \sqrt{T_{as}} * \sigma_U \\ &= T_{as} * f_U * \mu_X + k(\alpha) * \sqrt{T_{as}} * f_U * \sigma_X \end{aligned} \quad (B.3.3.7)$$

Het bestelniveau is steeds gerelateerd aan de economische voorraad (zie voor een nadere toelichting paragraaf B.1):

economische voorraad = *fysieke voorraad in de kringloop + uitstaande bestellingen bij de leverancier*

fysieke voorraad = *herstelbare defecten + gebruiksgereed*

Zij nu:

V_{totzu} de totale voorraad die initieel aangeschaft dient te worden voor de kringloop waarin de noodzakelijke voorraad ten gevolge van uitval nog niet is meegenomen (zie ook paragraaf B.3.6) en

$v(t)$ het (economisch) voorraadmiveau op elk tijdstip t , (B.3.3.8)

dan kan het bestelmoment op de volgende manieren worden weergegeven:

$$\begin{aligned} \text{Bestelmoment} &= (v(t) \leq V_{totzu} + B_{as}) \\ &= (\text{Uitval} = Q_{as}) \text{ (sinds vorige bestelling)} \end{aligned} \quad (B.3.3.9)$$

Opgemerkt zij, dat de formules uitgaan van een constant vraag- en uitvalpatroon, zodat in de praktijk de bepaling van B_{as} en V_{totzu} continu ("regelmatig") gedaan moet worden op basis van de laatste prognoses van de vraag naar reservedelen. Dientengevolge is de laatste beslissingsregel niet goed hanteerbaar.

B.3.4 Reparatie van reservedelen

B.3.4.1 De reparatie-seriegrootte

Op basis van een kostenafweging kan de reparatie-seriegrootte worden vastgesteld. De volgende kosten zijn relevant omdat zij worden beïnvloed door de seriegrootte:

- a) De reparatiekosten per tijdseenheid. Dit zijn de variabele kosten van reparatie van een reservedeel maal het gemiddelde aantal dat per tijdseenheid gerepareerd wordt, alsmede de vaste kosten per keer dat een reparatie-opdracht plaatsvindt per tijdseenheid:

$$(\mu_X - \mu_U) * p_r + \frac{(\mu_X - \mu_U)}{Q_r} * K_r \quad (B.3.4.1)$$

- b) De voorraadkosten per tijdseenheid voor de reservedelen die in de reparatiekringloop zitten, die vraag dienen op te vangen gedurende de reparatietijd (zie

ook aanname 4 in paragraaf B.3.2.1, waardoor de voorraadkosten van een defect reservedeel gelijk zijn aan de voorraadkosten van een gebruiksgereed reservedeel):

$$Q_r * p_{as} * r \quad (B.3.4.2)$$

De omvang van de voorraad van reservedelen in de cyclus is in principe constant op de fractie uitval na, die in de vorige paragraaf reeds is beschouwd.

Minimale kosten treden op wanneer (analoog aan paragraaf B.2):

$$\begin{aligned} Q_r &= \sqrt{\frac{(\mu_x - \mu_U) * K_r}{p_{as} * r}} \\ &= \sqrt{\frac{(1 - f_U) * \mu_x * K_r}{p_{as} * r}} \end{aligned} \quad (B.3.4.3)$$

Merk op dat hier in tegenstelling tot (B.3.3.4) de factor 2 is verdwenen, vanwege het feit dat defecte reservedelen ook voorraadkosten met zich meebrengen.

B.3.4.2 Het reparatieniveau

Het voorraadniveau van het moment van repareren dient de vraag tijdens de reparatietijd op te vangen. Een deel van deze vraag wordt opgevangen door het niveau dat in paragraaf B.3.3 is vastgesteld, te weten de reservedelen die niet meer te repareren zijn. Het andere deel van de vraag leidt tot inlevering van reservedelen die gerepareerd kunnen worden. Deze dienen tijdig gerepareerd te zijn. "Tijdig" kan aldus vertaald worden naar het reparatieniveau. Analoog aan subparagraaf B.3.3.2 kunnen we twee componenten onderscheiden:

- a) de gemiddelde vraag minus de uitval gedurende de reparatietijd:

$$T_r * (\mu_x - \mu_U) \quad (B.3.4.4)$$

- b) de veiligheidsvoorraad: de extra voorraad om onverwacht grote vraag gedurende de reparatietijd op te vangen. Bij een gegeven overschrijdingskans α dat de uitval gedurende de reparatietijd het voorraadniveau overschrijdt, wordt de veiligheidsvoorraad:

$$k(\alpha) * \sqrt{T_r} * (1 - f_U) * \sigma_x \quad (B.3.4.5)$$

met $k(\alpha)$ de veiligheidsfactor; voor een tabel met de waarde van de veiligheidsfactor als functie van α , zie paragraaf B.2.

Het reparatieniveau B_r is hiermee in principe bepaald:

$$B_r = T_r * (1 - f_U) * \mu_x + k(\alpha) * \sqrt{T_r} * (1 - f_U) * \sigma_x \quad (B.3.4.6)$$

In de praktijk kan echter verwarring ontstaan, aangezien ook een bestelling voor nieuw aan te schaffen reservedelen uit kan staan. Daarom dient het economisch landelijk voorraadniveau $v_{nd}(t)$ van niet-defecte reservedelen te worden bijgehouden:

economische voorraad niet-defecte of gebruiksgerede reservedelen

$$\begin{aligned}
 &= \text{totale landelijke fysieke voorraad gebruiksgerede reservedelen} \\
 &\quad (\text{inclusief de voorraden bij de decentrale voorraadpunten}) \\
 &+ \text{uitstaande reparatieorders} \\
 &+ \text{uitstaande bestellingen bij de leverancier}
 \end{aligned}$$

Het verschil met de economische voorraad die in subparagraaf B.3.3.2 is gehanteerd, zijn de defecte, herstelbare reservedelen ($v_d(t)$ geeft het aantal defecten op enig tijdstip t weer):

$$v_{nd}(t) = v(t) - v_d(t) \quad (B.3.4.7)$$

Indien dit voorraadniveau onder $B_r + B_{as}$ is gedaald, dient te worden gerepareerd:

$$\text{Reparatieniveau} = (v_{nd}(t) \leq B_r + B_{as}) \quad (B.3.4.8)$$

B.3.5 Aanvulling van reservedelen

Bij een decentraal voorraadpunt kan in principe op dezelfde wijze als in de vorige paragrafen is gedaan, de optimale spreidingseriegrootte bepaald worden. Evenzo kan worden bepaald het decentraal voorraadniveau dat de vraag dient op te vangen tijdens de levertijd van de spreiding.

B.3.5.1 Het niveau voor aanvulling op een decentraal punt i

Het (economisch) voorraadniveau van het moment van een spreidingsaanvraag (bestellen) dient de vraag op het decentrale voorraadpunt i op te vangen. Het bestelniveau B_{av_i} bestaat in het algemeen uit:

- a) de gemiddelde vraag gedurende de besteltijd:

$$T_i * \mu_{x_i} \quad (B.3.5.1)$$

- b) de veiligheidsvoorraad: de extra voorraad om onverwachte storingen en dus vraag naar reservedelen gedurende de besteltijd op te vangen. Bij een gegeven overschrijdingskans α dat de uitval gedurende de besteltijd het voorraadniveau overschrijdt, wordt de veiligheidsvoorraad:

$$k(\alpha) * \sqrt{T_i} * \sigma_{x_i} \quad (B.3.5.2)$$

met $k(\alpha)$ de veiligheidsfactor; voor een tabel met de waarde van de veiligheidsfactor als functie van α , zie paragraaf B.2.

Het aanvullingsniveau bij het decentraal punt i is aldus (economische voorraad):

$$B_{av_i} = T_i * \mu_{x_i} + k(\alpha) * \sqrt{T_i} * \sigma_{x_i} \quad (B.3.5.3)$$

B.3.5.2 De aanvulgrootte

Op basis van een kostenafweging kan de bestelgrootte van een spreiding worden vastgesteld. De volgende kostensoorten zijn afhankelijk van de spreidingsgrootte

Q_{av_i} :

- a) De (vaste) kosten per tijdseenheid van de spreidingsaanvragen. Dit betreffen de kosten die bij een (spreidings-) aanvraag optreden: handling, administratie en transportkosten. Dit zijn kosten onafhankelijk van de spreidingsgrootte (aannee) maar wel afhankelijk van het aantal malen dat per tijdseenheid een spreidingsaanvraag gemiddeld wordt geplaatst:

$$\frac{\mu_{x_i}}{Q_{av_i}} * K_i \quad (B.3.5.4)$$

- b) De voorraadkosten per tijdseenheid ten gevolge van de extra aan te schaffen reservedelen ten behoeve van de voorraad op het decentrale niveau. Daarvoor dient echter eerst een en ander van de voorraden vastgesteld te worden. In de vorige subparagrafen B.3.3 en B.3.4 zijn bestelniveaus vastgesteld ten behoeve van bestellen bij de leverancier en respectievelijk repareren op centraal niveau. Deze voorraad $B_{as} + B_r$ kan ook gedeeltelijk decentraal worden neergelegd. Zij nu:

$$Y := (B_{as} + B_r) - \sum_{i=1}^{i=N} B_{av_i} \quad (B.3.5.5)$$

Y is het "overschot" van de noodzakelijke voorraad die niet decentraal neergelegd is. Dit overschot kan ook negatief zijn. Bij een positief overschot zal dit in het algemeen centraal worden neergelegd. Indien Y negatief is, dan dient in ieder geval initieel meer reservedelen te worden aangeschaft om de optimale bestelniveaus B_{av_i} te realiseren. De kosten van het op voorraad houden (en dus initieel aanschaffen) van extra reservedelen ten gevolge van decentrale voorraden dienen evenredig naar verbruik over de verschillende decentrale voorraadpunten te worden verdeeld. Bij een spreidingsgrootte Q_{av_i} in het punt i zijn de gemiddelde voorraadkosten die aan dit decentraal punt dienen te worden toegerekend:

$$\text{Maximum} \left(\left[\frac{1}{2} Q_{av_i} - Y * \frac{\mu_{x_i}}{\mu_x} \right] * p_{as} * r, 0 \right) \quad (B.3.5.6)$$

Opgemerkt zijn dat deze uitdrukking ook correct is indien Y positief is, met dien verstande dat de uitdrukking nimmer kleiner dan 0 zal zijn.

De optimale spreidingsgrootte kan nu analoog aan paragraaf B.2 worden bepaald en leidt tot dezelfde formule:

$$Q_{av_i} = \sqrt{\frac{2 * \mu_{x_i} * K_i}{p_{as} * r}} \quad (B.3.5.7)$$

B.3.6 Initiële voorraad en kostenafwegingen met betrekking tot wel of niet repareren

In voorgaande subparagrafen zijn de verschillende niveaus en seriegroottes bepaald. Het uitgangspunt hierbij was dat reparatie plaats vindt bij het onderhoudsbedrijf van Koninklijke Landmacht, al dan niet uitbesteed aan het bedrijfsleven. Uit de berekening volgt een globale inschatting van de noodzakelijke initiële voorraad (V_{tot})

$$V_{totzu} = Q_r + \text{maximum} \left(\sum_{i=1}^{i=N} B_{av_i} + \frac{1}{2} Q_{av_i}, B_r \right) \quad (B.3.6.1)$$

$$V_{tot} = Q_{as} + V_{totzu} + B_{as} \quad (B.3.6.2)$$

De totale beheerskosten per tijdseenheid zijn eveneens nu bekend (zie subparagraaf B.3.2 t/m B.3.5):

Kosten per tijdseenheid =

$$\begin{aligned} &= (V_{tot} - \frac{1}{2} Q_{as}) * p_{as} * r \\ &+ f_U * \mu_X * \left(p_{as} + \frac{K_{as}}{Q_{as}} \right) \\ &+ (1 - f_U) * \mu_X * \left(p_r + \frac{K_r}{Q_r} \right) \\ &+ \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\mu_{X_i}}{Q_{av_i}} * K_i \end{aligned} \quad (B.3.6.3)$$

Voor de uitdrukkingen van de verschillende B - en Q -waarden wordt verwezen naar de voorgaande subparagrafen waarin deze zijn afgeleid.

De formules zoals hierboven gelden ook indien besloten wordt om niet te repareren, maar om elk defect artikel onmiddellijk af te keuren en diens gevolg alles aan te schaffen. Hierbij is dan de factor f_U gelijk aan de waarde 1. Dientengevolge zijn de B - en Q -waarden voor reparatie gelijk aan nul. De kosten die hieruit volgen kunnen dan vergeleken worden met de kosten wanneer wel gerepareerd wordt. De optie met de laagste kosten heeft dan economisch gezien de voorkeur.

Hiermee is in principe aangegeven op welke wijze op economische gronden bepaald kan worden of een bepaald type reservedeel wel of niet gerepareerd dient te worden. Door de beide kostenformules in te vullen met de gegevens voor het betreffende artikel, en door de prijs daarbij te variëren, kan de grens van de aanschafprijs worden vastgesteld waarboven het economisch lonend is om te repareren en waaronder het beter is geen reparatie uit te voeren maar het artikel gewoon als verbruiksartikel te voeren.

B.4 Samenvatting

In deze bijlage en met name in paragraaf B.3 zijn de voorraadbeheersingsparameters bepaald, zowel voor centraal als decentraal niveau. Dit is bepaald op basis van de aannames dat de vraag naar repareerbare reservedelen decentraal bekend is (d.m.v. verwachting en spreiding), alsmede het uitvalpercentage defecte onherstelbare reservedelen. Bovendien dienen handlingtijden en de kosten van bestellen en transport globaal bekend te zijn.

De economische voorraadniveaus zijn de belangrijkste sturingsparameters in de voorraadbeheersing van de reparatiecyclus. Zowel decentrale economische voorraden als centrale economische voorraad dienen te allen tijde middels het voorraadbeheersingssysteem voor de kringloopmanager bekend te zijn. Tevens dient de uitval real-time bekend te zijn. Een juiste up-to-date informatie van deze gegevens is essentieel voor een goede besturing.

Voorwaarden voor implementatie van deze beheersingsregels zijn:

- I. Het voorraadbeheersingssysteem dient de gegevens te kunnen leveren die benodigd zijn voor de in de vorige alinea genoemde sturingsvariabelen. Twee punten van aandacht zijn de betrouwbaarheid van de gegevens en de berekening van de voorspelling van de verwachte vraag en spreiding op elk decentraal voorraadpunt.
- II. De formules van de B en Q's zoals die in deze bijlage zijn afgeleid, dienen in het voorraadbeheersingssysteem te worden geïmplementeerd.
- III. De afleiding zoals hier gegeven, is een economisch optimale. Een aantal kostenposten dienen daartoe bekend te zijn en kunnen tevens dienen voor sturing van het kringloopproces ter verbetering van de efficiëntie:
 - i) transport-, handling en administratieve kosten bij spreidingen,
 - ii) voorraadkosten,
 - iii) vaste en variabele reparatiekosten,
 - iv) vaste bestelkosten van nieuw aan te schaffen reservedelen,
 - v) variabele bestelkosten (de prijs van een reservedeel).
- IV. Andere gegevens dan bovenstaande die bekend dienen te zijn, en eveneens secundaire prestatie-indicatoren van het kringloopproces zijn:
 - i) de aanschaf tijd,
 - ii) de reparatietijd,
 - iii) de aanvullingstijd van het depot aan de decentrale voorraadpunten.

Zoals reeds is aangegeven zijn de niveaus en seriegroottes, volgens bovenstaande formules berekend, sterk bepalend voor de totale kosten van de kringloop. Met dezelfde formules is het mogelijk niveaus en seriegroottes te bepalen voor een situatie waarin niet gerepareerd wordt, maar verbruikt. Hiermee is aangegeven op welke wijze een economische afweging gemaakt kan worden tussen het reservedeel repareren en het als verbruiksartikel in het bestand opnemen. In hoofdstuk 4.3 wordt hier nader op ingegaan; een rekenvoorbeeld staat in bijlage D.

Opmerkingen:

- Oorlogsvoorraden zijn niet in bovenstaande beschouwing meegenomen. Wanneer deze ook in de kringloop worden gebracht zal bij de gegeven voorraadregels de servicegraad zeker gehaald worden. In Hoofdstuk 4.3 is beschreven hoe op een gunstige manier van oorlogsvoorraden gebruik gemaakt kan worden.
- Op verschillende punten zijn de voorraadregels verder te verfijnen. Mogelijkheden zijn:
 - verschil in voorraadkosten decentraal en centraal;
 - kosten van handling en transport wel deels afhankelijk maken van de seriegrootte;
 - kosten in rekening brengen voor het geval decentraal niet uit voorraad geleverd kan worden;
 - extra kosten voor het geval slechts gedeeltelijk of geheel niet door het centrale depot geleverd kan worden.
- In de formules is op veel plaatsen gebruik gemaakt van gemiddelden. Nagegaan dient te worden of het veronderstelde gedrag zich bij kleine vraag en weinig decentrale lokaties in voldoende mate voordoet, of dat dan aanpassingen gewenst zijn.
- In de simulaties (zie bijlage C) wordt het verschil getoond tussen de hier bepaalde kosten-optimale voorraadregels en de DR-voorraadregels.

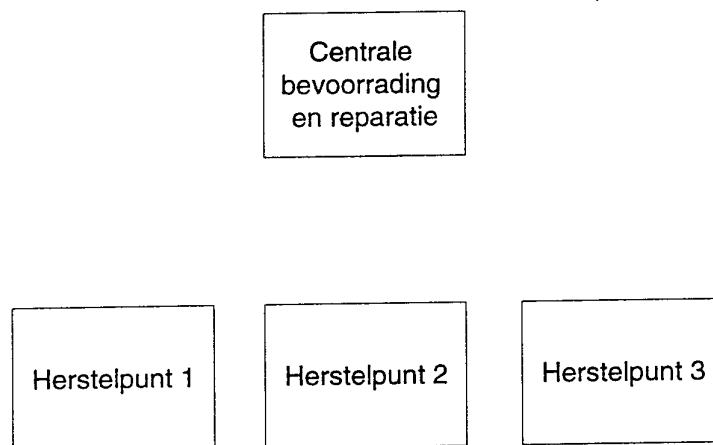
Bijlage C Beschrijving van het simulatiemodel, gegevens en resultaten

In deze bijlage wordt een beschrijving gegeven van het simulatiemodel van de kringloop van repareerbare reservedelen, dat in het simulatiepakket Taylor gemaakt is. Tevens worden de gebruikte gegevens voor simulatie en de (ruwe) resultaten van de simulatie-experimenten vermeld.

C.1 Modelbeschrijving

C.1.1 Bouwstenen binnen het simulatiemodel

Het model is opgebouwd uit vier clusters. Eén modelcluster representeert een centrale plaats waar de reparatie van reservedelen plaatsvindt (MCW/ECW) en tevens de centrale voorraden, zowel defect als gebruiksgereed liggen (Vzpl en Depot). De overige drie modelclusters representeren elk een lokatie waar uitrustingsstukken hersteld worden en waar defecte repareerbare reservedelen ontstaan.

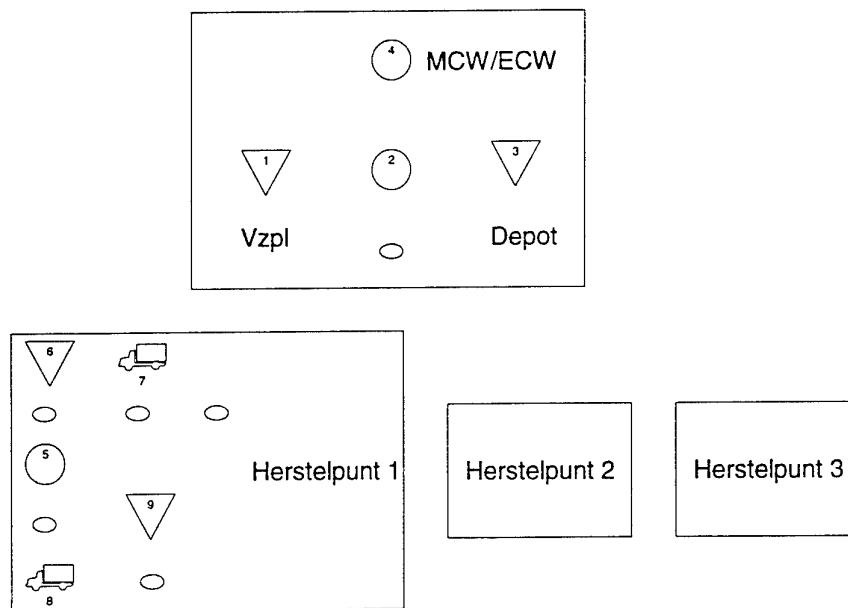


Figuur C.1.1: De modelclusters binnen het simulatiemodel

Iedere modelcluster bevat:

- zogenaamde *modelementen* die processen en voorraden uit de kringloop voorstellen;
- *sturingsparameters* die het simulatiemodel aansturen op grond van sturingsregels uit de kringloop.

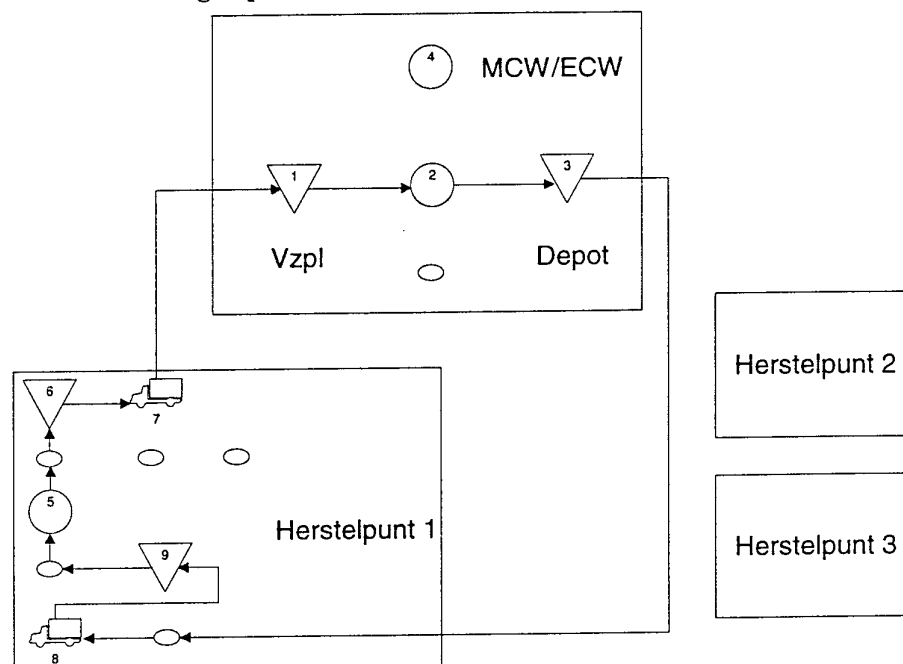
De modelementen staan genummerd weergegeven in figuur C.1.2. De elementen die als sturingsparameter worden gebruikt staan aangegeven door ongenummerde ellipsen. De betekenis van de genummerde elementen staat in de bijbehorende tabel weergegeven.



Nummer	Korte omschrijving
1	Voorraad defecte reservedelen bij de Vzpl
2	Reparatieproces bij de MCW/ECW
3	Voorraad gebruiksgereede reservedelen bij het Depot
4	Aanschaf van onherstelbaar verklaarde reservedelen
5	Herstel van uitrustingsstukken; genereert defecte repareerbare reservedelen
6	Voorraad defecte reservedelen bij het herstpunt
7	Transport van het herstpunt naar de Vzpl
8	Transport van het Depot naar het herstpunt
9	Voorraad gebruiksgereede reservedelen bij het herstpunt

Figuur C.1.2: De modelementen binnen het simulatiemodel

C.1.2 De kringloop reservedelen in het simulatiemodel



Figuur C.1.3: Schematische weergave van de kringloop binnen het simulatiemodel

Binnen het simulatiemodel wordt door de repareerbare reservedelen de volgende kringloop doorlopen:

Bij een herstpunt ontstaat bij het herstel van een uitrustingsstuk een defect reservedeel (5). Dit wordt vervoerd (7) naar de voorraad defecte reservedelen bij de Verzamelplaats (1) en op zeker moment verder getransporteerd naar de MCW/ECW (niet apart gemodelleerd). Na enige tijd wordt het reservedeel gerepareerd (2) en komt bij de voorraad gebruiksgereede reservedelen bij het depot (3). Wanneer er vraag naar reservedelen bij één van de herstpunten bestaat, wordt het reservedeel vervoerd (8) naar de voorraad gebruiksgereede reservedelen van het herstpunt (9).

C.1.3 Invoergegevens van het simulatiemodel

Voor de simulatie van de kringloop met behulp van het model dient een aantal gegevens te worden ingevoerd. De belangrijkste invoergegevens zijn:

1. gegevens over het defect raken van reservedelen (type verdeling en de bijbehorende parameters; per herstpunt aan te geven);
2. gegevens over de doorlooptijd van het reparatieproces;
3. gegevens over het aanschafproces (doorlooptijd en bestelstrategie);
4. gegevens over de centrale reparatiestrategie (seriegrootte en bestelniveau);
5. gegevens over de lokale bestelstrategie gehanteerd door de verschillende herstpunten.

Tijdens de simulatie genereert het model uitvoer die voor analyse-doeleinden gebruikt kan worden. De belangrijkste uitvoergegevens zijn:

1. gegevens over het voorraadverloop gebruiksgereede reservedelen; zowel centraal op het depot als bij de lokale herstelpunten,
2. gegevens over de totale hoeveelheid gebruiksgereede repareerbare reservedelen; de vergelijking van deze hoeveelheid met de oorlogsvoorraad is van belang;
3. het gerealiseerde aantal 'leveringen' (aanschaffen, repareren, aanvullen in een bepaalde serie).

Aan de hand van deze uitvoergegevens kunnen de verschillende alternatieven voor de besturing van de kringloop worden vergeleken.

C.2 Vereenvoudigingen

In het simulatiemodel is de werkelijkheid op een aantal punten vereenvoudigd weergegeven. Onderstaand worden de voornaamste vereenvoudigingen toegelicht, waarbij zal worden aangegeven of en in welke mate de uitkomsten een vertekening geven.

Vraagpatroon

De vraag is in het model opgenomen als normaal verdeeld. In werkelijkheid ontstaat de vraag deels volkomen toevallig uit correctief onderhoud en deels omdat bij preventief onderhoud, afhankelijk van de toestand, tot vervanging van reservedelen wordt overgegaan. Deze situatie is iets 'voorspelbaarder' dan de gehanteerde verdeling suggereert.

In de praktijk zal naast de vraag voortkomend uit preventief en correctief onderhoud nog een aparte vraag aanwezig zijn: vraag om extra voorraden in verband met oefeningen. Hoewel de totale vraag hierdoor niet groter wordt is dit een extra probleem in de bevoorrading, met negatieve gevolgen voor de servicegraad, dat hier buiten beschouwing blijft.

Gescheiden simulaties voor verschillende reservedelen

Per experiment wordt slechts één soort repareerbare reservedelen gesimuleerd. Het effect dat van dezelfde capaciteit gebruik gemaakt moet worden blijft achterwege (zie ook het volgende punt).

Capaciteit buiten beschouwing

De capaciteit voor reparaties wordt gebruikt voor verschillende repareerbare reservedelen en wellicht ook voor andere werkzaamheden. Het is mogelijk dat hierdoor wachttijd ontstaat. Dit effect is niet gemodelleerd. In het model is er steeds voldoende capaciteit. Wel zijn de gehanteerde doorlooptijden conform de huidige praktijk, waar wel sprake is van een beperkte capaciteit.

Twee niveaus voor bevoorrading

In het model is één centraal en één decentraal niveau opgenomen. Het laatste is te vergelijken met de DSE van een eenheid die repareerbare reservedelen gebruikt. Het traject van DSE tot gebruiker wordt niet gesimuleerd en dus zal de service die een gebruiker ervaart ongunstiger zijn dan uit de model-uitkomsten naar voren komt.

Drie decentrale lokaties

In het model is ervoor gekozen om met drie gebruikslokaties te werken. De totale vraag is als volgt over de lokaties verdeeld:

- lokatie 1: 1/8 deel van de vraag met aangepaste spreiding
- lokatie 2: 1/8 deel van de vraag met aangepaste spreiding
- lokatie 3: 6/8 deel van de vraag met aangepaste spreiding

Lokaties 1 en 2 worden geacht hiermee redelijk representatief te zijn voor lokaties in de praktijk. Lokatie 3 representeert alle overige lokaties waar gebruik van repareerbare reservedelen plaatsvindt. Het aantal van 8 gebruikslokaties voor reservedelen is arbitrair gekozen en niet onderzocht.

In de praktijk zal het bevoorraden van meerdere afzonderlijke lokaties tot iets slechtere resultaten leiden dan in het model. De instellingen van lokatie 3 zijn zo gekozen dat de gemiddeld aanwezige voorraad gelijk is aan wat er gemiddeld op zes lokaties zou liggen. De seriegrootte voor aanvulling is gelijk aan die van de overige lokaties. De bedoeling is dat lokaties 1 en 2 zo reëel mogelijke resultaten opleveren. Aan de uitkomsten van de lokatie 3 mag geen waarde worden gehecht.

Transport: dienstregeling

In het model is geen vertraging opgenomen voor transport tussen verschillende lokaties. Dit komt in de buurt van de situatie waarin volgens een dienstregeling dagelijks transport plaatsvindt. In de voorraadregels wordt wel uitgegaan van de overbrugging van één dag voor aanvulling. Het niet opnemen van een vertraging geeft een te gunstig beeld, maar de vertekening zal binnen de totale kringloop beperkt zijn, temeer daar anders ook in alle opties extra voorraad ingebracht zou worden.

De veronderstelling van een dienstregeling lijkt redelijk, ervan uitgaande dat transport voor bevoorrading van verbruiksartikelen en repareerbare reservedelen gecombineerd wordt en er slechts één kringloop is. Zou dat niet het geval zijn dan is een aparte, frequente dienstregeling voor repareerbare reservedelen waarschijnlijk een te dure oplossing.

Uitval

Van de 12 artikelen waar gegevens over verzameld zijn was bij 11 de uitval over de laatste vier jaar 0. Hoewel met het ene artikel dat wel uitval kende gesimuleerd wordt, is, om de resultaten onderling vergelijkbaar te houden, de uitval buiten beschouwing gelaten. Alleen voor de vergelijking van vraag- en aanbodsturing onder verstoringen is uitval ingevoerd. Daarbij is, om de effecten zo goed mogelijk zichtbaar te krijgen, bewust met grotere dan kosten-optimale series voor aanschaf-

fing gewerkt. Het optreden van onherstelbare reservedelen vindt in het model volledig plaats voorafgaand aan reparatie. In werkelijkheid zal ook tijdens de reparatie uitval optreden. Het effect op de resultaten is niet groot. Het echte aanbod aan defecte reservedelen zal groter zijn dan in het model, leidend tot grotere reparatieseries. Dit compenseert grotendeels de uitval tijdens het proces, zodat de ontvangst van gerepareerde reservedelen bij het voorraadopunt nauwelijks anders is dan in het model.

Geen uitbestedingen

In het model zijn uitbestedingen niet expliciet zichtbaar gemaakt. Het is mogelijk om de doorlooptijden en kosten van een uitbesteed reservedeel in te voeren in het reparatieproces.

Kwaliteitsaspect

Het kwaliteitsaspect blijft volledig buiten beschouwing. Tussen een gerepareerd en een nieuw reservedeel is geen verschil. Afkeur van gerepareerde en nieuwe reservedelen vindt in het model niet plaats. Ook het mogelijk aanbieden van incomplete reservedelen bij het reparatiebedrijf is niet meegenomen. Dergelijke problemen zullen besturing van de kringloop in de praktijk moeilijker maken dan uit het model blijkt.

C.3 Gebruikte gegevens

Historische gegevens per artikel

In dit onderzoek zijn over 12 artikelen gegevens verzameld uit CVBKL of via de Produktafdelingen DMKL, waarvan 7 directe ruil artikelen en 5 bevoorradingsartikelen via het CVBKL. Het gaat om de volgende gegevens:

- totale vraag over de afgelopen 4 jaar (1992 - 1995), gebruikt om vraag en spreiding vast te stellen;
- uitvalpercentage over de afgelopen 4 jaar (1992 - 1995);
- nieuwprijs;
- reparatiekosten, gesplitst naar kosten voor uren en materiaalkosten;
- doorlooptijd van het volledige reparatieproces (deels geschat).

Niet met alle 12 reservedelen is gesimuleerd. Bij nogal wat reservedelen bleken de gegevens na bewerking tot vergelijkbare invoer voor het model te leiden. Bewust is afgezien van artikelen, waarbij de 'kosten-optimale' voorraadregels tot dezelfde parameters (B en Q) decentraal leidden als de Directe Ruil regels. Op grond hiervan vielen 7 artikelen af. Uit de overige artikelen zijn er twee gekozen, waarvan één bewust met een relatief hoge vraag per jaar. Als gevolg ontstaat een omvangrijke oorlogsvoorraad in de kringloop, waardoor het effect van de omgang met oorlogsvoorraad beter zichtbaar wordt.

Voor de betreffende twee artikelen gaat het om de volgende gegevens:

Tabel C.3.1: Gegevens van artikel 1

Gegevens artikel 1, verstrekt door DMKL			
Algemeen			
NSN	12-193-2985		
Omschrijving	Ollinderkop, diesel		
Materieelgroep	54		
Soort bevoorrading	directe ruil		
Vraag		Aantal	Spreiding
vraag totaal	290.5	139.643264	per jaar
onherstelbaar - verklaringen (uitval)	14	0	per jaar
Prijs			
nieuwprijs aan te schaffen reservedeel	4540	guldens	
Kosten reparatie			
kosten reparatie-proces, per item	1040	guldens	
materiaal kosten, per item	308	guldens	
Doorlooptijd reparatie		15	dagen

Tabel C.3.2: Gegevens van artikel 2

Gegevens artikel 2, verstrekt door DMKL			
Algemeen			
NSN	12-306-9696		
Omschrijving	Houder		
Materieelgroep	42		
Soort bevoorrading	CVBKL		
Vraag		Aantal	Spreiding
vraag totaal	33.2495	8.69373938	per jaar
onherstelbaar - verklaringen (uitval)	0	0	per jaar
Prijs			
nieuw prijs aan te schaffen reserve deel	1760	guldens	
Kosten reparatie			
kosten reparatie-proces, per item	100	guldens	
materiaal kosten, per item	243	guldens	
Doorlooptijd reparatie		13	dagen

Standaard-gegevens

Bij alle artikelen zijn voor de volgende gegevens steeds dezelfde waarden gehanteerd

- integrale tarieven van processen, gebaseerd op een schatting¹; de volgende soorten activiteiten zijn onderkend: handling (in magazijnen), werk van bevoorradingsadministratie, werkvoorbereiding voorafgaand aan reparatie, bedrijfsplanning (tevens betrokken bij aanschaf), directie-activiteiten (besluitvorming bij grotere aanschaffingen) en boekhouding;
- factor van nieuwprijs voor bepaling voorraadkosten;
- oorlogsintensiteitsfactor;
- verhouding oorlogsverzorgingstotaal vredesverzorgingstotaal.

Voor de simulaties zijn de gegevens uit tabel C.3.3 gebruikt:

Tabel C.3.3: Standaardgegevens voor beide artikelen

Basisgegevens	
Activiteit	Uurtarief
handling	94.35
bevoorradingsadministratie	90.86
werkvoorbereiding	78.12
bedrijfsplanning	95.15
directie	141.65
boekhouding	93.76
factor voorraadkosten	0.07
Oorlogsintensiteitsfactor	4
Verhouding oologstotaal, vredesto- taal	1.2

Bewerkingstijden processen

Integrale kosten van processen worden bepaald uit de kosten van de activiteiten per tijdseenheid (tabel C.3.3) en de bewerkingstijd van processen. Alleen van het reparatieproces waren kosten en soms bewerkingstijden bekend. Van de overige processen was de doorlooptijd vooral van belang om kosten te bepalen. Het gaat om de volgende processen:

- 'bestellen' in verschillen de vormen:
 - aanschaffen van een serie nieuwe reservedelen;
 - opdracht verstrekken tot plus voorbereiding van een reparatie-serie;
 - aanvraag voor aanvullen van voorraad decentraal;
- 'handling' op diverse plaatsen
 - ontvangst defecte reservedelen;

¹ Gebruik is gemaakt van de Voorcalculatorische Kosten Verdeelstaat van de Mechanisch Centrale Werkplaats [5] voor 1995.

- serie defecten naar reparatie;
- serie gerepareerde reservedelen naar centrale voorraad;
- ontvangst serie nieuw aangeschafte reservedelen bij centrale voorraad;
- verzamelen serie vanaf centrale voorraad ten behoeve van aanvullen;
- ontvangst decentraal van serie vanaf centrale voorraad.

Processen zijn opgesplitst in activiteiten, zoals genoemd bij de integrale tarieven. Per activiteit is de bewerkingstijd binnen het proces geschat en vermenigvuldigd met het integrale tarief.

Tabel C.3.4: Activiteiten als onderdeel van processen, artikel 1

Artikel 1: Bijdragen van activiteiten aan processen (in uren)		activiteiten					
Proces	Deelproces	handling	bevoorr. adm	werkvoorb.	bedrijfsplanning	directie	boekhouding
Bevoorraden	defect, ontvangst bij rep.bedr	0.05	0.05				
	defect, batch tbv reparatie	0.5	0.1				
	gebruiksgereed, ontvangst gerepareerde batch	0.5	0.1				
	gebruiksgereed, ontvangst aangeschafte batch	0.3	0.1				
	gebruiksgereed, verzamelen voor uitleveren	0.3	0.1				
	gebruiksgereed, ontvangst decentraal	0.3	0.1				
Bestellen	decentraal, aanvraag voor nieuwe voorraad		0.5				
	voorbereiding reparatie-serie	0.5		16	0.5		
	aanschaf, ter vervanging ohv	0.6			4	0.5	0.5

Tabel C.3.5: Activiteiten als onderdeel van processen, artikel 2

Artikel 2: Bijdragen van activiteiten aan processen (in uren)		activiteiten					
Proces	Deelproces	handling	bevoorr. adm	werkvoorb.	bedrijfsplanning	directie	boekhouding
Bevoorraden	defect, ontvangst bij rep.bedr	0.05	0.05				
	defect, batch tbv reparatie	0.5	0.1				
	gebruiksgereed, ontvangst gerepareerde batch	0.5	0.1				
	gebruiksgereed, ontvangst aangeschafte batch	0.3	0.1				
	gebruiksgereed, verzamelen voor uitleveren	0.3	0.1				
	gebruiksgereed, ontvangst decentraal	0.3	0.1				
Bestellen	decentraal, aanvraag voor nieuwe voorraad		1				
	voorbereiding reparatie-serie	0.5		4.7	0.5		
	aanschaf, ter vervanging ohv	0.6			5	1	1

Instellingen

Met de genoemde gegevens en de voorraadregels (hetzij Directe Ruil, zie bijlage A, hetzij kosten-optimaal, zie bijlage C) zijn bestelniveaus en - hoeveelheden voor zowel de centrale voorraad als de decentrale voorraden te berekenen. Tevens ligt de totale voorraad in de kringloop vast.

Tabel C.3.6: Vraag, voorraadniveaus en -series

Artikel		1	2
Vraag	Tijd tussen vragen, locatie 1 en 2	6.88	60.15
	Spreiding vraag in de tijd, locatie 1 en 2	6	40
	Tijd tussen vragen, locatie 3	1.15	10.03
	Spreiding vraag in de tijd, locatie 3	1	5
Locaties 1 en 2	Q, ov decentraal	26	2
	B, ov decentraal	7	2
	Q, geen ov decentraal	38	2
	B, geen ov decentraal	1	1
	Q, dr	1	1
	B, dr	6	2
Locatie 3	Q, ov decentraal	26	2
	B, ov decentraal	105	13
	Q, geen ov decentraal	38	2
	B, geen ov decentraal	99	9
	Q, dr	1	1
	B, dr	36	12
Reparatieproces	Q, ov decentraal	36	12
	B, ov decentraal	199	22
	Q, geen ov decentraal	36	12
	B, geen ov decentraal	199	22
	Q = B, dr	29	4
Aanschaffen	Q, kosten optimaal	0	0
	Q dr	0	0
Initieel	Initiële voorraad, ov decentraal	235	34
	Initiële voorraad, geen ov decentraal	235	34
	Initiële voorraad, dr	214	25

Voorbeeld van een berekening:

Seriegrootte voor reparatie (Q), artikel 1, kosten-optimaal

- Vraag: (μ_X) (tabel C.3.1) 290,5
- Uitval: (μ_U) (tabel C.3.1) 0²
- Kosten reparatieserie
 - Bestellen, voorbereiding reparatieserie (tabellen C.3.3 en C.3.4)
 - Integrale kosten
 - tijd * uurtarief, bevoorr. adm. = 0.5 * 90.86
 - tijd * uurtarief, werkvoorb. = 16 * 78.12
 - tijd * uurtarief, bedrijfsplanning = 0.5 * 95.15

² Voor de berekening op 0 gesteld, omdat uitval buiten beschouwing is gelaten.

Bevoorraden (tabellen C.3.3 en C.3.4)

Integrale kosten serie defecten naar reparatie

tijd * uurtarief handling = 0.5 * 94.35

tijd * uurtarief bevoorrr. adm. = 0.1 * 90.86

Integrale kosten serie gerepareerd naar centrale voorraad

tijd * uurtarief handling = 0.5 * 94.35

tijd * uurtarief bevoorrr. adm. = 0.1 * 90.86

Totale kosten (K_r) = som afzonderlijke kosten posten: f 1410,02

• Voorraadkosten

factor voorraadkosten (r) (tabel C.3.3): 0.07nieuwsprijs (p_{as}) (tabel C.3.1): f 4540,-

Berekening

Met behulp van formule B.3.4.3 uit bijlage B kan nu de herstel-seriegrootte berekend worden:

$$Q_r = \sqrt{\frac{(\mu_x - \mu_U) * K_r}{p_{as} * r}} = \sqrt{\frac{(290.5 - 0) * f1410.02}{f4540 * 0.07}} \approx 36$$

Simulatietijd

Simulatieruns moeten zolang duren dat gevonden resultaten zijn toe te wijzen aan de verschillen tussen alternatieven en niet aan de toevallige verschillen die ontstaan door de kansverdeling waarmee vraag optreedt. In de experimenten is steeds gedurende 1510 tijdseenheden (± 6 jaar) gesimuleerd.

C.4 Resultaten

De prestatie van de kringloop bij bepaalde instellingen wordt bepaald door de totale kosten en de servicegraad. Om de totale kosten vast te stellen wordt de volgende uitvoer verzameld:

- aantal gerepareerde reservedelen;
- aantal aanvullingen;
- aantal reparatie-series.

(Omdat niet met uitval wordt gerekend zijn aanschaffingen niet geteld.)

Vanwege de aanwezigheid van oorlogsvoorraad zal naar verwachting niet snel een situatie optreden waarin totaal geen voorraad beschikbaar is. De servicegraad moet in dit geval worden gezien als het aantal maal dat de oorlogsvoorraad wordt aangestast, en wachttijd als de tijd waarin minder dan de oorlogvoorraad aanwezig is. Ter verklaring van de gevonden waarden worden bovendien de minimale voorraad gebruiksgereed in de kringloop en de gemiddelde voorraad gebruiksgereed geregistreerd.

Tenslotte wordt vastgelegd wat de gemiddelde seriegrootte is waarmee gerepareerd wordt, zodat gecontroleerd kan worden of de geplande seriegrootte voor reparatie ook wordt gehaald. Naar believen zijn uit het model nadere gegevens af te lezen. In tabel C.4.1 staan de resultaten van de 12 opties die zijn gesimuleerd.

Resultaten van simulaties																
meetwaarden											berekeningen					
	gemiddelde voorraad gebruiksgereed in de kringloop	minimale voorraad gebruiksgereed in de kringloop	aantal gerepareerde reservedelen	aantal reparatie-series	gemiddelde grootte van reparatie-serie	aantal leveringen reservedelen naar locatie 1	aantal leveringen reservedelen naar locatie 2	aantal leveringen reservedelen naar locatie 3	aantal maal beneden oorlogsvoorraad	tijdsduur beneden oorlogsvoorraad (in dagen)		totale kosten	logistieke kosten			
1	196.57	170	1600	45	36	8	8	47				kF 2699.9	kF 521.0			
2	196.48	172	1612	45	36	5	5	35				kF 2714.1	kF 518.9			
3	180.04	157	1624	57	29	215	211	1291	34	113		kF 2908.8	kF 697.2			
4	26.75	20	192	16	12	12	15	81				kF 114.9	kF 46.4			
5	26.93	20	180	15	12	8	7	48				kF 104.7	kF 40.4			
6	21.79	18	192	48	4	28	29	154	2	5		kF 133.6	kF 65.0			
7	184.99	166	1606	87	18.5	5	5	37				kF 2765.4	kF 578.3			
8	176.67	151	1584	44	36	5	5	34	44	veel		kF 2674.4	kF 517.3			
9	23.62	18	184	27	6.8	12	15	73				kF 116.9	kF 51.2			
10	22.04	13	180	15	12	10	12	75	15	384		kF 108.8	kF 44.5			
11	197.52	170	1578	46	34.3	5	5	35					kF 520.5			
12	200.44	164	1548	43	36	5	5	33	2				kF 516.0			

Bijlage D Voorbeeld van keuze verbruiken of repareren

In onderstaand getallenvoorbeeld wordt een vergelijking gemaakt tussen "verbruiken" en in een kringloop "repareren" van reservedelen. Het voorbeeld is gebaseerd op artikel 1 uit de simulaties. De brongegevens zijn terug te vinden in bijlage C. Aanvullend hierop moeten veronderstellingen over de optie "verbruiken" worden gedaan, met name de bewerkingstijden van processen, om de kosten te bepalen. Tabel D.1 geeft deze. De optie "repareren" is gebaseerd op een vraaggestuurde kringloop waarbij geen eis geldt voor oorlogsvoorraad decentraal.

Tabel D.1: Gegevens over verbruiken

Bijdragen van activiteiten aan processen (in uren)		activiteiten					
Proces	Deelproces	handling	bavoorr. adm	werkvoorb.	bedrijfsplanning	directie	boekhouding
Verbruiken							
Verwerven	aanschaf voor volledige behoefte reservedelen		1	5	2	2	
Bevoorraden	gebruiksgereed, ontvangst aangeschafte batch	0.7					

Nu kan de volgende kosten-vergelijking gemaakt worden.

Tabel D.2: Kostenvergelijking tussen de twee opties "repareren" en "verbruiken"

Repareren of verbruiken		
Repareren		Verbruiken
287560.00	<i>Repareren</i>	
	<i>Bevoorraden</i>	
2690.18	defect, ontvangst bij rep.bedr	
454.00	defect, batch tbv repartie	
432.12	gebruiksgereed, ontvangst gerepareerde batch	
74.78	gebruiksgereed, ontvangst aangeschafte batch	426.36
417.77	gebruiksgereed, verzamelen voor uitleveren	417.77
417.77	gebruiksgereed, ontvangst decentraal	417.77
	<i>Bestellen</i>	
507.59	decentraal, aanvraag voor nieuwe voorraad	507.59
10314.41	voorbereiding reparatie-serie	
1105.64	aanschaf	6697.19
	<i>Transporteren</i>	
49481.46	<i>Voorraden</i>	44078.86
148722.00	<i>Materiaal</i>	1318870.00
502177.72	Totale kosten	1371415.54

In beide gevallen zijn, volgens de gegeven voorraadregels, optimale seriegroottes bepaald voor:

- aanvulling;
- reparatie;
- aanschaffen.

Op basis van de verwachte vraag is vervolgens bepaald hoe vaak processen zich zullen voordoen. Vermenigvuldigd met de berekende kosten van de processen ontstaan de kosten in tabel D.2.

Voorbeeld van een berekening

Kosten bestellen decentraal, aanvraag voor nieuwe voorraad

Aantal bestellingen

vraag per jaar (tabel C.3.1)	290.5
seriegrootte (tabel C.3.6)	26
=> vraag per jaar / seriegrootte =	11.2

Kosten per bestelling aanvraag voor nieuwe voorraad

Bestellen, (tabellen C.3.3 en C.3.4)

Integrale kosten

tijd * uurtarief, bevoorr. adm. = $0.5 * 90.86$

= f 45,43

Totale kosten = aantal bestellingen * kosten per bestelling

= $11.2 * 45.43 \approx$ f 507,59

Conclusie

In dit voorbeeld blijkt repareren ruimschoots lonend, vanwege het grote verschil tussen de kosten van reparatie (proces en materiaal) en nieuwprijs (tot uitdrukking komend in materiaal), zoals blijkt uit tabel C.3.1. Hierop is ook de in het hoofdrapport (paragraaf 4.3) genoemde vuistregel gebaseerd. Voor een globale vergelijking tussen repareren of verbruiken kan men zich beperken tot vergelijking van de posten 'repareren' en 'materiaal' uit de optie repareren met de post 'materiaal' uit de optie verbruiken.

Bijlage E Voorbeeld van keuze afkeuren of repareren

Het voorbeeld in deze bijlage gaat uit van de situatie waarin voorafgaand aan het reparatieproces een afweging wordt gemaakt tussen afkeuren van een defect reservedeel of (aanbieden voor) reparatie. Het gaat om een economische afweging: de verwachte kosten van onmiddellijk afkeuren, zijnde de aanschaf van een nieuw reservedeel plus een deel van de bestelkosten, worden afgezet tegen de verwachte kosten indien het reservedeel het reparatieproces in gaat. Aangezien het op voorhand onzeker is of het laatste tot een gerepareerd reservedeel leidt gaat het om verwachte kosten.

Indien de beslissing wordt genomen een defect reservedeel aan te bieden zijn twee mogelijkheden denkbaar:

- het reservedeel wordt succesvol gerepareerd;
- het reservedeel wordt afgekeurd tijdens reparatie.

Aan deze mogelijkheden zijn verschillende kosten verbonden. De waarschijnlijkheid waarmee mogelijkheden zich voordoen, is bepalend voor de verwachte kosten. Hierover zal de beslisser (degene die de in-inspectie verricht) een uitspraak moeten doen. Zie het getallenvoorbeeld uit tabel E.1.

Tabel E.1: *Gegevens*

Repareren of afkeuren			
Tijd voor in-inspectie (uren)		1	
Schatting kansen tijdens:		gebr.ger	afkeur
in-inspectie		60%	40%
Kosten, afhankelijk van beslissingen, bij in-inspectie			
		handelswijze	
		afkeuren	doorlaten, waarna
			ohw na in-insp.
			gerep na in-insp.
activiteiten			
bestellen reparatie	38.49		38.49
handling batch defect	1.61		1.61
repareren	1269.88		634.94
handling batch gerepareerd	1.61		1.61
nieuw bestellen	81.85	81.85	81.85
nieuwprijs	4540.00	4540.00	4540.00
Verwachte kosten		4621.85	5296.89
			1311.59

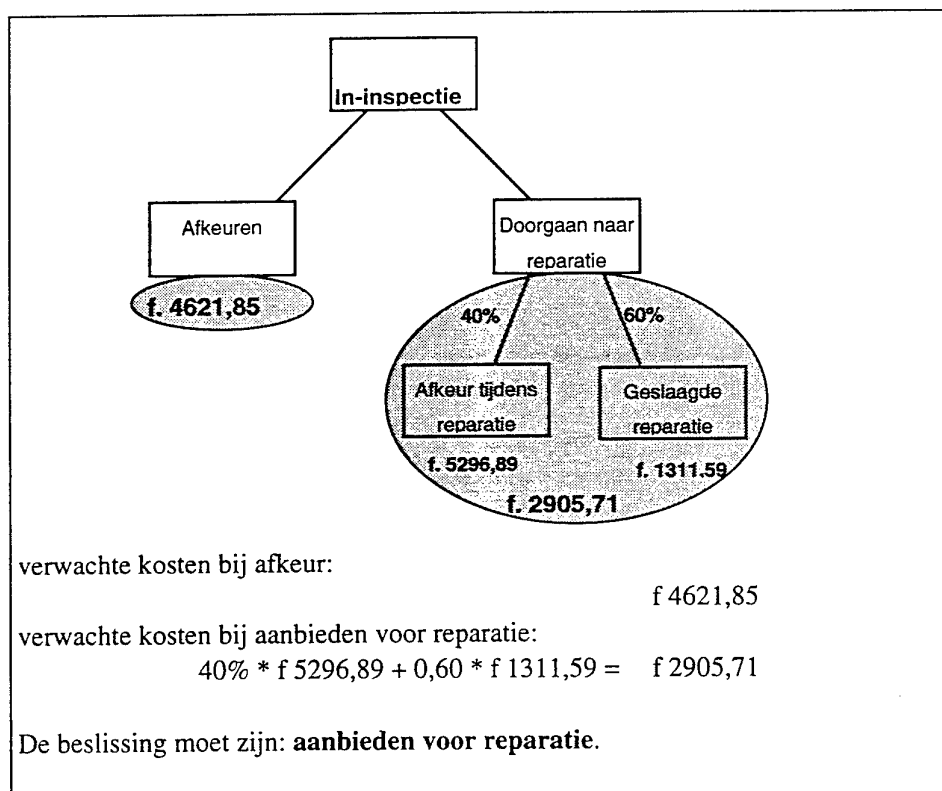
In tabel E.1 zijn achtereenvolgens opgenomen:

- de veronderstelling dat de in-inspectie 1 uur produktietijd vraagt, die ten koste van de proceskosten voor reparatie gaat;
- de kans die de beslisser tijdens een in-inspectie toeschrijft aan het uiteindelijk gebruiksgereed raken dan wel afgekeurd worden van een reservedeel;
- de kosten per mogelijke handelswijze van achtereenvolgende processtappen, gebaseerd op de gegevens uit bijlage C.

Voor de tabel zijn uurtarieven van activiteiten, tijdsbeslag van activiteiten, materiaalkosten en de prijs van nieuwe reservedelen gebaseerd op artikel 1 van de simulatie-gegevens. Daarnaast is verondersteld dat, indien tijdens de reparatie wordt afgekeurd, de helft van de proces- en materiaalkosten toch worden gemaakt.

Bij deze kostenvergelijking moet strikt gekeken worden naar kosten die vanaf de beslissing worden gemaakt. Eerder gemaakte kosten spelen voor de beslissing geen rol meer (maar horen uiteraard wel bij de totale kosten van de kringloop). Merk dus op dat bij een beslissing tijdens in-inspectie de kosten van de ontvangst van een reservedeel en de in-inspectie zelf geen rol meer spelen.

De volgende afweging kan gemaakt worden (zie figuur E.2):



Figuur E.2: Afweging afkeuren of aanbieden voor reparatie

In de praktijk is het gemakkelijker om die kans op een geslaagde reparatie te kennen waarbij het nog net lonend is om tot reparatie over te gaan. Men doet dit door te berekenen bij welke kans de opties afkeuren of repareren precies even duur zijn. Het gaat om de volgende berekening:

$$\begin{array}{lcl} \text{schatting kans op geslaagde reparatie} & = & p \\ \text{schatting kans op afkeur tijdens reparatie} & = & 1 - p \end{array}$$

Er moet gelden:

$$\begin{array}{lcl} \text{kosten afkeuren} & = & \text{kosten repareren} \\ 4621,85 & = & p * 1311,59 + (1 - p) * 5296,89 \end{array}$$

Hieruit volgt:

$$p = (5296,89 + 4621,85) / (5296,89 + 1311,59) \approx 0.17$$

Dit betekent dat als de beslisser de kans op een geslaagde reparatie hoger inschat dan 17 % hij moet besluiten het reservedeel door te laten gaan voor reparatie.

ONGERUBRICEERD

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD96-0396	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO FEL-96-A204
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 6024862	5. CONTRACT NO A49KL629	6. REPORT DATE March 1997
7. NUMBER OF PAGES 96 (incl 5 appendices, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 8	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED
10. TITLE AND SUBTITLE Verkennde studie naar de besturing van de kringloop van repareerbare reservedelen van de Koninklijke Landmacht (Exploratory study into the management of the cycle of repairable spare parts of the Royal Netherlands Army)		
11. AUTHOR(S) C.J.W. von Bergh, J.A.M. Hontelez, M.H.A. Klaver		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Physics and Electronics Laboratory, PO Box 96864, 2509 JG The Hague, The Netherlands Oude Waalsdorperweg 63, The Hague, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Royal Netherlands Army, DMKL/ALB Van der Burchlaan 31, 2597 PC The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) Commissioned by the Royal Netherlands Army, a study has been carried out into the management of the cycle of repairable spare parts. A general control model for the cycle has been made including performance indicators. Besides that a framework has been developed for determining order levels and quantities on economical grounds. A comparison is made with currently used stock rules, by means of a simulation model. Also the effects of the repair process driven by either supply or demand and the dealing with war safety stocks are inquired in simulations. Several other issues are analysed, partly with the use of spreadsheet models.		
16. DESCRIPTORS Logistics management Spare parts Stockpiles Computerized simulation		IDENTIFIERS Cycle of spare parts Repairables
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

Distributielijst

1. Bureau TNO Defensieonderzoek
2. Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling*)
3. HWO-KL
4. HWO-KLu*)
5. HWO-KM*)
6. HWO-CO*)
- 7 t/m 9. KMA, Bibliotheek
- 10 t/m 29. DMKL/ALB, t.a.v. Ir. D.G. Boorsma
30. Directie TNO-FEL, t.a.v. Dr. J.W. Maas
31. Directie TNO-FEL, t.a.v. Ir. J.A. Vogel, daarna reserve
32. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan M&P*)
33. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan G.D. Klein Baltink
34. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. C.J.W. von Bergh
35. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. J.A.M. Hontelez CPIM
36. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Dr. M.H.A. Klaver
37. Documentatie TNO-FEL
38. Reserve

TNO-PML, Bibliotheek**)

TNO-TM, Bibliotheek**)

TNO-FEL, Bibliotheek**)

Indien binnen de krijgsmacht extra exemplaren van dit rapport worden gewenst door personen of instanties die niet op de verzendlijst voorkomen, dan dienen deze aangevraagd te worden bij het betreffende Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek of, indien het een K-opdracht betreft, bij de Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling.

*) Beperkt rapport (titelblad, managementuittreksel, RDP en distributielijst).

**) RDP.