

RELIABILITY

BEDRIJFSZEKERHEID

ZUVERLÄSSIGKEIT



FIABILITE



PHILIPS

HANDLEIDING BEDRIJFSZEKERHEID

In het kader van de steeds groter wordende vraag naar exacte bedrijfszekerheidsgegevens van consumenten- en semiprofessionele producten, geeft bijgaande handleiding een praktische en efficiënte methode om deze gegevens zowel voor- als naculatorisch vast te stellen.

Deze handleiding is het gevolg van een intensieve samenwerking van de Centrale T.E.O. (Ir. A.B.Meyer) en de Centrale Service-afdeling, waarbij eerstgenoemde aan de theoretische aspecten heeft bijgedragen en de praktische toepassing door de Central Service gerealiseerd werd.

Toepassing van de beschreven methode zal bijdragen tot verwezenlijking van bewuste kwaliteitsbeheersing, met als uiteindelijk doel: betere producten, lagere service kosten en een hogere rentabiliteit.

Ter illustratie de voornaamste resultaten van enige onderzoeken:

WASMACHINES

<u>Type HN 3107</u>	Op Basis van ervaringscijfers van het voorgaande type is de voorspelde call rate per jaar	0,65
	Realiteit	0,60
<u>Type HN 3109</u> (CC 1000- Standard)	Uitkomst speciale proefserie Verwachting serie-apparaten in deze versie Specificatie-eis Gerealiseerd met definitieve uitvoering (re-design)	6 calls/app/jr 3 calls/app/jr 1 call /app/jr 0,75 call/app/jr

HOORAPPARATEN

Doel : Arbitrair onderzoek voor het vaststellen van de levensduurkwaliteit (bedrijfszekerheid).

<u>Type KL 6710</u>	Vastgestelde call rate	0,2 per jaar
<u>Type HP 8220</u>	Vastgestelde call rate	0,25 per jaar

KLEURENTELEVISIE

<u>K 6 Pal</u>	Primair is dit onderzoek gedaan om het niveau van de levensduurkwaliteit (bedrijfszekerheid) vast te stellen. Call rate per jaar (een voorspelling na 90 dagen gaf reeds hetzelfde resultaat)	<u>1,7</u>
<u>K 7 Pal</u>	Het doel van dit onderzoek was om op zeer korte termijn de specifieke problemen van een nieuw type te signaleren (Ontwerp/fabricage). Call rate (voorspeld na 225 ge- bruiksuren).	<u>1,4</u> per 1000 h

AFSPEELRECORDERS

<u>N 2500</u>	Vooronderzoek i. v. m. export. Nuisance cassette call's	0, 2 per $\frac{1}{2}$ jaar
	Apparaten call's	<u>0, 4 per $\frac{1}{2}$ jaar</u>
	totaal call rate (aantal gebruiksuren van het onder- zoek komt overeen met $\frac{1}{2}$ jr.)	0, 6 per $\frac{1}{2}$ jaar
<u>N 2502</u>	Vooronderzoek i. v. m. export. Call rate na 25 dagen reeds 0, 7 Ontwerp herzien.	

RADIO-RECORDERCOMBINATIES

<u>22RR380</u>	Vooronderzoek i. v. m. export. Call rate (voorspelling na ver- snelde proef)	0, 8 per $\frac{1}{2}$ jaar
	Ontwerp verbeterd o. a. voor 4 systematische fouten.	
<u>22RR482</u>	Vooronderzoek i. v. m. export. Call rate (voorspelling na ver- snelde proef)	0, 55 per $\frac{1}{2}$ jaar
	Ontwerp verbeterd o. a. voor 5 systematische fouten.	

Handleiding

*voor het voorspellen, controleren,
analyseren en beoordelen van de*

BEDRIJFSZEKERHEID **(RELIABILITY)**

van non- en semi-professionele artikelen

C. H. P. BROOS
T.E.O./CENTRALE SERVICE

A. VAN HEULEN
CENTRALE SERVICE

Mei 1968

Handleiding

*voor het voorspellen, controleren,
analyseren en beoordelen van de*

BEDRIJFSZEKERHEID (RELIABILITY)

van non- en semi-professionele artikelen

C. H. P. BROOS
T.E.O./CENTRALE SERVICE

A. VAN HEULEN
CENTRALE SERVICE

Mei 1968

INHOUD

- 1 *Inleiding*
 - 1.1 Kwaliteitszorg
 - 1.2 Bedrijfszekerheid
 - 1.3 Normstelling

- 2 *Waarom bedrijfszekerheidsbeheersing?*
 - 2.1 Bedrijfszekerheid informeert
 - 2.2 Bedrijfszekerheid biedt mogelijkheden tot
 - 2.3 Voorwaarden

- 3 *Mathematisch-statistische benadering*
 - 3.1 Badkuipkromme (lijn van uitvalsfrequenties in de tijd)
 - 3.2 Overlevingskansen en hun verdeling
 - 3.3 Grafische voorstelling bij constante uitval
 - 3.4 Grafische voorstelling met badkuipkromme als basis

- 4 *Praktische aanpak/Rapportage/Presentatie*
 - 4.1 Gevonden waarden voor R en de grafische voorstelling
 - 4.2 Grafische voorstelling van R, doch berekend met uitvalsfrequenties
 - 4.3 Vaststellen van de call rate per jaar

- 5 *Duur van de rapportage*

- 6 *Grootte van de steekproef; Betrouwbaarheid van de uitkomsten*
 - 6.1 Nomogram steekproefgrootte
 - 6.2 Nomogram betrouwbaarheidsgrenzen

- 7 *Poisson verdeling*
 - 7.1 Overlevingskans en Poissonverdeling

- 8 *Het beoordelen van gegevens en grafieken*
 - 8.1 Grafiek R-waarden in de tijd
 - 8.2 R-waardenvergelijking
 - 8.3 Poissonverdeling
 - 8.4 Foutenoverzicht in de tijd

- 9 *Praktijkvoorbeeld type X*
 - 9.1 Neg. exponentieel verdeeld?
 - 9.2 Poisson verdeeld?
 - 9.3 Conclusies v/h onderzoek

 - 10 *Bepalen van uitvalsfrequenties per onderdeel of subsamenstelling (FAILURE RATES)*
 - 10.1 Calculatie-aspecten
 - 10.2 Voorspelling call rate nieuw type Y

 - 11 *Praktijkresultaten van het nieuwe type Y en vergelijking met de voorspelling*

 - 12 *Bedrijfszekerheidscijfers en hun waarden*

 - 13 *Besluit*
- Bijlage 1: Tabel e-machten
- Bijlage 2: Poisson tabellen
- Bijlage 3: Rapport onderzoek

1. Inleiding

Onder invloed van serie- en massaproductie en een gewijzigde instelling van de consument (o.a. technische evolutie, automatisering, specialisatie, produktiemogelijkheden, materiaalkennis, mode en vooral ook de algemene toename van de koopkracht), zijn ook de opvattingen t.a.v. kwaliteit en kwaliteitsbeheersing in de loop der tijden gewijzigd. Wenste men vroeger een onverslijtbaar produkt, thans worden produkten geaccepteerd die voor een bepaalde gebruiksduur en voor een vooraf bepaalde kostprijs ontwikkeld zijn. Naast het ontwerp zijn verder fabricage, verpakking, transport e.d. mede bepalend voor de kwaliteit van een produkt.

Kwaliteitsmetingen zijn echter op enkele levensduurproeven na, steeds momentopnamen. De informatie of een apparaat in de praktijk voldoet, m.a.w. de kans op functioneren t.o.v. de gebruikstijd, is een relatie die tot op heden niet exact vastgesteld kon worden. Rapportagegegevens waren aanvechtbaar, omdat teveel reële oorzaken waren aan te wijzen, die de verstrekte gegevens onbetrouwbaar maakten.

Dit kwaliteitsmanco is pas goed aan het licht gekomen gedurende de tweede wereldoorlog toen bleek dat 60 à 70% van de apparatuur van marine en luchtmacht niet bedrijfsklaar was wegens defecten. Mede hierdoor en door de ontwikkelingen in de ruimtevaart is gezocht naar middelen en methoden om de bedrijfszekerheid van apparatuur in een bepaalde waarde uit te drukken en onder controle te krijgen. Speciaal op het gebied van professionele apparatuur zoals geleide projectielen, computers, opsporingsapparatuur en in de ruimtevaart is de bedrijfszekerheid een belangrijk specificatiegegeven geworden. Het merendeel der publicaties en artikelen over bedrijfszekerheid behandelt dan ook de toepassing op deze gebieden.

De vraag is echter of deze voor professionele produkten en systemen ontwikkelde methode ook voor industriële en particuliere gebruiksgoederen toepasbaar is. Ook hier bestaat dringend behoefte de bedrijfszekerheid te kunnen controleren en beoordelen.

1.1 Kwaliteitszorg

De kwaliteitszorg kan naar uitgedrukte waarden als volgt worden onderverdeeld:

Onderdelen:	Controlecijfers over uitval, spreiding enz.	} Momentopnamen; onafhankelijk van de gebruikstijd
Assemblages:	Controlecijfers over uitval, spreiding enz.	
Eindprodukten:	Q-cijfers gebaseerd op A, B en C fouten	
(apparaten)	(fabrieks- en afleverkwaliteit)	

Ter volledige beoordeling van een produkt moeten deze cijfers worden aangevuld met die van: Bedrijfszekerheid (Gebruikstijd-afhankelijk)

1.2 Bedrijfszekerheid

Onder bedrijfszekerheid wordt verstaan de kans dat een apparaat of onderdeel gedurende een bepaalde tijd, onder vooraf vastgestelde omstandigheden, aan zijn functie voldoet. Het is dus het kwaliteitsaspect van de levensduur.

Professioneel wordt de bedrijfszekerheid van apparaten en systemen uitgedrukt in M.T.B.F. (Mean Time Between Failures), de gemiddelde tijd tussen het optreden van twee fouten; voor de bedrijfszekerheid van onderdelen c.q. subsamenstellingen wordt het begrip FAILURE RATE gehanteerd. (Uitvalsfrequentie per tijdseenheid voorgesteld door de griekse letter λ). Voor de dagelijkse communicatie is echter een meer universele eenheid gewenst. Een benadering die meer aanspreekt is het gemiddelde aantal reparaties per apparaat per jaar, kortweg CALL RATE genoemd, waarbij een Philishave jaar (± 35 uur gebruik) en een T.V. jaar (1600 uur gebruik) voor de ontwikkelaar totaal verschillend zijn.

De "CALL RATE" geeft dus het niveau aan van het kwaliteitsgebeuren gedurende de levensduur: het is dus een maat voor de kwaliteit in de tijd.

Als eenheid voor de uitvalsfrequentie per tijds eenheid van onderdelen wordt het begrip FAILURE RATE gehandhaafd.

1.3 Normstelling

Zo we al in staat zijn het kwaliteitsniveau in de tijd vast te stellen, we zullen dit toch ook moeten kunnen beoordelen. Er bestaat dus behoefte aan normen, uitgedrukt in bovengenoemde eenheden.

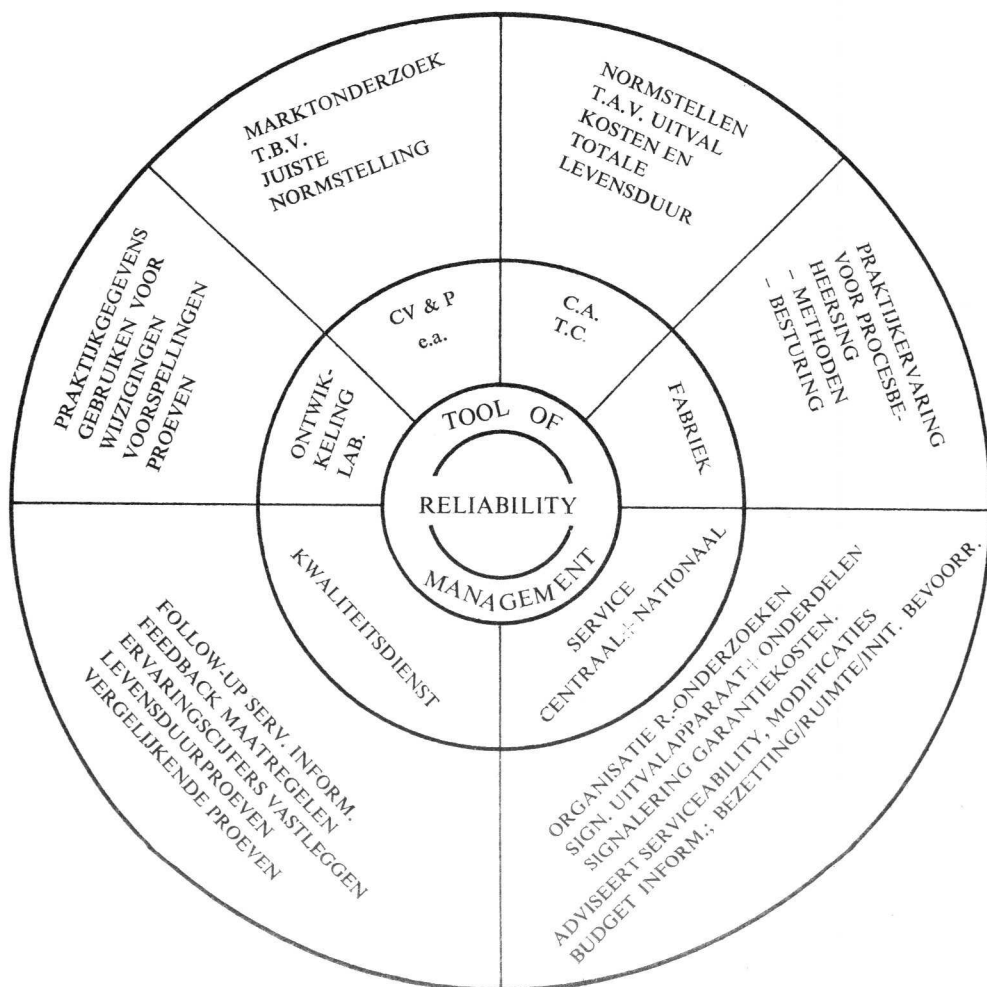
Uitgangspunten zullen een voor de klant (gebruiker) acceptabele uitvalsfrequentie per tijdseenheid en een optimalisatie van productie- en garantiekosten moeten zijn.

Deze norm in de specificatie bepaalt dus de kwaliteitseisen gedurende de levensduur van een produkt en is taakstellend voor de ontwerper.

Ook zal rekening gehouden moeten worden met de economische levensduur i.v.m. continuïteit van productie en verkoop. De overlevingskans na deze economische levensduur zal niet te groot mogen zijn.

2. Waarom bedrijfszekerheidsbeheersing?

Voor het hele artikelgebeuren, van ontwikkeling t/m het gebruik bij de klant, is het uitermate belangrijk inzicht te hebben in de kwaliteitsaspecten van de gebruiksperiode,



te meer daar de tevreden klant van nú, de klant voor de toekomst zal zijn. Een programma voor bedrijfszekerheidsbeheersing is een systeem van foutenervaring, dat zorgt voor observatie, analyse en beoordeling, doch tevens voor de ontwikkeling en toepassing van regels, waardoor de bedrijfszekerheid beheerst kan worden door voorspellen, controleren, meten, rapporteren en corrigeren.

Het belang van de bedrijfszekerheid demonstreert zich verder door het feit, dat het een "REAL TOOL OF MANAGEMENT" is. Schematisch staat dat hieronder aangegeven.

2.1 Bedrijfszekerheid informeert:

- a. *De klant:* De afnemer (b.v. dealer) kan hiervan gebruik maken in de concurrentiestrijd op de markt van meer professionele artikelen.
- b. *De Service organisatie:* ten aanzien van organisatorische en budgettaire aspecten (*de instantie die de kwaliteitsrapportage verzorgt en bedrijfszekerheid vaststelt*).
- c. *De Commerciële afdelingen:* De bedrijfszekerheid beïnvloedt rechtstreeks de garantie-kosten en dus het bedrijfsresultaat. Ook bij het opstellen van nieuwe specificaties kan en moet de bedrijfszekerheid een rol gaan spelen.
- d. *De producent:* Behalve het totaalbeeld over uitval in de tijd zijn de hoofdoorzaken die hieraan ten grondslag liggen van groot belang voor de procesbeheersing (methode en besturing).
- e. *De ontwerper:* Hiervoor geldt hetzelfde als voor de producent, alleen moet de informatie geënt worden op het ontwerp, onderdelenkeuze, materiaalkeuze e.d. resulterend in b.v. een snelle verbetering of in bewuster constructies bij nieuwe producten.

2.2 Bedrijfszekerheid biedt mogelijkheden tot:

- a. Het nemen van beleidsbeslissingen: het voorkomt onvruchtbare discussies.
- b. Het opbouwen van een informatiebron waar failure rates (λ 's) voor onderdelen en constructies t.b.v. nieuwe ontwerpen zijn verzameld.
voorbeeld: Onderdeel A valt bij gebruik onder die omstandigheden $n \times$ uit per 1000 gebruiksuren.
- c. Het beantwoorden van de vraag of de resultaten van laboratorium-duurproeven met de werkelijkheid overeenkomen.
- d. Het vaststellen van onderhoudsschema's en -contracten, voor geleverde apparatuur.

Uit al deze punten volgt dat automatisch efficiënter en rationeler gewerkt zal worden.

2.3 Voorwaarden:

Om alle eerder genoemde aspecten te kunnen realiseren zal het systeem betrouwbare informatie moeten opleveren en zo eenvoudig mogelijk gehouden moeten worden. De presentatie moet systematisch en universeel van opzet zijn.

3. Mathematisch/statistische benadering

De wetenschappelijke basis van dit systeem garandeert betrouwbare uitspraken en biedt mogelijkheden tot het voorspellen van de bedrijfszekerheid.

3.1 Badkuipkromme

Een groot aantal waarnemingen op verschillend gebied toont aan dat de ontwikkeling van de uitvalsfrequenties in de leeftijd c.q. gebruikstijd een bepaald natuurlijk verloop heeft en, grafisch voorgesteld, lijkt op de langsdoorsnede van een badkuip. Fig. 1. Deze benadering blijkt ook voor apparaten en systemen wonderlijk goed te kloppen.

Uitvalsfreq. per tijdseenheid

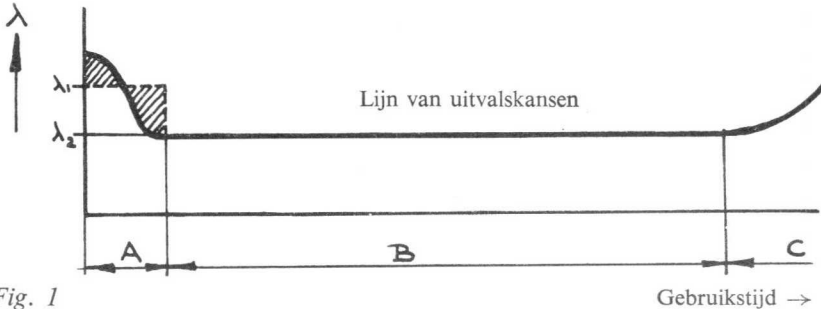


Fig. 1

Beschouwen we het verloop van deze uitvalsfrequenties in de tijd nader dan onderscheiden we 3 perioden:

Periode A: Dit is de periode van de kinderziekten. Deze wordt gekenmerkt door een relatief hoge en variable uitvalsfrequentie (λ variabel).

Periode B: Dit is de periode tussen kinderziekten en slijtage. Specifiek is dat de uitvalsfrequentie λ_2 constant te noemen is (bodem van de badkuip).

Periode C: Deze periode wordt gekenmerkt door slijtageverschijnselen, die frequenter repareren of einde levensduur betekenen.

Voor de artikelenrange, waarvoor deze handleiding bestemd is, is een juiste functie-bepaling van het verloop van de uitvalskansen (vorm van kromme) voor de periode

A niet nodig. We benaderen deze door een gemiddelde constante uitvalsfrequentie $\lambda_1 = \bar{\lambda}$ over dit traject te veronderstellen.

3.2 Overlevingskansen en hun verdeling

Als de uitvalsfrequentie per tijdseenheid constant is, wordt de overlevingskans bepaald door een negatief exponentiële verdeling, voorgesteld door de formule: $R = e^{-\lambda t}$

R = overlevingskans als fractie van 1 (b.v. 100 apparaten in gebruik, 90 nog foutloos op tijdstip "t" : $R = 0,9$)

$e = 2,718$ (constante; Grondtal van de natuurlijke logaritme)

λ = gemiddelde uitvalsfrequentie per apparaat per tijdseenheid

t = tijd in bedrijf

λt = de gemiddelde uitval per apparaat gedurende de tijd $t = \text{CALL RATE}$

Het vaststellen van de fractie apparaten die nog niet defect zijn (R) voor opeenvolgende waarden van t , is één van de aspecten welke informatie leveren om de bedrijfszekerheid van een apparaat te kunnen beoordelen.

3.3 Grafische voorstelling bij constante uitval

Zouden we R -waarden in de tijd uitzetten op papier met lineaire schalen, dan is zeer moeilijk te beoordelen of de gevonden kromme inderdaad de functie $R = e^{-\lambda t}$ volgt; Fig. 2. Maken we de R -schaal echter logarithmisch en houden we de tijdschaal lineair dan wordt de functielijn een rechte; Fig. 3. De beoordeling van de praktijkwaarden is hierdoor veel eenvoudiger geworden. Aan eventuele afwijkingen ligt dan een aanwijsbare oorzaak ten grondslag.

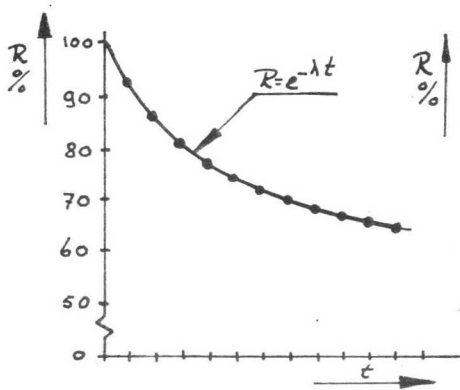


Fig. 2

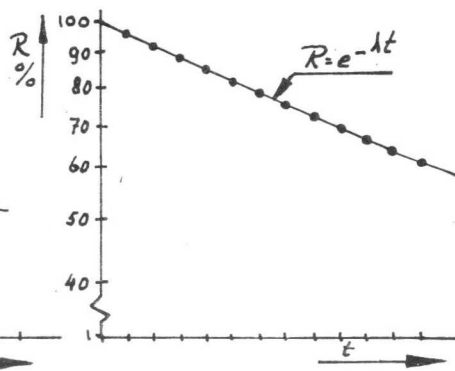


Fig. 3

3.4 Grafische voorstelling met badkuipkromme als basis

Zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven onderscheiden we de perioden A en B met respectievelijk een constante λ_1 (benadering) en een constante λ_2 . De helling van de R lijn wordt dus gedurende periode A bepaald door de exponent $\lambda_1 t_1$ en in de periode daarna (B) door de exponent $\lambda_2(t_2-t_1)$. De lijn zal er dan als volgt uitzien, en het verloop van de in de praktijk gevonden waarden zal ook een dergelijke vorm moeten hebben (Fig. 4).

Er zijn twee mogelijkheden om dit verloop weer te geven (Zie 4.1 en 4.2).

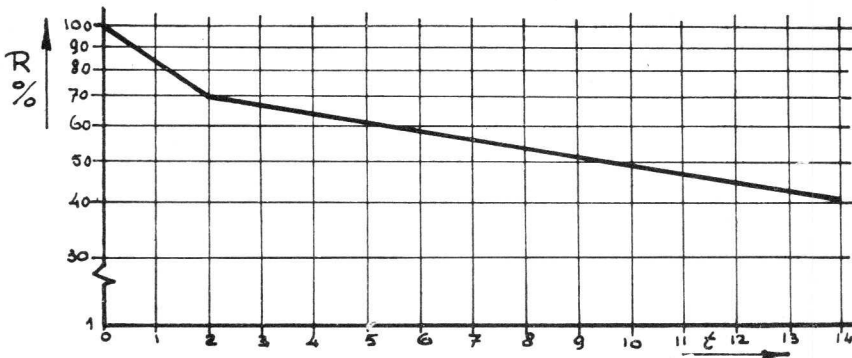


Fig. 4

4. Praktische aanpak - Rapportage - Presentatie

Essentieel is dat een bedrijfszekerheidsonderzoek goed voorbereid en georganiseerd wordt en dat de zo noodzakelijke discipline t.a.v. afspraken en procedures verzekerd is. Zeer nauwkeurig moeten bekend zijn: aantal apparaten dat gevolgd wordt; data van in gebruikname en van *elke* reparatie; foutomschrijving. De gegevens moeten zodanig gerangschikt worden dat het tijdstip t_0 de datum van in gebruikname van de te volgen apparaten is, en bij de berekening vanaf dit punt gewerkt kan worden.

4.1 Gevonden waarden voor R en de grafische voorstelling

Door de aantallen apparaten die nog niet defect geweest zijn op achtereenvolgende tijdstippen vast te stellen, kan t.o.v. het totaal aantal apparaten, dat bij het onderzoek betrokken is, voor elk tijdstip de fractie of het % van R worden berekend. Grafisch kan het verloop van R dan als volgt worden weergegeven (1^e methode) Fig. 5.

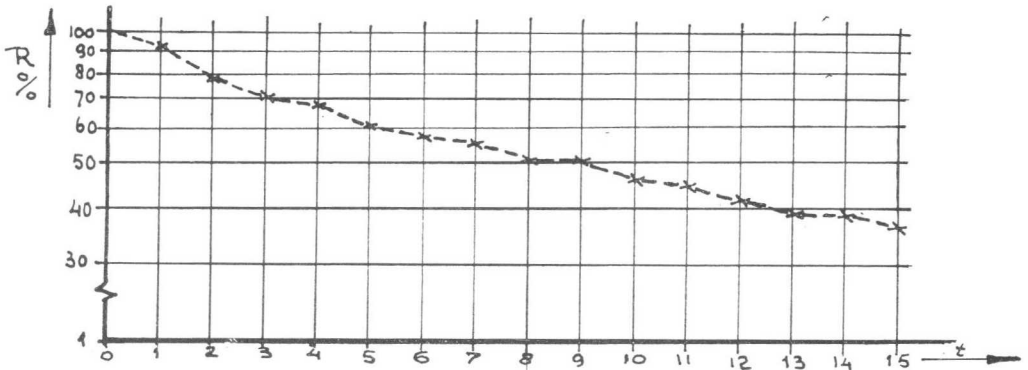


Fig. 5

4.2 Grafische voorstelling van R, doch berekend met uitvalstrequenties

Naast het vaststellen van de R-waarden, zoals onder 3.2 vermeld, is het ook belangrijk de aantallen defecten in de tijd te kennen. De uitvalfrequenties (λ 's voor periode A en B) kunnen hieruit worden berekend en vervolgens de bijbehorende waarden van $R = e^{-\lambda t}$. Ook deze waarden kunnen grafisch worden weergegeven (methode 2) en zijn vergelijkbaar met de op de andere manier bepaalde R-waarden (zie 4.1; fig. 5).

Omdat ook informatie gewenst is over foutensoorten kunnen deze in dezelfde tabel verwerkt worden. Principieel kan slechts één fout oorzaak zijn van een reparatie. Beschouwen we de aantallen reparaties in de eerste maand, de tweede maand enz. dan vinden we b.v. de volgende waarden:

MAAND AANT. REP.	1	2	3	4	5	6	7
FOUT 1	20	16	17	5	6	5	5
FOUT 2	18	18	15	8	7	3	6
FOUT REST	7	9	8	2	3	4	3
TOTAAL	45	43	40	15	16	12	14

} Aandeel foutensoorten

} Voor de berekening van R-waarden

$\xrightarrow{\sim \text{const.}}$ $\xrightarrow{\sim \text{constant}}$
 Periode A Periode B

Het betreft hier gegevens van 200 apparaten.

Uit de tabel blijkt dat de uitval in de eerste drie maanden vrijwel constant is.

De uitvalsfrequentie voor deze periode wordt

$$\frac{45 + 43 + 40}{200} = \frac{128}{200} = 0,64 = \lambda_{1(3 \text{ mnd})}$$

De bijbehorende R vinden we in een tabel met e-machten. (bijlage 1)

$R_{(\lambda_1)} = 0,53$ of 53%.

De 4^e t/m 7^e maand is de uitval ook vrijwel constant, echter op een lager niveau.

De uitvalsfrequentie voor deze periode wordt

$$\frac{15 + 16 + 12 + 14}{200} = \frac{57}{200} = 0,285 = \lambda_{2(4 \text{ mnd})}$$

De bijbehorende $R_{(\lambda_2)}$ wordt hier 0,75.

De gevonden waarden van R kunnen we nu grafisch weergeven. Allereerst op het

tijdstip 3 maanden zoeken we de $R = 53\%$. Dit coördinaat verbinden we met $[R = 100 / t = 0]$. Het tweede punt wordt bepaald door het coördinaat van $t = 7$ en de R -waarde op de schaal die we vinden door $R_{(\lambda_1)}$ te vermenigvuldigen met $R_{(\lambda_2)}$ ($0,53 \times 0,75 = 0,4$; (75% van 53% = 40%).

Dit laatste coördinaat verbinden we met het coördinaat $[t = 3/R = 53]$.

Grafisch vinden we het volgende resultaat (Fig. 6). Ter vergelijking zijn ook de gegevens van fig. 5 aangegeven (\times).

Omdat λ_2 over veel langere tijd (periode B) constant verondersteld wordt, mag deze laatste lijn doorgetrokken worden naar latere tijdstippen (extrapoleren).

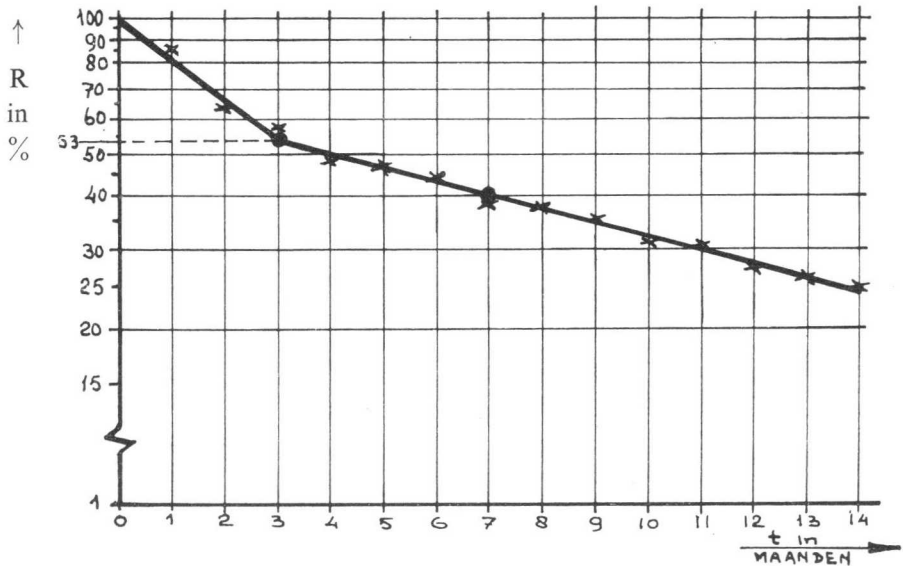


Fig. 6

4.3 Vaststellen van de call rate/jaar

Periode A (3 maanden) $\lambda_1 = 0.64/3\text{mnd.}$ Gem. Uitval/app. 0,64

Periode B (9 maanden) $\lambda_2 = 0.285/4\text{mnd.}$ Gem. Uitval/app.

geëxtraporeerd: $9/4 \times 0.285 = 0,64$

Totaal gemiddeld aantal reparaties/app./jaar = 1,28

Uiteraard geldt dit voor het eerste jaar.

5. Duur van de rapportage

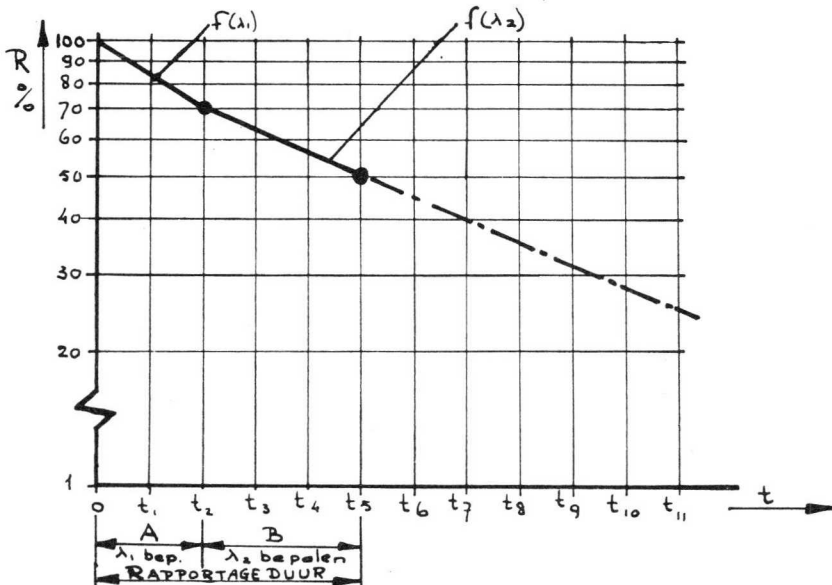


Fig. 7

De duur van de rapportage wordt bepaald door de periode A + dát stuk van periode B dat nodig is om λ_2 voldoende betrouwbaar te berekenen en dus de functielijn van $R = e^{-\lambda_2 (t_5 - t_2)}$ te construeren. In de praktijk zal de rapportage 4 à 6 maanden moeten duren. Door extrapolatie kan dan de situatie voor b.v. een jaar worden getekend en de te verwachten call rate worden berekend.

6. Grootte van de steekproef

De resultaten van een bedrijfszekerheidsonderzoek zullen voldoende betrouwbaar moeten zijn. Behalve dat de verzamelde gegevens juist moeten zijn, is ook het aantal gegevens belangrijk. Het minimum aantal defecten is aangenomen op 20. Het gemiddelde van de gevonden call rate zal in dit geval, bij een betrouwbaarheid van 90%, een boven- en ondergrens hebben van respectievelijk $1,5 \times$ en $0,70 \times$. (Zie nomogram 6.2). Bij kleinere aantallen wordt de bovengrens te grof (bij 5 defecten wordt deze $2,6 \times$).

Het is duidelijk, dat we in de praktijk niet alleen kunnen volstaan met informatie over het complete apparaat, doch tevens over de belangrijkste foutensoorten i.v.m. beslissingen ten aanzien van door te voeren verbeteringen e.d.

Het aantal te verwachten hoofdfoutensoorten (a) is gekozen als basis voor het vaststellen van de steekproefgrootte. Elke hoofdfoutensoort zal ongeveer $20 \times$ voor moeten komen. Verder blijken de hoofdfouten $\pm 50\%$ van het totale aantal fouten uit te maken, waardoor dus de steekproef $2 \times$ zo groot moet worden.

Voor het schatten van het aantal hoofdfouten kan uitgegaan worden van de vuistregel dat 15% van de foutensoorten hoofdfouten zijn.

Later kan met de praktijkgegevens worden vastgesteld met hoeveel hoofdfouten we te doen hebben.

Als derde aspect is van invloed de norm voor bedrijfszekerheid per jaar die het gemiddeld aantal te verwachten reparaties aangeeft. (c)

Als laatste punt is de rapportageduur van belang omdat in een kortere periode evenveel informatie verzameld moet worden als in een jaar. (t)

Uitgedrukt in formule wordt de steekproefgrootte:

$$n = \frac{a \times 20 \times 2}{c \times \frac{t}{12}} \quad \text{d.w.z.}$$

$$\text{Steekproefgrootte} = \frac{\text{aantal hoofdfouten} \times 20 \times 2 (50\% \text{ strooifouten})}{\text{call rate per jaar} \times \frac{\text{rapportageduur in mnd.}}{12}}$$

Voorbeeld: $a = 4 \quad c = 1 \quad t = 5 \quad n = \frac{4 \times 20 \times 2}{1 \times \frac{5}{12}} = 384$

Wordt alleen informatie over het apparaat zelf gewenst dan wordt $n = \frac{20}{c \times t/12}$

De fout die we kunnen maken bij afwijkingen, is minder erg dan we zouden verwachten:

1. Is het apparaat slechter dan verondersteld, dan is dit *op een vroeger tijdstip* reeds bekend.
2. Is het apparaat beter dan verondersteld werd, dan is er geen reden tot onmiddellijke actie en is de duur van de rapportage van minder belang geworden.

6.1 Nomogram steekproefgrootte (Fig. 8)

Bovenstaande relatie tussen a , c , t en n is in een nomogram weergegeven. Voor elke praktische combinatie van a , c en t kan n worden afgelezen, hetgeen het vaststellen van de steekproefgrootte al heel eenvoudig maakt. Als voorbeeld zijn hier genomen $a = 4$, $c = 1$ en $t = 5$ resp. $c = 0,5$ en $t = 5$).

NOMOGRAM STEEKPROEFGROOTTE BEDRIJFSZEKERHEIDSONDERZOEK

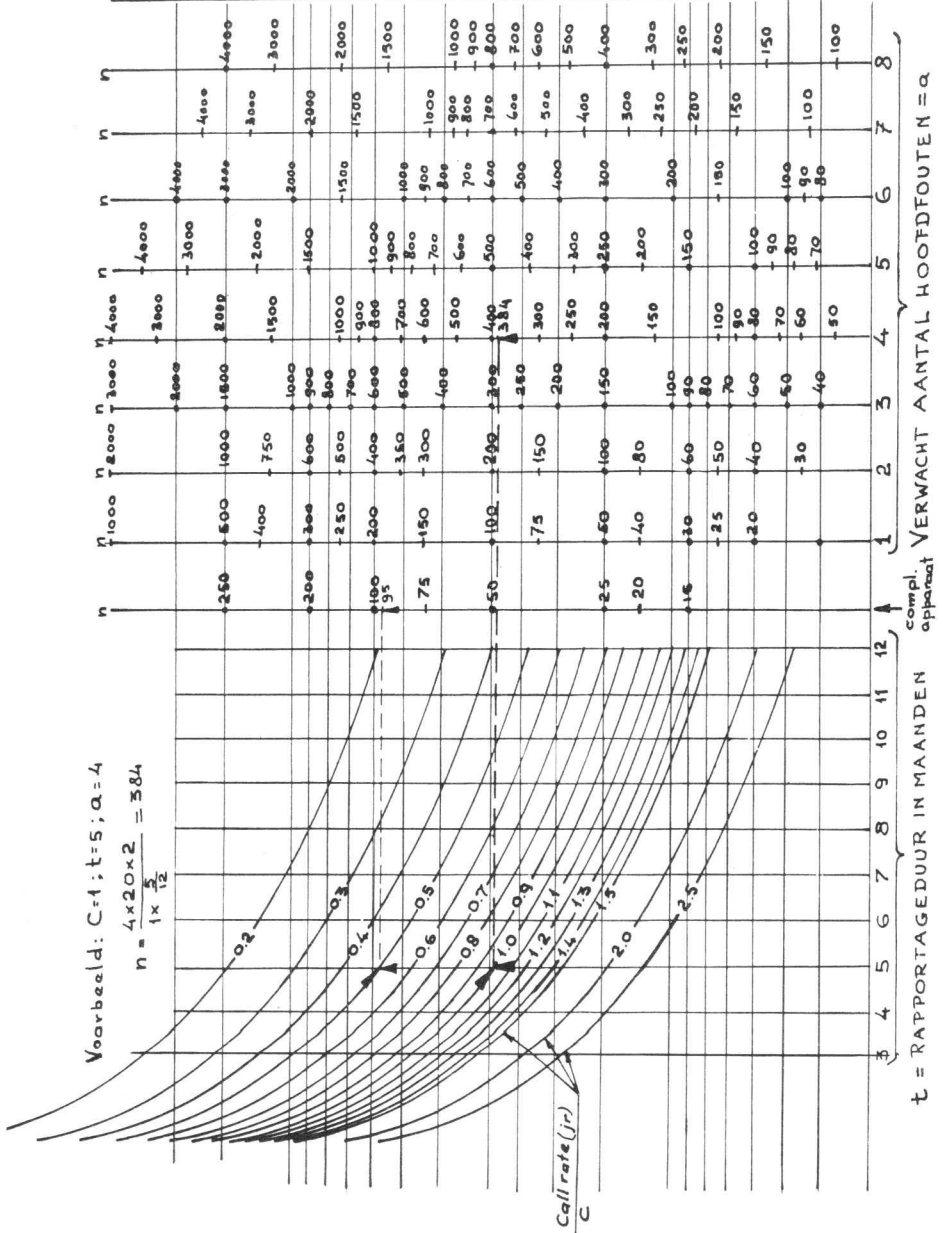


Fig. 8

6.2 Nomogram betrouwbaarheidsgrenzen

Voor het vaststellen van de betrouwbaarheidsgrenzen van de uitkomsten (call rate of failure rate) bestaan uiteraard formules. Gemakkelijker is echter onderstaand nomogram te hanteren. Uit het aantal fouten en de gekozen betrouwbaarheidsgrenzen worden de vermenigvuldigingsfactoren voor de uitkomst afgelezen. (b.v. bij 20 fouten en 90% grenzen vinden we respectievelijk $1,5 \times$ de uitkomst als bovengrens en $0,70 \times$ de uitkomst als ondergrens.

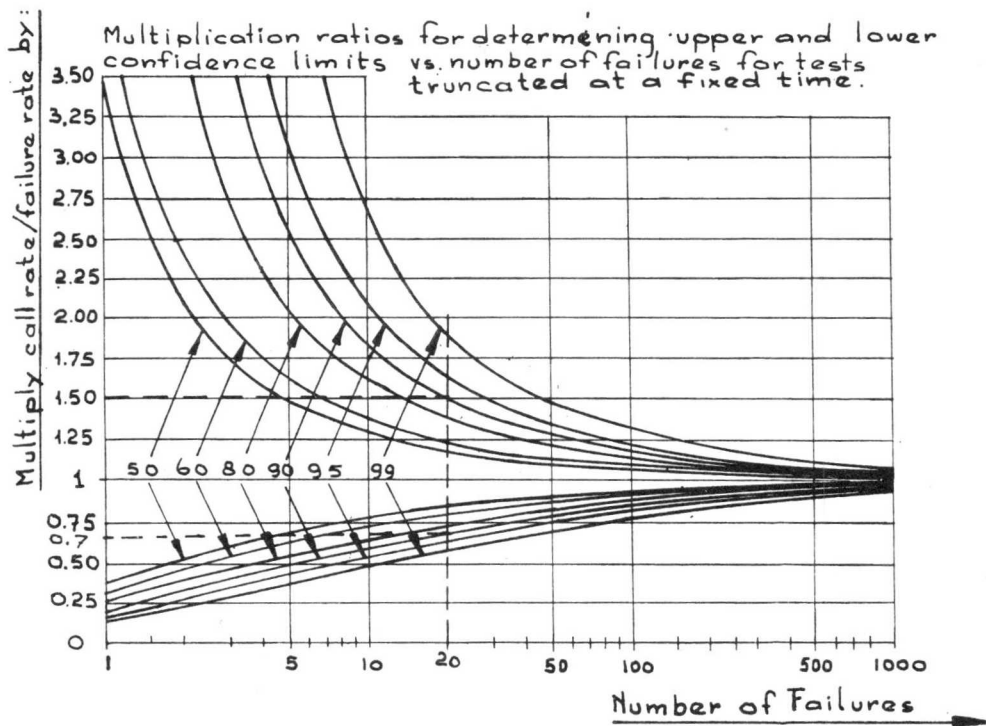


Fig. 9

7. De Poissonverdeling

Indien gebeurtenissen op volkomen toevallige wijze in de tijd plaatsvinden d.w.z. op ieder tijdstip een even grote kans hebben om voor te komen, zal de verdeling van het aantal gebeurtenissen per tijdsinterval van zekere lengte een Poissonverdeling zijn. De Poissonverdeling wordt bepaald door slechts één parameter, n.l. het gemiddeld aantal gebeurtenissen per interval (C'). De verdeling is discreet, daar gebeurtenissen slechts een geheel aantal malen voor kunnen komen. De Poissonverdeling voor gemiddelden van $C' = 1$ respectievelijk $0,5$ ziet er als volgt uit: De kans op het voorkomen van x gebeurtenissen wordt voorgesteld door $p\{x\}$. (Fig. 10).

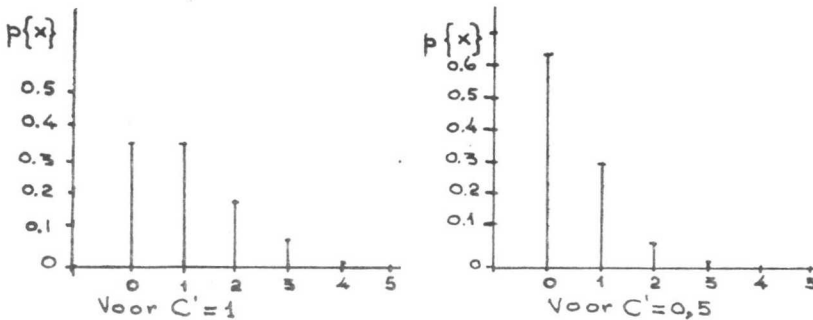


Fig. 10

Noemen we de gebeurtenis het optreden van defekten en het gemiddeld aantal gebeurtenissen het gemiddeld aantal defekten, dan kan de Poissonverdeling voor levensduurzaken als volgt worden gedefinieerd:

Indien defekten op volkomen toevallige wijze in de tijd optreden, d.w.z. op ieder tijdstip een even grote kans hebben om op te treden, zal de verdeling van het aantal defekten per tijdsinterval van een zeker aantal gebruiksuren een Poissonverdeling zijn. De Poissonverdeling wordt bepaald door slechts één parameter n.l. het gemiddeld aantal defekten per tijdsinterval, voorgesteld door het product λt .

Beschouwen we op een bepaald tijdstip b.v. na t gebruiksuren een apparaat, dan hebben we te maken met:

de kans P_0 dat het apparaat nog foutloos functioneert

de kans P_1 dat het apparaat $1 \times$ defekt is geweest

de kans P_2 dat het apparaat $2 \times$ defekt is geweest

enz.

de kans P_n dat het apparaat $n \times$ defekt is geweest.

De grootte van de kansen hangt af van het gemiddeld aantal defekten dat per apparaat is opgetreden (λt). (in t gebruiksuren)

De Poissonverdeling wordt beschreven door de volgende formule, welke de kans weergeeft op n gebeurtenissen (in ons geval n defekten) na een tijd t .

$$P_n = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \times e^{-\lambda t} \text{ d.w.z.}$$

$$\text{De kans op } n \text{ defekten} = \frac{(\text{gemiddeld aantal defekten})^n}{n!} \times e^{-\left(\begin{matrix} \text{gemiddeld aantal} \\ \text{defekten} \end{matrix}\right)}$$

$$P_0 = e^{-\lambda t} \text{ want } (\lambda t)^0 = 1 \text{ en } 0! = 1 \text{ (per definitie)}$$

$$P_1 = e^{-\lambda t} \cdot \lambda t$$

$$P_2 = e^{-\lambda t} \cdot \frac{\lambda^2 t^2}{2!}$$

$$P_3 = e^{-\lambda t} \cdot \frac{\lambda^3 t^3}{3!}$$

Berekenen we nu de kansen $P_0, P_1, P_2, P_3, P_{4 \geq}$ enz. voor een callrate $(\lambda t) = 1$ dan vinden we voor:

$$P_0 = 36,8\%$$

$$P_1 = 36,8\%$$

$$P_2 = 18,4\%$$

$$P_3 = 6,1\%$$

$$P_{4 \geq} = 1,9\%$$

In de praktijk zoeken we deze gegevens op in Poissontabellen. (zie bijlage 2).

7.1 Overlevingskans en Poissonverdeling

Onder 3 is het uitgangspunt, de constante waarde van λ , uiteengezet, waarbij de overlevingskans beschreven werd door de formule: $R = e^{-\lambda t}$.

Uit de toelichting onder 7 blijkt, dat de kans op nul defekten na een tijd t beschreven wordt door de formule: $P_0 = e^{-\lambda t}$

Hieruit volgt dat in geval van een constante λ de overlevingskans gelijk is aan de kans op nul defekten na een tijd t uit de Poissonverdeling.

Dus: $R = P_0 = e^{-\lambda t}$

Dat de Poissonverdeling kan worden toegepast is een aspect dat verhelderend werkt bij het vaststellen van normen voor de call rates. Stel dat door een commerciële afdeling een call rate wordt voorgesteld van gemiddeld 1 reparatie per apparaat per jaar. Men zal zich dan wel moeten realiseren, dat gezien de bijbehorende kansenverdeling (zie onder 7) 26% van de gebruikers met méér dan een reparatie geconfronteerd zal worden. Ook controle van deze verdeling bij een bedrijfszekerheids-onderzoek kan erg nuttig zijn, vooral als een ernstige verstoring optreedt. Verstoring heeft altijd een duidelijk aanwijsbare oorzaak. O.a. zijn epidemische fouten (zoals het met een zekere regelmaat optreden van dezelfde fout), slecht uitgevoerde reparaties en preventief repareren (het voorkómen van volgende defekten) van invloed op de werkelijke verdeling.

8. *Het beoordelen van de gegevens en grafieken*

8.1 **Grafiek R-waarden in de tijd** (zie 4.1 en 4.2)

Allereerst moet nagegaan worden of de grafiek volgens rechte c.q. gebroken lijnen verloopt. Is dit zo dan mogen we concluderen dat de uitvalsfrequentie λ constant is over een of meerdere perioden en dat het uitgangspunt dus juist is. Berekening van de call rate zal dan ook een betrouwbare uitkomst opleveren. Een uitspraak hierover op langere termijn kan door extrapolatie (zowel grafisch als berekend) worden verkregen.

8.2 **R-waarden vergelijking** (volgens 4.1 en 4.2)

Vergelijking van de met λ 's berekende lijn (4.2) met die van de uit werkelijke R-waarden opgebouwde (4.1) levert bij samenvallen geen extra informatie op. Vallen deze echter niet samen, dan is dit een indicatie voor epidemische fouten, slechte reparatiekwaliteit e.d. Bevestiging en oorzaak hiervan kan dan gevonden worden in het foutenoverzicht (periodieke concentratie van fouten) of in de verstoorde Poissonverdeling (afwijkend aantal 1^e, 2^e en 3^e reparaties in vergelijking met het aantal nog foutloze apparaten).

8.3 **Poissonverdeling**

Bestaat er op elk tijdstip van de levensduur een verband tussen de fracties of percentages apparaten (uit de steekproef) met 0, 1, 2 n reparaties? Uitgaande van het percentage met 0 reparaties zoeken we in de Poissontabel de bijbehorende percentages met 1, 2 enz. en vergelijken deze met de werkelijke waarden. Hebben we te doen met een verschuiving naar boven (b.v. te hoog % met 1 reparatie en te laag % met 2 en 3) dan wijst dit op preventieve handelingen bij reparatie zoals b.v. een afstelling. Bij een verschuiving naar beneden (b.v. te laag % met 1 reparatie en te hoog % met 2 en 3 reparaties) moet de conclusie zijn, dat teveel reparaties worden uitgevoerd. Dit kan twee redenen hebben:

- a. Epidemische fouten waardoor een vast herhalingspatroon van reparaties ontstaat. Bevestiging hiervan kan gevonden worden in het foutenoverzicht (periodieke concentratie van fouten).
- b. Slechte reparatiekwaliteit, waardoor een volgende reparatie veroorzaakt wordt. Bij het verzamelen van de gegevens kan hiermede al rekening gehouden worden.

Deze repeat reparaties wel noteren, doch niet in de gegevens voor de bedrijfszekerheidsmeting betrekken. Voor de service-organisatie zelf is dit een belangrijke informatie.

Klopt de Poissonverdeling met de werkelijkheid dan is het gemiddeld aantal defekten gelijk aan de call rate op dat tijdstip.

Ook bij het vaststellen van de percentages tevreden en ontevreden klanten levert de Poissonverdeling de informatie die we nodig hebben. Speciaal als we met lage call rates te doen hebben, is de invloed van kwaliteitsverbetering op het percentage tevreden klanten nauwelijks merkbaar. (Bij een call rate van 0,1 per jaar 99% en bij een call rate van 0,05 per jaar 99,5%).

8.4 Foutenoverzicht in de tijd

Bij het beoordelen van de grafieken en Poissonverdeling is reeds gewezen op het vinden van een bevestiging van indicaties. Indien het hele kwaliteitsgebeuren zuiver theoretisch zou verlopen, m.a.w. rechte lijnen op de grafiek en een Poissonverdeling, dan zal het foutenoverzicht primair de nodige informatie geven over het aandeel van de verschillende foutensoorten in de call rate en leiden tot de conclusie dat de uitvalsfrequenties van de foutensoorten in werkelijkheid failure rates zijn, welke informatie dan gebruikt kan worden bij het ontwikkelen van volgende typen.

In de praktijk zal het foutenoverzicht overzicht ook informatie leveren over:

- de lengte van de "kinderziekte"-periode
- de invloed van fabrieksfouten
- de invloed van conceptiefouten.

9. Praktijkvoorbeeld

Van type X werden van 224 apparaten de service gegevens over een gebruiksperiode van 18 maanden verzameld. (Alle apparaten zijn dus 18 maanden in gebruik).

- a. Op elk van de tijdstippen $t = 1$ t/m $t = 18$ mnd. werd het percentage apparaten dat nog niet defect geweest is, (R), vastgesteld.

<u>t in maanden</u>	<u>R in %</u>	<u>t in maanden</u>	<u>R in %</u>
1	90	10	36
2	72	11	33
3	67	12	31
4	62	13	29
5	60	14	28
6	53	15	25
7	48	16	24
8	41	17	23
9	39	18	22,7

Deze waarden voor R worden hierna grafisch weergegeven en als kruisjes aangeduid. (Zie figuur 11).

b. Verder werd een overzicht gemaakt van opgetreden fouten, zowel naar soort als tijdstip van optreden.

Mnd. in gebruik	Fouten-soort	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	Σ
GARANTIEPERIODE REPARATIES GRATIS	1	8	-	1	-	-	2	5	8	1	-	-	-	-	1	1	2	1	-	30
	2	6	-	-	1	2	1	3	4	3	-	-	1	-	1	1	-	1	-	24
	3	8	-	-	2	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	15
	4	4	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	11
	5	6	1	-	-	5	-	-	-	2	-	1	-	1	3	4	1	-	-	24
	6	8	-	-	2	4	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	2	19
	7	8	2	-	1	9	1	1	5	2	-	-	-	-	2	-	2	1	1	35
	8	1	-	-	2	6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	11
	9	6	-	1	-	5	-	1	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	17
	10	4	1	-	1	7	-	1	-	1	-	-	-	2	-	1	1	1	1	21
	11	5	-	-	3	11	-	-	-	1	2	-	-	1	-	3	-	-	-	26
	12	-	1	-	2	7	-	1	-	1	1	-	1	-	1	-	-	-	2	17
NA GARANTIE KLANJ BETAALT	13	1	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8
	14	3	-	-	-	7	-	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	14
	15	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
	16	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	4
	17	5	-	-	-	2	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	10
	18	5	-	-	-	5	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	13
Totaal		79	5	2	15	82	5	14	22	12	6	5	2	4	10	19	6	5	13	303

$$\text{Periode 0 t/m 2e maand: } \lambda_1 = \frac{30 + 24}{224} = \frac{54}{224} = 0,24 \text{ rep/app/2 mnd.}$$

$$R(\lambda_1) = 0,80 = R(2 \text{ mnd.})$$

Periode 3e t/m 7e maand:

$$\lambda_2 = \frac{15 + 11 + 24 + 19 + 35}{224} = \frac{104}{224} = 0,46 \text{ rep/app/5 mnd.}$$

$$R(\lambda_2) = 0,63$$

$$R(7 \text{ mnd}) = R(\lambda_1) \times R(\lambda_2) = 0,8 \times 0,63 = 0,50 = 50\%$$

Met deze λ_1 en λ_2 respectievelijk met $R_2 = 80\%$ en $R_7 = 50\%$ kunnen de λ_1 en λ_2 functies eveneens grafisch worden weergegeven. (Fig. 11).

Het resultaat van a en b ziet er als volgt uit:

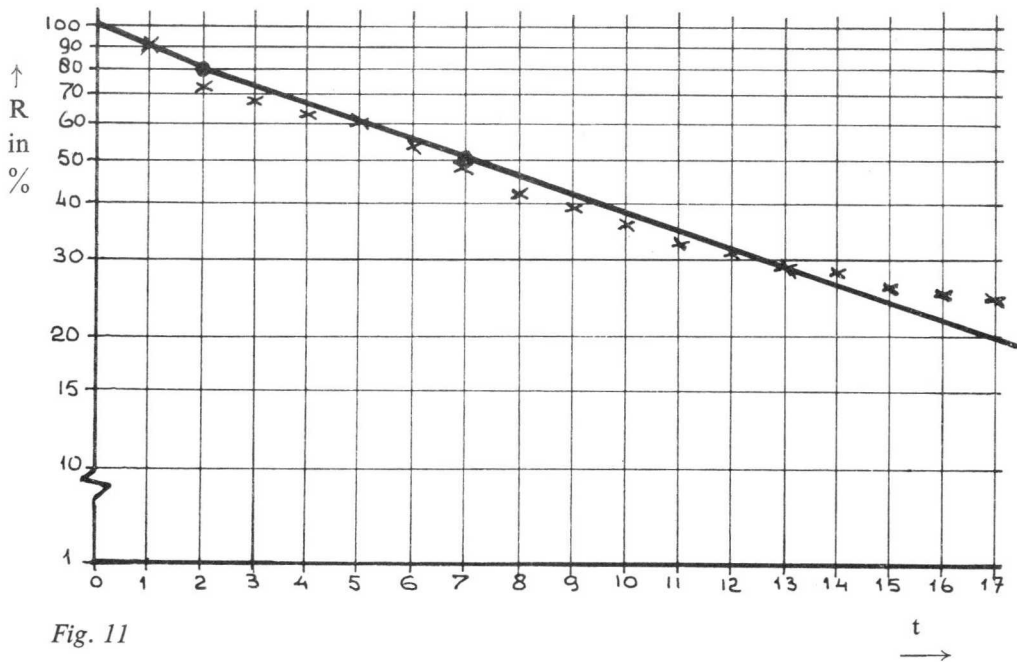


Fig. 11

- c. Op het tijdstip $t = 18$ werd nagegaan of de relatie van de percentages met nul, 1, 2, enz. reparaties nog Poisson verdeeld was.

Resultaat:

P_n	volgens Poisson tabel	Praktijk
$n = 0$ rep.	22.7%	22.7%
$n = 1$ rep.	34.0%	31.0%
$n = 2$ rep.	25.5%	23 %
$n = 3$ rep.	13.0%	11 %
$n = 4$ rep.	5.0%	6 %
$n = 5$ rep.	1.4%	3 %

Zoals onder 7 beschreven wordt uitgegaan van $P_0 = 22,7\%$.

De call rate/jr kunnen we als volgt berekenen:

Gem. aantal reparaties/app eerste 2 maanden + gem. aantal reparaties/app 3^e t/m 7^e maand, geëxtrapoleerd naar 10 maanden: dus gemiddeld:

$$0,24 + 0,46 \times \frac{10}{5} = 0,24 + 0,92 = 1,16 \text{ reparaties per apparaat per jaar.}$$

9.1 Negatief exponentieel verdeeld ?

Aangezien het verloop van R voorgesteld wordt door een rechte lijn en de werkelijke R -waarden overeenkomen met de uit de aantallen fouten berekende R -waarden kan geconcludeerd worden, dat het aangenomen wiskundig model juist is, en dat de informatie betrouwbare gegevens zal opleveren t.a.v. call rate e.d.

9.2 Poisson verdeeld ?

Ook deze aanname blijkt redelijk goed te kloppen gezien de resultaten na 18 maanden in tabel onder 9c. Er is geen enkele oorzaak aan te wijzen voor de geringe afwijkingen.

9.3 Conclusies van het onderzoek

Call rate: 1,16 per jaar.

Zou in de specificatie de bedrijfszekerheid zijn vastgelegd van gem. 0.8 call per apparaat per jaar dan zou dit apparaat dus niet aan de norm (gestelde eis) voldoen.

Hoofdoorzaken:

1^e fout a: 26% van het aantal fouten

2^e fout e: 27% van het aantal fouten

Uit het foutenoverzicht blijkt dat de fout e na 4 à 5 maanden zeer frequent op ging treden en dat hier sprake is van een duidelijke constructiefout (verstopping!).

In de grafische voorstelling van de bedrijfszekerheid (fig. 11) valt het effect van deze fout vrijwel samen met het afnemen van de kinderziekten, waardoor het knieeffect minder duidelijk is geworden. Verder toont de grafiek een duidelijke "verbetering" na 12 maanden. Reden is dat de klant minder kritisch geworden is, aangezien hij de reparatiekosten zelf moet gaan betalen.

Algemeen gesteld kan gezegd worden, dat deze totaal informatie een goed inzicht geeft in het kwaliteitsgebeuren gedurende de garantieperiode en een gezonde basis is om juiste beslissingen te nemen t.a.v. kwaliteitsverbetering. In dit geval ontstond van het apparaat een nieuwe versie Y waarin een aantal verbeteringen werd aangebracht.

10. *Bepalen van uitvalsfrequentie per onderdeel of subsamenstelling (failure rates)*

Is de informatie, zoals onder 9 uitgewerkt, van direct belang voor de beoordeling van het type zelf, indirect kan en moet van deze wetenschap gebruik worden gemaakt bij de ontwikkeling van nieuwe typen. Uit de beschikbare informatie kunnen we per foutensoort de uitvalsfrequentie per tijdseenheid (λ) vaststellen, waarbij eis is, dat deze fouten willekeurig zijn voorgekomen, zonder aanwijsbare oorzaak. Specifieke kinderziekten en echte constructiefouten moeten dus eerst geëlimineerd worden. Uit het foutenoverzicht dat dan rest, kan per foutensoort de gemiddelde uitvalsfrequentie per tijdseenheid worden bepaald. Ook hiervan nemen we aan dat dit een constante is. Foutensoorten, die wel mogelijk, doch niet voorgekomen zijn, stellen we voor de eenvoud op nul, hoewel hiervoor in principe de bovengrens van de gekozen betrouwbaarheid (b.v. 90%) genomen moet worden.

10.1 **Calculatie-aspecten**

Om de kans op foutloos functioneren (R) op een tijdstip "t" te kunnen berekenen is het van belang te weten hoe en in welke mate onderdelen of subsamenstellingen bepalend zijn voor het functioneren van een apparaat.

Hoewel er een aantal verschillende situaties zijn te bedenken, hebben we voor apparaten in de non- en semi-professionele sector in de regel te maken met de situatie dat een apparaat a.h.w. bestaat uit een keten van elementen die ieder voor zich het al dan niet functioneren van het apparaat kunnen bepalen.



De bedrijfszekerheid van het apparaat wordt in zo'n situatie bepaald door het product van de bedrijfszekerheid van de elementen waaruit het apparaat is opgebouwd. De overlevingskans van het apparaat = Het product van de overlevingskansen van de elementen.

$$R_{app} = R_a \times R_b \times R_c \times \dots \times R_n$$

$$e^{-\lambda t} = e^{-\lambda_a t} \times e^{-\lambda_b t} \times e^{-\lambda_c t} \times \dots \times e^{-\lambda_n t}$$

$$\text{hieruit volgt: } \lambda_{app} = \lambda_a + \lambda_b + \lambda_c + \dots + \lambda_n$$

Dit is een zeer belangrijke conclusie;

Dus, als de λ 's (uitvalsfrequenties per tijdseenheid) van alle bepalende elementen bekend zijn, is ook de totale λ (uitvalsfrequentie van het complete apparaat per zelfde tijdseenheid) bekend. Dit betekent dat de call rate vooraf voorspeld zou kunnen worden.

10.2 Voorspelling call rate nieuw type Y

Na eliminatie van specifieke kinderziekten en de gesignaleerde constructiefout is met de overgebleven gegevens van tabel 9b per foutensoort de λ_2 per maand vastgesteld. Verder werd het te verwachten effect van de doorgevoerde constructiewijzigingen vastgesteld o.a. door lab. proeven (correctiefactor op de λ_2 's).

De λ_2 's voor type Y worden gevonden door de λ_2 's type X te vermenigvuldigen met deze correctiefactoren. Door optelling vinden we dan de te verwachten λ_2 -apparaat van type Y per maand. Aangenomen is dat de kinderziekten na 1 maand "over" zijn en dat de $R_{(t=1\text{mnd})} = 85\%$ ($\lambda_1 = 0,16$ rep/mnd)

Foutensoort	λ_2 's Foutensoorten type X/maand	Correctiefactor (geschat)	λ_2 's Foutensoorten type Y/maand
a	0.02460	0,5	0.01230
b	0.00186	—	0.00186
c	0.00037	—	0.00037
d	0.00596	0,8	0.00475
e	0.02190	0,1	0.00219
f	0.00112	0,4	0.00045
g	0.00409	—	0.00409
h	0.00558	—	0.00558
i	0.00336	0,5	0.00168
j	0.00149	—	0.00149
k + q	0.00261	—	0.00261
l	0.00037	—	0.00037
m	0.00149	—	0.00149
n	0.00298	—	0.00298
o	0.00708	0,5	0.00354
p	0.00186	0,7	0.00124
q	zie k	—	—
r	0.00223	—	0.00223
λ_2 -apparaat per maand	0.0829	—	0.0432

λ_2 -apparaat van type Y = 0,0432 per maand.

Deze geldt 11 maanden:

$$R\lambda_{2(t=11)} = e^{-\lambda_2 t} = e^{-0.0432 \times 11} = e^{-0.48}$$

$$R\lambda_2 = 0,62 = 62\%$$

$$R\lambda_1 = R_1 = 0,85 \quad R_{12} \text{ op grafiek} = R\lambda_1 \times R\lambda_2 = 0,85 \times 0,62 = 0,53 = 53\%$$

Grafisch voorgesteld:

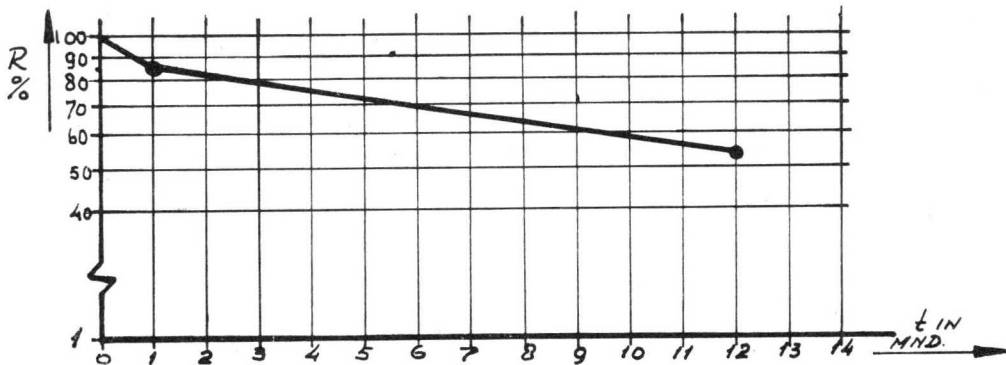


Fig. 12

Het gemiddeld aantal te verwachten reparaties per apparaat per jaar kan nu met deze gegevens voorspeld worden. Deze call rate wordt:

$$\lambda_1 \times 1 + \lambda_2 \times 11 = 0,16 + 0,48 = 0,64 \text{ per jaar}$$

11. Onderzoek bedrijfszekerheid type Y.

Van dit type werden alle service-gegevens verzameld van 264 apparaten over een gebruiksperiode van 24 weken.

- a. Op elk van de tijdstippen $t = 1$ t/m $t = 24$ werd het percentage apparaten dat nog niet gerepareerd was, vastgesteld met het volgende resultaat:

<u>t in weken</u>	<u>R in %</u>	<u>t in weken</u>	<u>R in %</u>
1	99.2	13	82.3
2	95.8	14	81.0
3	92.8	15	80.3
4	91.6	16	79.2
5	89.8	17	78.8
6	88.2	18	78.4
7	87.7	19	77.3
8	86.0	20	76.5
9	85.6	21	75.8
10	84.5	22	75.4
11	84.1	23	74.6
12	83.0	24	74.3

Na behandeling van punt b zullen deze gegevens grafisch worden weergegeven op de eerder omschreven wijze. (Fig. 13).

b. Het overzicht van de fouten zowel naar soort als tijdstip van optreden.

Fout Week	Fout																															Totaal		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1				/																														2
2	2									/		/		/	/	/															/		9	
3							2	/		/		/							/	/		/											8	
4	/																							2									3	
5	/	/					3	/								/																	6	
6	/		/				/																				/						4	
7							/			/					/	/		/									/						5	
8							/				/																						2	
9							/	/																									2	
10							2																						/				3	
11																												/						/
12						/		/	/																									3
13							2										/																	3
14							/						2			/																		4
15	/						/																		/									3
16				/			2																											3
17							/																											/
18																/																		/
19							/																/							/				3
20												/											/											2
21							2																									/		3
22	/																																	/
23								/		/																								2
24							/																											1
Tot.	6	/	/	/	/	/	22	/	4	/	3	/	/	4	/	3	5	2	/	/	/	2	/	2	/	/	2	/	/	/	/	75		

Voor de berekeningen werden de weekgegevens omgezet in maandgegevens om te kunnen vergelijken met de voorspelde waarden.

Gedurende de eerste maand kwamen voor 25 fouten; $\lambda_1 = \frac{25}{264} = 0,095$ rep/app/mnd.
 $R_{(\lambda_1)}$ uit e-tabel wordt $0,90 = R_1 = 90\%$.

Gedurende de volgende 5 maanden (14 dgn geëxtrapoleerd) kwamen voor 57 fouten.

$$\lambda_2 = \frac{57}{264 \times 5} = 0,043 \text{ rep/app/mnd.}$$

$$\lambda_2 t_{(5)} = 0,043 \times 5 = 0,215$$

$R_{(\lambda_2 t=5)}$ wordt volgens e-tabel: 0,804

$$R_6 \text{ in grafiek wordt } R_{(\lambda_1)} \times R_{(\lambda_2 t=5)} = 0,9 \times 0,804 = 0,7236$$

De call rate wordt, geëxtrapoleerd naar 1 jaar:

$$C = 0,095 + 0,043 \times 11 = 0,095 + 0,483 = 0,58/\text{jaar.}$$

We kunnen nu de gegevens van 11a en 11b grafisch weergeven op de manier zoals eerder aangegeven (Fig. 13).

Ter vergelijking is ook de voorspellingslijn uit 10.2 getekend (Fig. 12).

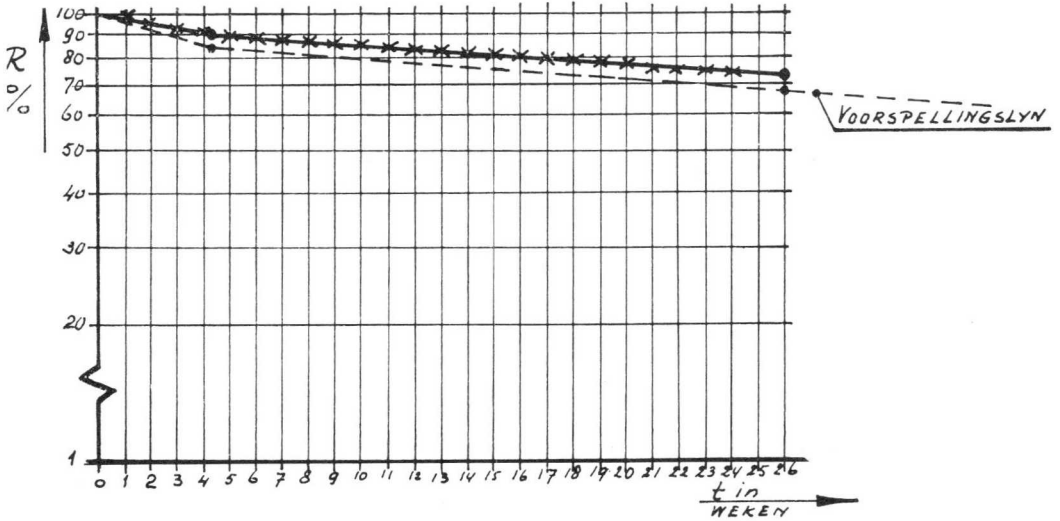


Fig. 13

De enige afwijking t.o.v. de voorspelling is het gemiddeld aantal reparaties per apparaat gedurende de kinderziekteperiode. (R voorspeld = 85%; R praktijk = 90%).

c. Op het tijdstip $t = 24$ werd nagegaan of er sprake is van een Poissonverdeling.

P_n	Aantal apparaten	Praktijk %	Volgens Poissontabel
$n = 0$ rep	196	74,3	74,3
$n = 1$ rep	63	23,8	22,3
$n = 2$ rep	2	1,12	3,3
$n = 3$ rep	2	0,76	0,4

Gezien de resultaten kunnen we stellen dat dit inderdaad het geval is.

Conclusie van het onderzoek

Gestelde norm 0,8 } Apparaat is beter dan de gestelde eis.
Praktijk 0,6 }

De belangrijkste fout is nr. 7 (fout a. uit onderzoek type X; zie 9b) hoewel de geschatte verbetering van 50% gerealiseerd werd. Ook hier blijkt de aanname, dat het kwaliteitsgebeuren voor te stellen is door e-functies $R = e^{-\lambda t}$, juist. Het resultaat is zelfs beter dan dat van type X. Werkelijkheid (kruisjes) volgt de berekende lijn erg nauwkeurig.

12. Bedrijfszekerheidscijfers en hun waarde

- a. Het is mogelijk de bedrijfszekerheid van apparatuur te meten en te beoordelen.
- b. De garantie-kosten kunnen op basis van bedrijfszekerheidscijfers worden vastgesteld en beoordeeld.
- c. Uit het foutenoverzicht volgt welke fouten het grootste aandeel in de uitval hebben; rangschikken naar garantie-kosten is ook mogelijk.
- d. Het beslissen tot en het doorvoeren van wijzigingen kan doelgericht en sneller gebeuren.
- e. Uitvalsfrequenties per tijdseenheid (λ 's) kunnen verzameld worden en als „handboek” ter beschikking van ontwerpers worden gesteld om de bedrijfszekerheid voorcalculatorisch vast te stellen.
- f. Door vergelijkende weloverwogen verzwaarde beproeving van bestaande (λ bekend) en nieuwe constructie of onderdelen is het mogelijk een voorlopige λ van de nieuwe versie vast te stellen. Echte levensduurproeven duren lang en vragen enorm veel onderdelen.
- h. Voor service-organisaties zijn de bedrijfszekerheidscijfers van groot belang voor organisatorische en budgettaire aspecten zoals: bezetting, ruimte-planning, onderhouds- en service-contracten, serviceability en onderdelenvoorziening.
- i. De presentatie van de gegevens kan overzichtelijk en beknopt gehouden worden hetgeen de leesbaarheid ten goede komt. (Zie bijlage 3 voor een voorbeeld).

13. *Besluit*

Resumerend kan gesteld worden dat door de toepassing van deze techniek een beter inzicht wordt verkregen in de kwaliteit van apparaten. Deze aanpak is dan ook een echte "*TOOL OF MANAGEMENT*".

De verwachting is, dat deze techniek in de komende jaren geïntegreerd zal worden binnen H.I.G.'en en Service en zal leiden tot een betere beheersing van het "ontwikkelproces", met als resultaat evenwichtiger ontwerpen, minder kosten en hoger rentabiliteit.

$$R = e^{-\lambda t}$$

Bijlage 1

λt	$e^{-\lambda t}$	λt	$e^{-\lambda t}$	λt	$e^{-\lambda t}$	λt	$e^{-\lambda t}$
0.00	1.0000	0.50	0.6065	1.00	0.3679	5.0	0.00674
01	0.9900	51	0.6005	05	0.3499	5.1	0.00610
02	0.9802	52	0.5945	10	0.3329	5.2	0.00552
03	0.9704	53	0.5886	15	0.3166	5.3	0.00499
04	0.9608	54	0.5827	20	0.3012	5.4	0.00452
0.05	0.9512	0.55	0.5769	1.25	0.2865	5.5	0.00409
06	0.9418	56	0.5712	30	0.2725	5.6	0.00370
07	0.9324	57	0.5655	35	0.2592	5.7	0.00335
08	0.9231	58	0.5599	40	0.2466	5.8	0.00303
09	0.9139	59	0.5543	45	0.2346	5.9	0.00274
0.10	0.9048	0.60	0.5488	1.50	0.2231	6.0	0.002479
11	0.8958	61	0.5434	55	0.2122	6.1	0.002243
12	0.8869	62	0.5379	60	0.2019	6.2	0.002029
13	0.8781	63	0.5326	65	0.1920	6.3	0.001836
14	0.8694	64	0.5273	70	0.1827	6.4	0.001662
0.15	0.8607	0.65	0.5220	1.75	0.1738	6.5	0.001503
16	0.8521	66	0.5169	80	0.1653	6.6	0.001360
17	0.8437	67	0.5117	85	0.1572	6.7	0.001261
18	0.8353	68	0.5066	90	0.1496	6.8	0.001114
19	0.8270	69	0.5016	95	0.1437	6.9	0.001008
0.20	0.8187	0.70	0.4966	2.0	0.1353	7.0	0.000912
21	0.8106	71	0.4916	2.1	0.1225	7.1	0.000825
22	0.8025	72	0.4868	2.2	0.1108	7.2	0.000747
23	0.7945	73	0.4819	2.3	0.1003	7.3	0.000676
24	0.7866	74	0.4771	2.4	0.09072	7.4	0.000611
0.25	0.7788	0.75	0.4724	2.5	0.08208	7.5	0.000553
26	0.7711	76	0.4677	2.6	0.07427	7.6	0.000500
27	0.7634	77	0.4630	2.7	0.06721	7.7	0.000453
28	0.7558	78	0.4584	2.8	0.06081	7.8	0.000410
29	0.7483	79	0.4538	2.9	0.05502	7.9	0.000371
0.30	0.7408	0.80	0.4493	3.0	0.04979	8.0	0.000335
31	0.7334	81	0.4449	3.1	0.04505	8.1	0.000304
32	0.7261	82	0.4404	3.2	0.04076	8.2	0.000275
33	0.7189	83	0.4360	3.3	0.03688	8.3	0.000249
34	0.7118	84	0.4317	3.4	0.03337	8.4	0.000225
0.35	0.7047	0.85	0.4274	3.5	0.03020	8.5	0.000203
36	0.6977	86	0.4232	3.6	0.02732	8.6	0.000184
37	0.6907	87	0.4190	3.7	0.02472	8.7	0.000167
38	0.6839	88	0.4148	3.8	0.02237	8.8	0.000151
39	0.6771	89	0.4107	3.9	0.02024	8.9	0.000136
0.40	0.6703	0.90	0.4066	4.0	0.01832	9.0	0.000123
41	0.6637	91	0.4025	4.1	0.01657	9.1	0.000112
42	0.6570	92	0.3985	4.2	0.01500	9.2	0.000101
43	0.6505	93	0.3946	4.3	0.01357	9.3	0.000091
44	0.6440	94	0.3906	4.4	0.01228	9.4	0.000083
0.45	0.6376	0.95	0.3867	4.5	0.01111	9.5	0.000075
46	0.6313	96	0.3829	4.6	0.01005	9.6	0.000068
47	0.6250	97	0.3791	4.7	0.00910	9.7	0.000061
48	0.6188	98	0.3753	4.8	0.00823	9.8	0.000055
49	0.6126	99	0.3716	4.9	0.00745	9.9	0.000050



POISSONVERDELING

Bijlage 2

$$\text{Frekwentie functie: } P_n = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda t}$$

 λt

n	.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50
0	.9512	.9048	.8607	.8187	.7788	.7408	.7047	.6703	.6376	.6065
1	.0476	.0905	.1291	.1637	.1947	.2222	.2466	.2681	.2869	.3033
2	.0012	.0045	.0097	.0164	.0243	.0333	.0432	.0536	.0646	.0758
3	.0000	.0002	.0005	.0011	.0020	.0033	.0050	.0072	.0097	.0126
4		.0000	.0000	.0001	.0001	.0003	.0004	.0007	.0011	.0016
5				.0000	.0000	.0000	.0000	.0001	.0001	.0002
6								.0000	.0000	.0000
n	.55	.60	.65	.70	.75	.80	.85	.90	.95	1.00
0	.5770	.5488	.5220	.4966	.4724	.4493	.4274	.4066	.3867	.3679
1	.3173	.3293	.3393	.3476	.3543	.3595	.3633	.3659	.3674	.3679
2	.0873	.0988	.1103	.1217	.1329	.1438	.1544	.1647	.1745	.1839
3	.0160	.0198	.0239	.0284	.0332	.0383	.0437	.0494	.0553	.0613
4	.0022	.0030	.0039	.0050	.0062	.0077	.0093	.0111	.0131	.0153
5	.0002	.0004	.0005	.0007	.0009	.0012	.0016	.0020	.0025	.0031
6	.0000	.0000	.0001	.0001	.0001	.0002	.0002	.0003	.0004	.0005
7				.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0001	.0001
8								.0000	.0000	.0000
n	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0	.3329	.3012	.2725	.2466	.2231	.2019	.1827	.1653	.1496	.1353
1	.3662	.3614	.3543	.3452	.3347	.3230	.3106	.2975	.2842	.2707
2	.2014	.2169	.2303	.2417	.2510	.2584	.2640	.2678	.2700	.2707
3	.0738	.0867	.0998	.1128	.1255	.1378	.1496	.1607	.1710	.1804
4	.0203	.0260	.0324	.0395	.0471	.0551	.0636	.0723	.0812	.0902
5	.0045	.0062	.0084	.0111	.0141	.0176	.0216	.0260	.0309	.0361
6	.0008	.0012	.0018	.0026	.0035	.0047	.0061	.0078	.0098	.0120
7	.0001	.0002	.0003	.0005	.0008	.0011	.0015	.0020	.0027	.0034
8	.0000	.0000	.0001	.0001	.0001	.0002	.0003	.0005	.0006	.0009
9			.0000	.0000	.0000	.0000	.0001	.0001	.0001	.0002
10							.0000	.0000	.0000	.0000
n	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
0	.1225	.1108	.1003	.0907	.0821	.0743	.0672	.0608	.0550	.0498
1	.2572	.2438	.2306	.2177	.2052	.1931	.1815	.1703	.1596	.1494
2	.2700	.2681	.2652	.2613	.2565	.2510	.2450	.2384	.2314	.2240
3	.1890	.1966	.2033	.2090	.2138	.2176	.2205	.2225	.2237	.2240
4	.0992	.1082	.1169	.1254	.1336	.1414	.1488	.1557	.1622	.1680
5	.0417	.0476	.0538	.0602	.0668	.0735	.0804	.0872	.0940	.1008
6	.0146	.0174	.0206	.0241	.0278	.0319	.0362	.0407	.0455	.0504
7	.0044	.0055	.0068	.0083	.0099	.0118	.0139	.0163	.0188	.0216
8	.0011	.0015	.0019	.0025	.0031	.0038	.0047	.0057	.0068	.0081
9	.0003	.0004	.0005	.0007	.0009	.0011	.0014	.0018	.0022	.0027
10	.0001	.0001	.0001	.0002	.0002	.0003	.0004	.0005	.0006	.0008
11	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0001	.0001	.0001	.0002	.0002
12						.0000	.0000	.0000	.0000	.0001
n	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
0	.0408	.0334	.0273	.0224	.0183	.0150	.0123	.0101	.0082	.0067
1	.1304	.1135	.0984	.0850	.0733	.0630	.0540	.0462	.0395	.0337
2	.2087	.1929	.1771	.1615	.1465	.1323	.1188	.1063	.0948	.0842
3	.2226	.2186	.2125	.2046	.1954	.1852	.1743	.1631	.1517	.1404
4	.1781	.1858	.1912	.1944	.1954	.1944	.1917	.1875	.1820	.1755
5	.1140	.1264	.1377	.1477	.1563	.1633	.1687	.1725	.1747	.1755
6	.0608	.0716	.0826	.0936	.1042	.1143	.1237	.1323	.1398	.1462
7	.0278	.0348	.0425	.0508	.0595	.0686	.0778	.0869	.0959	.1044
8	.0111	.0148	.0191	.0241	.0298	.0360	.0428	.0500	.0575	.0653
9	.0040	.0056	.0076	.0102	.0132	.0168	.0209	.0255	.0307	.0363
10	.0013	.0019	.0028	.0039	.0053	.0071	.0092	.0118	.0147	.0181
11	.0004	.0006	.0009	.0013	.0019	.0027	.0037	.0049	.0064	.0082
12	.0001	.0002	.0003	.0004	.0006	.0009	.0014	.0019	.0026	.0034
13			.0001	.0001	.0002	.0003	.0005	.0007	.0009	.0013
14					.0001	.0001	.0001	.0002	.0003	.0005
15								.0001	.0001	.0002

RAPPORT*Bijlage 3**Betr.* Bedrijfszekerheid (reliability) van een hoorapparaat*Datum:* 23 november 1967

Het onderzoek werd uitgevoerd bij de service organisatie voor hoorapparaten.

Geanalyseerd werden:

A De levensduurgegevens van een aantal apparaten

B De beschikbare informatie over de vóór-verkoop-periode.

*Ad A:**Levensduur gegevens* Aantal apparaten: 546 Gebruiksduur : minimaal 26 weken ($\frac{1}{2}$ jaar)**Resultaten**

Van de 546 apparaten waren er, na 26 weken gebruik door de klant, nog 484 foutloos, dit is 88.7%. Volgens de door Service toegepaste reliabilitytechniek hoort hier een gemiddelde reparatiefrequentie bij van 0.125 per apparaat per 26 weken ($\frac{1}{2}$ jaar). Geëxtrapolerd naar één jaar wordt dat 0,25 (call rate: 0,25 per jaar). In deze periode van 26 weken werden 62 apparaten gerepareerd en hieraan 70 reparaties uitgevoerd. (52×1 rep.; 9×2 rep.) Volgens deze benadering is de gemiddelde reparatiefrequentie $\frac{70}{546} = 0.128$ per apparaat per 26 weken. Dat het voorkomen van defecten in de tijd

constant is blijkt zowel uit de grafische voorstelling van de percentages heel gebleven apparaten in de tijd (zie bijlage a; verloop moet rechte lijn benaderen), als uit het foutenoverzicht in de tijd (zie bijlage b). De uitvalsfrequenties per tijdseenheid van onderdelen kunnen dan ook gezien worden als constante waarden; failure rates (zie blz. 43).

*Noot 1*In deze periode werden apparaten met "Geen afwijking" $4 \times$ aangeboden. Per jaar isdit $\frac{4 \times 2}{546} = 0,015$ Nuisance call's per verkocht apparaat.*Noot 2*De reparatiekwaliteit is bijzonder goed gezien het feit dat slechts één apparaat moeilijkheden gaf. (binnen 6 weken $4 \times$ aangeboden).*Noot 3*

Van de steekproef van 546 apparaten waren 120 apparaten 48 weken oud. De gegevens hiervan tonen aan dat extrapolatie verantwoord is. De call rate is in beide gevallen dezelfde.

ad B: Vóór-verkoop-periode

Uit de beschikbare gegevens van de maanden april, mei en juni 1967 (verkopen en reparaties) werd vastgesteld dat in deze periode per verkocht apparaat 0.067 reparaties worden uitgevoerd. Bij 32 apparaten werden de volgende fouten en redenen omschreven:

onderbreking	7 ×
kortsluiting (k1)	3 ×
C 1	5 ×
OM 200	3 ×
SK 1	2 ×
Slechte lassen	2 ×
Strooifouten	3 ×
Diversen	1 ×
Omruil	5 ×
Geen afwijking	4 ×
Omruil	5 ×

Reparaties met technische oorzaken	0.0485	call's/app.
"Reparaties" omruil	0.0084	„
"Reparaties" geen afwijking	0.01	„
Totaal	= 0.067	„

Noot:

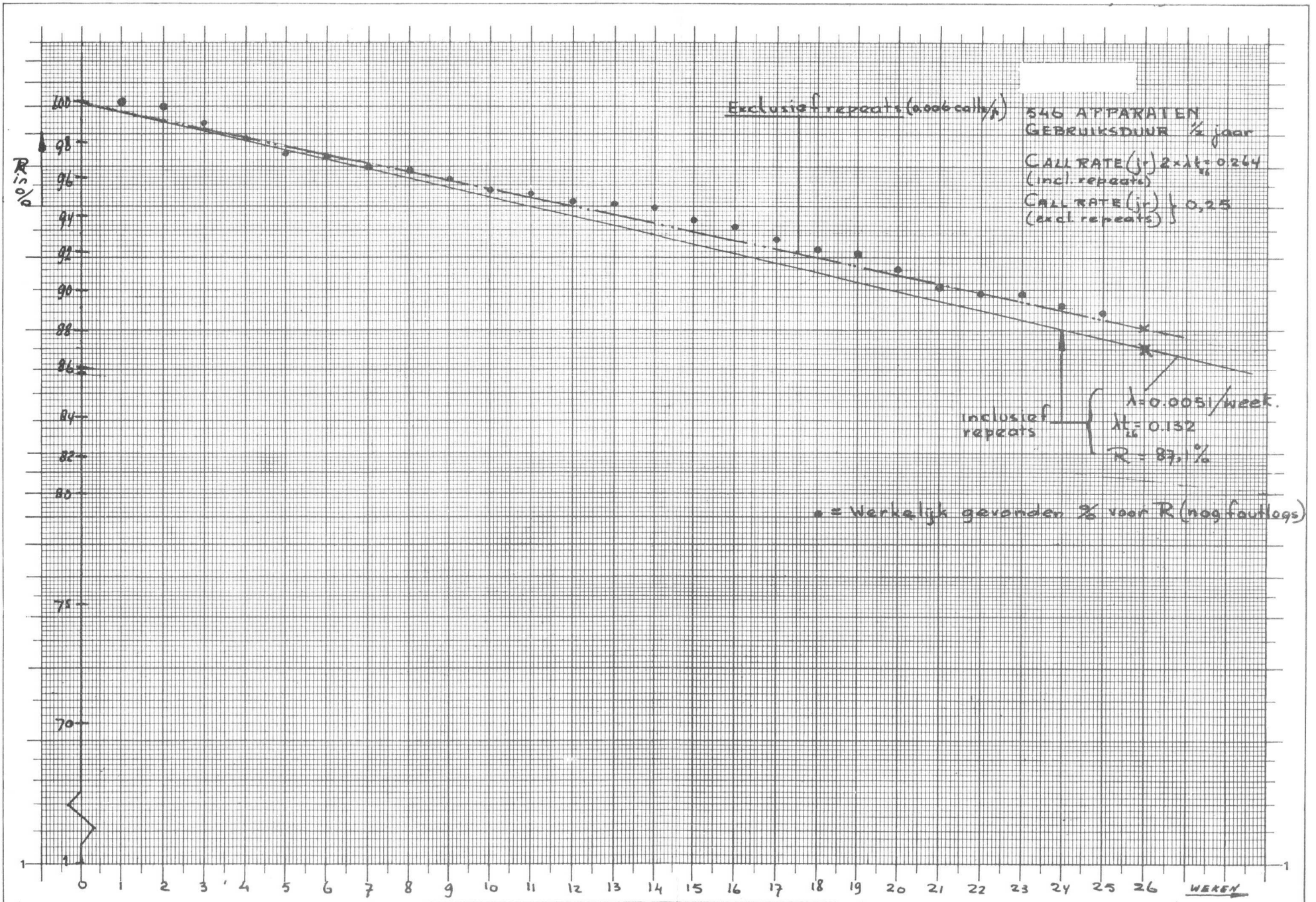
Er wordt vóór aflevering aan de handel 100% controle toegepast.

N.B.

Ook voor deze artikelsoort blijkt dat de uitvalsfrequentie per tijdseenheid constant is (negatief exponentiële verdeling $R = e^{-\lambda t}$) en dat de relatie tussen de percentages apparaten met nul, een en twee reparaties na 26 weken een Poissonverdeling is.

Uitvalsfrequenties foutensoorten

Foutensoort	Voor- gekomen	Uitvals frequentie/ $\frac{1}{2}$ jaar	Failure rate/jr.
Batterij contact B	1 ×	0.001831	0.0036
Microfoon 002	5 ×	0.009155	0.0183
Onderbreking U 1	8 ×	0.014648	0.0290
Diversen D	6 ×	0.010986	–
Ophanging A	3 ×	0.005493	0.0110
Condensator C 1	10 ×	0.018310	0.0366
Kortsluiting k 3	1 ×	0.001831	0.0036
Soldeerverb. L 1	2 ×	0.003662	0.0072
Condensator C 2	6 ×	0.010986	0.0220
Schakelaar SK 1	6 ×	0.010986	0.0220
Kortsluiting K 1	3 ×	0.005493	0.0110
Onderbreking U 3	2 ×	0.003662	0.0072
Telefoon 024	5 ×	0.009155	0.0183
Volumeregelaar 004	1 ×	0.001831	0.0036
Strooifouten V	1 ×	0.001831	–
Onderbreking U 2	2 ×	0.003662	0.0072
Soldeerverb. L 3	1 ×	0.001831	0.0036
OM 200/0 15	2 ×	0.003662	0.0072
Onderbreking U 5	1 ×	0.001831	0.0036
Onderbreking U	1 ×	0.001831	0.0036
Condensator C 4	1 ×	0.001831	0.0036
Huis O 26	1 ×	0.001831	0.0036
Ophanging A 1	1 ×	0.001831	0.0036



FOUTENOVERZICHT
IN DE TYD

Foutomschrijving	Code Aard	Week 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	TOTAAL		
Batterij onbruikbaar	AA							1																				1		
Nuisance (geen afwijking)	BB							1		1					1													3		
Battery contact	B			1																								1		
Microfoon	002							1					1										1	(2)		1		(6)5		
Onderbreking	U1				1		1				1	1						1	2							1	8			
Diversen	D				1																2	1	1	1				6		
Ophanging	A																	1				2						3		
Condensator kortsluiting	C1		1			3		1	1				1				1									1	1	10		
Soldeerverb.	L1											1			1													2		
Condensator	C2			1													1		1							1	2	6		
Schakelaar kortsluiting	SK1			2		1										2							(2)					(7)6		
Onderbreking	U3			1										1														2		
Telefoon	024									1	1		1			1						1						5		
Volumeregelaar	004																					1						1		
Strooifouten	V												1															1		
Onderbreking	U2																	1		1								2		
Soldeerverb.	L3											1																1		
OM200	015																								1		1	2		
Onderbreking	U5		1																									1		
kortsluiting	K2																											-		
Onderbreking	U				1																							1		
Hoorspoel	023																											(1)		
Condensator	C4														1													1		
Huis	026																										1	1		
Ophanging	A1																						1					1		
TOTAAL		-	2	5	3	4	1	3	2	2	4	2	4	1	1	4	2	3	3	(2)	2	5	(5)	(4)	(3)	2	1	4	5	(73)70
																													() = REPEAT REPARATIE	

FOUTENOVERZICHT
IN DE TYD

Foutomschrijving	Code Aand	Waat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	TOTAAL	
Batterij onbruikbaar	AA								1																				1	
Nuisance (Geen afwijking)	BB								1		1					1													3	
Battery contact	B			1																									1	
Microfoon	002								1					1									1	(2)		1			(6)5	
Onderbreking	U1				1		1					1	1						1	2						1		8		
Diversen	D				1																	2	1	1	1				6	
Ophanging	A																		1				2						3	
Condensator kortsluiting	C1		1			3		1	1					1				1								1	1		10	
Soldeerverb.	L1											1				1													2	
Condensator	C2			1														1		1						1	2		6	
Schakelaar	SK1			2		1											2						(2)						(7)6	
Kortsluiting	K1								1		1	1																	3	
Onderbreking	U3			1										1															2	
Telefoon	024									1	1			1													1		5	
Volumeregelaar	004																						1						1	
Strooifouten	V													1															1	
Onderbreking	U2																		1		1								2	
Soldeerverb.	L3											1																	1	
OM200	015																									1	1		2	
Onderbreking	U5		1																										1	
Kortsluiting	K2																												-	
Onderbreking	U				1																								1	
Hoorspoel	023																												(1)	
Condensator	C4															1													1	
Huis	026																										1		1	
Ophanging	A1																									1			1	
TOTAAL			-	2	5	3	4	1	3	2	2	4	2	4	1	1	4	2	3	3	(2)	2	5	(5)	(3)	2	1	4	5	(73)70
																														() = REPEAT REPARATIE

4822 725 10289