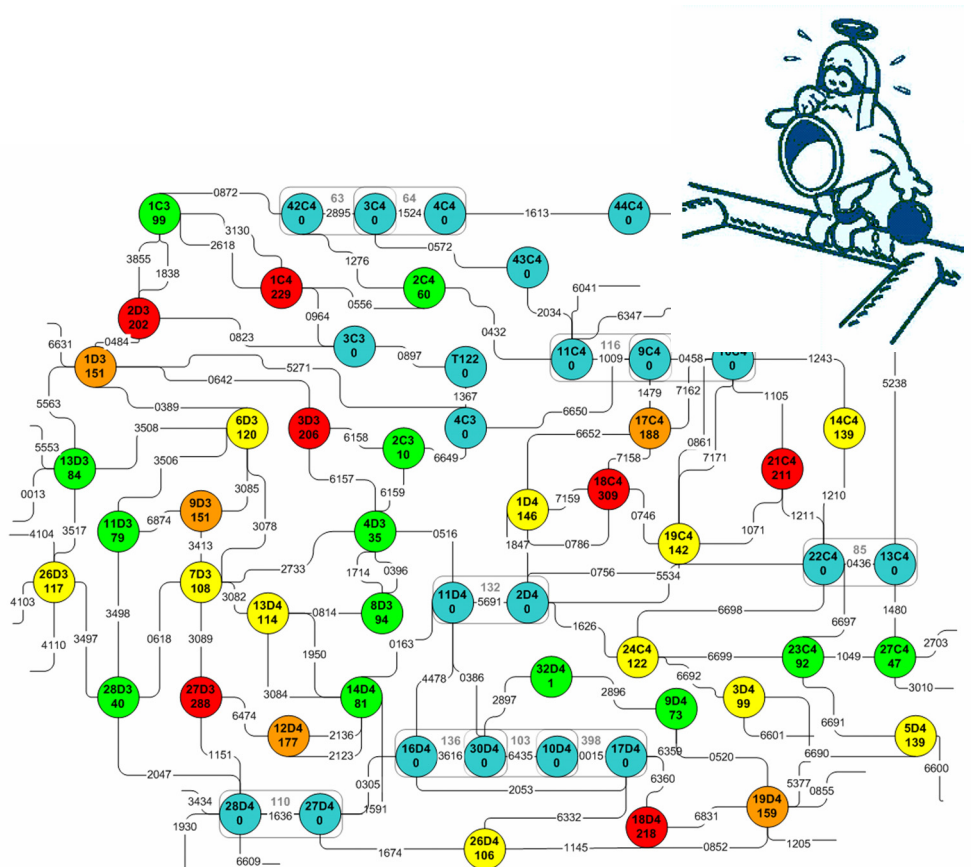


BTO 2006.016  
April 2006

# Betrouwbaarheid van afsluiters en sectie-isolaties



**BTO 2006.016**  
April 2006

# Betrouwbaarheid van afsluiters en sectie-isolaties

© 2006 Kiwa N.V.  
Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag  
worden verveelvoudigd,  
opgeslagen in een  
geautomatiseerd  
gegevensbestand, of  
openbaar gemaakt, in enige  
vorm of op enige wijze,  
hetzij elektronisch,  
mechanisch, door  
fotokopieën, opnamen, of  
enig andere manier, zonder  
voorafgaande schriftelijke  
toestemming van de  
uitgever.

**Opdrachtgever**  
Bedrijfstakonderzoek

**Projectnummer**  
11.1446.100

**Kiwa N.V.**  
Water Research  
Groningenhaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511  
Fax 030 60 61 165  
Internet [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

# Colofon

**Titel**

Betrouwbaarheid van afsluiters en sectie-isolaties

**Projectnummer**

11.1446.100

**Projectmanager**

W.J.M.K. Senden

**Kwaliteitsborger**

J.H.G. Vreeburg

**Auteurs**

E.A. Trietsch

P.G. Schaap

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar



# Samenvatting

Bij de isolatie van lekkages en besmettingen in het leidingnet spelen afsluiters een cruciale rol. Om de levering van drinkwater bij incidenten zo goed mogelijk te continueren is de plaats en de betrouwbaarheid van afsluiters in het drinkwaternet van belang. In dit rapport wordt een methode besproken waarmee de plaatsing van afsluiters kan worden verbeterd en de betrouwbaarheid van een gebied kan worden geoptimaliseerd. Randvoorwaarden bij de optimalisatie van de betrouwbaarheid van de afsluiting zijn de onderhoudsfrequentie van afsluiters en hoeveel getroffen aansluitingen die een waterleidingbedrijf acceptabel vindt tijdens een incident.

De betrouwbaarheid van een sectie wordt onder meer gekwantificeerd met de prestatie-indicatoren:

- Impact: het aantal aansluitingen getroffen door een incident;
- CML<sub>da</sub> (Customer Minutes Lost voor distributieafsluiters): aantal minuten in een jaar dat klanten in een bepaalde sectie geheel zonder water zitten, door een incident in het distributienet;
- CI (Customer Interruptions): aantal keer dat een klant gemiddeld in een jaar getroffen wordt door een incident waarbij ze geheel zonder water komen te zitten.

Bij alle prestatie-indicatoren wordt ervan uitgegaan dat een klant wel of geen water ontvangt. Er wordt dus geen rekening gehouden met ondermaatse levering, zoals een afwijkende waterkwaliteit of een te lage leveringsdruk.

In de ontwikkelde methodiek kan door het opstellen van een sectiediagram heel eenvoudig worden vastgesteld of er opvallende of zeer kritische secties in het beschouwde netwerk aanwezig zijn. Vervolgens wordt op het netwerk ingezoomd en de kritikaliteit van elke sectie bepaald, uitgedrukt in prestatie-indicatoren.

Voor het berekenen van de prestatie-indicatoren is een prototype afsluiter tool ontwikkeld. Aan de hand van de prestatie-indicatoren kunnen kritische secties in bestaande en nieuwe netwerkontwerpen worden geïdentificeerd en daarmee de kritische afsluiters. Tevens kan het effect van mogelijke verbeteringen in ontwerpen worden getoetst, door de prestatie-indicatoren voor en na een verbetering met elkaar te vergelijken.

De methodiek is in een casestudie bij Duinwaterbedrijf Zuid-Holland zeer bruikbaar gebleken en stelt elk waterbedrijf in staat om prioriteiten te stellen binnen haar afsluiterbeleid aan de hand van de prestatie-indicatoren gecombineerd met de investerings- en onderhoudskosten van afsluiters.



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>ii</b>
<b>Inhoud</b>	<b>iv</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Functie van afsluiters bij incidenten</b>	<b>3</b>
<b>3 Betrouwbaarheid afsluiter en sectie-isolatie</b>	<b>5</b>
3.1 Definitie betrouwbaarheid afsluiter	5
3.2 Methode voor bepalen betrouwbaarheid afsluiter	5
3.3 Definitie betrouwbaarheid van isolatie van een sectie	6
3.4 Kritische prestatie indicatoren	6
3.5 Plaatsen van afsluiters	7
<b>4 Analyse betrouwbaarheid afsluiting</b>	<b>9</b>
4.1 Sectiediagrammen	9
4.2 Berekenen van de impact	9
<b>5 Testcase Scheveningen</b>	<b>11</b>
5.1 Aanpak testcase	11
5.1.1 Selectie gebied	11
5.1.2 Opstellen netwerk diagram	11
5.1.3 Berekening kritische prestatie-inidicatoren	12
5.1.4 Analyse berekening	14
5.2 Verbeteropties afsluiterlocatie	15
<b>6 Conclusies</b>	<b>19</b>
<b>7 Literatuurlijst</b>	<b>21</b>
<b>I De invloed van de steekproefgrootte</b>	<b>1</b>
<b>II Sequential Probability Ratio Test</b>	<b>3</b>
<b>III Betrouwbaarheid sectie-isolatie</b>	<b>9</b>





# 1 Inleiding

Afsluiters zijn cruciaal voor de continuïteit van de levering van drinkwater en voor de bescherming van consumenten tegen de gevolgen van leidingbreuken en besmettingen. Bij dit soort incidenten en bij reguliere onderhoudswerkzaamheden is het effectief kunnen isoleren van leidingnetdelen essentieel, om zo de levering van drinkwater in de rest van het leidingnet kwalitatief en kwantitatief te kunnen waarborgen.

In de normale bedrijfsvoering - als er niets aan de hand is en alle componenten van het leidingnet naar behoren functioneren - is een afsluiter ten behoeve van isolatie overbodig. Alleen op het moment dat er iets mis gaat, is de aanwezigheid en het functioneren van een afsluiter van belang.

Een andere functie van afsluiters is het aanpassen van stromingen, zoals voor het scheiden van voorzieningsgebieden, het creëren van verschillende drukgebieden en het sturen van waterstromen ten behoeve van schoonmaken. Locatie en betrouwbaarheid van afsluiters zijn ook voor deze acties van belang, maar worden in dit kader niet nader beschouwd.

Uit een enquête in 2002 (Schaap, P. et al, 2002) onder acht Nederlandse waterbedrijven blijkt dat de gemiddelde leidinglengte per sectie 650 meter is. De storingsfrequentie in Nederland bedraagt 0,09 per kilometer per jaar (Rosenthal, L. P. M., 1997). Dit betekent dat een sectie gemiddeld eens per 17 jaar getroffen wordt door een storing. Uitgaande van het feit dat een afsluiter twee secties scheidt, wordt een afsluiter twee keer in die 17 jaar gebruikt. Dit betekent dat iedere afsluiter alleen al voor isolatie gemiddeld eens in de 8,5 jaar naar behoren moet functioneren.

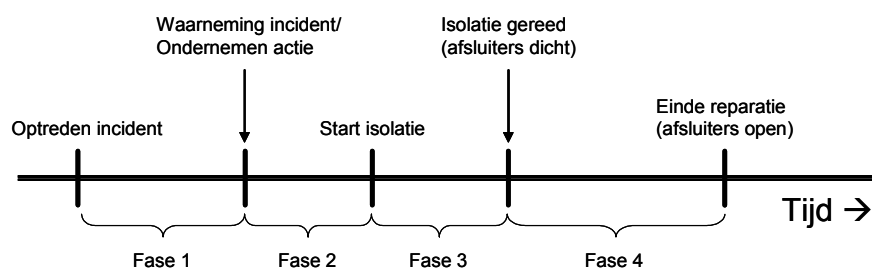
Een (inter)nationale enquête onder waterbedrijven leerde dat er weinig bekend is over de criteria waaraan de plaatsing van een afsluiter moet voldoen. Daarnaast ontbreekt een eenduidige wijze van beoordelen van de functionaliteit van een afsluiter (Schaap, P. et al, 2002).

In dit rapport wordt een methode gepresenteerd, waarmee de effectiviteit van de plaatsing van afsluiters kan worden getoetst, gegeven een zekere betrouwbaarheid van de functionaliteit van de afsluiter.



## 2 Functie van afsluiters bij incidenten

Het isoleren van een leidingsectie van de rest van het leidingnet voor reparatie of onderhoud is de belangrijkste functie van afsluiters, zoals blijkt uit de resultaten van een internationale workshop (Schaap, P. et al, 2002). In figuur 1 zijn schematisch de fasen weergegeven van een incident in een leidingnet waarvoor isolatie noodzakelijk is, zoals bijvoorbeeld voor een breuk. De tijdsduur van de fasen loopt vanaf het optreden van een incident tot het einde van reparatie van het incident.



figuur 1 De fasen na het optreden van een breuk in een leiding

In de totale tijdsduur van een incident kunnen vier fasen worden onderscheiden (zie figuur 1):

1. *Het optreden van het incident*; bijvoorbeeld een leidingbreuk of een besmetting. Tijdens de 'werking' van het incident, zijn de gevolgen niet ingeperkt: bij een breuk in een leiding zal water verloren gaan en in geval van een besmetting wordt deze ongehinderd met de waterstroom verplaatst. In deze fase van het incident is er sprake van overlast voor de consument en de omgeving. Het uitstromende water kan een bedreiging zijn voor de veiligheid van mensen en gebouwen en een besmetting kan een gevaar voor de volksgezondheid betekenen. De tijd tussen de start van het incident en het begin van de isolatie wordt zo kort mogelijk gehouden door goede monitoring van het leidingnet en klachtenafhandeling. In dit stadium spelen afsluiters geen rol.
2. *Het waarnemen van het incident*. De periode tussen optreden en waarnemen van een incident is sterk afhankelijk van de grootte van dat incident. Een grote lekkage zal bijvoorbeeld in het algemeen sneller worden waargenomen dan een kleine breuk. Ook in dit stadium spelen afsluiters geen rol.
3. *Het isoleren van het incident*. Nadat een incident bekend is bij het waterleidingbedrijf, wordt gestart met het isoleren. Om een incident te kunnen isoleren, dienen de noodzakelijke afsluiters te functioneren. De tijd die gemoeid is met het daadwerkelijk isoleren van het incident is beïnvloedbaar door het waterleidingbedrijf door de plaatsing en de bedrijfszekerheid van de afsluiters. Het functioneren van afsluiters is in deze fase cruciaal.

4. *Het repareren/herstellen van het incident.* Als een leidinggedeelte is geïsoleerd, kan dit gevolgen hebben voor de reguliere voorziening: zijn er consumenten aangesloten op het geïsoleerde stuk leiding, dan zijn deze verstoken van water. Zijn er geen consumenten rechtstreeks aangesloten, dan kan er toch hinder ontstaan door (plaatselijk) drukdaling in het leidingnet vanwege de isolatie. Bijvoorbeeld als een stuk van een transportleiding is afgesloten, terwijl de back-upleiding een te geringe capaciteit heeft.

In dit rapport worden fasen 3 en 4 beschouwd in relatie tot de plaatsing en betrouwbaarheid van afsluiters.

Het bepalen van de tijdsduur waarin een consument geen water van voldoende kwaliteit en druk krijgt blijkt geen gemakkelijke opgave. De tijdsduur van een leveringsonderbreking is onder meer afhankelijk van de grootte van de breuk. Bij een klein lek kan de druk voldoende hoog blijven en het aantal getroffen aansluitingen zeer beperkt blijven. De tijdsduur van de onderbreking beperkt zich in dat geval tot fase 4. Bij een groot lek zal de druk volledig weg kunnen vallen, waardoor de levering al wordt onderbroken vanaf het optreden van de breuk (fasen 1 t/m 4).

## 3 Betrouwbaarheid afsluiter en sectie-isolatie

### 3.1 Definitie betrouwbaarheid afsluiter

De betrouwbaarheid van een afsluiter kan worden gedefinieerd als:

*de kans ( $P_a$ ) dat deze afsluiter voldoet aan de gestelde criteria  
(vast te stellen met steekproef op populatie afsluiters)*

### 3.2 Methode voor bepalen betrouwbaarheid afsluiter

Tijdens de AwwaRF-Kiwa afsluiterworkshop van 29-30 maart 2001 zijn betrouwbaarheidscriteria vastgesteld waarop een afsluiter moet worden beoordeeld. Het gaat om de volgende criteria:

- Identificeerbaar op de kaart en in het veld
- Vindbaar in het veld
- Toegankelijk
- Draaibaar
- Afsluitbaar

In de workshop zijn de criteria zoveel mogelijk 'SMART' gemaakt; dat wil zeggen de criteria zijn Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch en Tijdgebonden.

De eerste vier criteria - en in het algemeen fase 3 (zie figuur 1) - zijn nader te kwantificeren door er een tijdlimiet aan toe te kennen. De tijdlimieten zijn afhankelijk van het bedrijfsbeleid en kunnen bovendien afhankelijk zijn van de overlast die een incident veroorzaakt. Een leidingdeel dat bij falen relatief geringe overlast veroorzaakt, hoeft minder snel te worden geïsoleerd dan een deel dat bij falen veel overlast veroorzaakt.

Een afsluiter moet bijvoorbeeld aan de volgende criteria voldoen om betrouwbaar te zijn (waarbij de tijdeenheden gerekend vanaf moment van arriveren op de afsluiterlocatie):

- Afsluiter moet vindbaar zijn (binnen 5 minuten);
- Afsluiter moet identificeerbaar zijn (binnen 3 minuten);
- Afsluiter moet toegankelijk zijn (binnen 5 minuten);
- Afsluiter moet draaibaar zijn (binnen 2 minuten en maximaal 2 keer het door de fabrikant gespecificeerde moment van bewegen);
- Afsluiter moet dusdanig afsluiten dat de mate van lekkage kleiner of gelijk is aan de capaciteit van een pomp die standaard aanwezig is in een storingsbus (bijv. 10 m<sup>3</sup>/h).

Ook kan worden geredeneerd vanuit de afsluiting: de afsluiting moet binnen maximaal 2 uur gerealiseerd zijn. Voor een afsluiter betekent dit dat de som van de criteria Vindbaarheid, Identificeerbaarheid, Toegankelijkheid en Draaibaarheid tijdafhankelijk wordt.

Om de betrouwbaarheid van een afsluiter te kunnen berekenen, is een statistische methode beschikbaar, die in detail wordt beschreven in bijlage I. In deze methode

wordt een steekproef gehouden in een bepaalde selectie ('batch') van afsluiters en worden de randvoorwaarden voor het genereren van de selectie afsluiters aangegeven. Met de beschreven methode kunnen waterbedrijven op een statistisch verantwoorde wijze bepalen wat gemiddeld genomen de betrouwbaarheid is van een afsluiter. Hierbij kan eventueel onderscheid worden gemaakt in type afsluiter, jaar van aanleg en fabrikant; zolang het aantal afsluiters per batch significant (groot genoeg) is.

### 3.3 Definitie betrouwbaarheid van isolatie van een sectie

De betrouwbaarheid van een sectie-isolatie is afhankelijk van de betrouwbaarheid van elke afzonderlijke afsluiter in die sectie, en wel als volgt:

$$\text{Betrouwbaarheid afsluiting } (P_b) = P_a^n$$

Met:

- $P_a$  = kans op afsluiting van een afsluiter
- $n$  = aantal afsluiters dat nodig is voor het afsluiten van één sectie

De isolatie van een leidingdeel is alleen dan succesvol wanneer alle betrokken afsluiters voldoende functioneren. In eerste instantie is de betrouwbaarheid van een afsluiting dan ook gedefinieerd als de kans dat alle bij de isolatie betrokken afsluiters daadwerkelijk functioneren en het effect van isolatie beperkt blijft tot de eventuele aansluitingen in het te isoleren gebied.

Als een afsluiter niet voldoende functioneert, moeten omliggende secties en bijbehorende afsluiters worden betrokken bij de isolatie. Dit heeft tot gevolg dat het invloedsgebied van de afsluiting wordt vergroot en dat wellicht meer consumenten gedurende langere tijd overlast ervaren. Er is in dat geval sprake van een effectuitbreiding tot buiten het oorspronkelijk getroffen gebied.

### 3.4 Kritische prestatie-indicatoren

Om deze effecten te kunnen beschrijven en kwantificeren worden per sectie de volgende definities gehanteerd:

- **Impact:** het aantal aansluitingen dat gedurende (de isolatie van) een incident in een bepaalde sectie geen water geleverd heeft gekregen.
- **Verhoudingsgetal:** de impact gedeeld door het aantal aansluitingen in de getroffen sectie. Wanneer alle afsluiters voldoende goed afsluiten en het effect beperkt blijft tot de aansluitingen in het te isoleren gebied, dan is het verhoudingsgetal gelijk aan 1.
- **Customer Minutes Lost (CML):** Het aantal minuten dat een consument geen water geleverd krijgt. Naast de impact bij een storing in een sectie is bij CML ook het aantal storingen in die sectie per jaar van belang. Een sectie met een grote lengte heeft onder dezelfde omstandigheden statistisch een grotere kans getroffen te worden door een storing, dan één met een geringe lengte. Die kans wordt bepaald door de algemene storingsfrequentie van een leiding (aantal storingen/km/jr) en de lengte van de betreffende sectie (km). Door de tijdsduur van de leveringsonderbreking voor de betrokken aansluitingen mee te nemen kan het aantal 'Customer Minutes Lost' worden berekend.

- **CML<sub>da,i</sub>**: In dit rapport wordt alleen de CML bepaald als gevolg van incidenten in het distributienet door afsluiterisolatie. Het aantal minuten van een leveringsonderbreking voor een bepaald gebied (CML<sub>da,i</sub>) wordt als volgt berekend:

$$CML_{da,i} = \frac{\text{storingsfrequentie}_i \cdot \text{lengte}_i \cdot \text{impact}_i \cdot TDO_i}{\sum_{j=1}^{j=\max\_secties} (\text{aansluitingen}_j)}$$

- CML<sub>da,i</sub> = het gemiddelde aantal minuten leveringsonderbreking per aansluiting als gevolg van een isolatie wegens reparatiewerkzaamheden voor alle secties in het beschouwde gebied (min/jr)
- storingsfrequentie<sub>i</sub> = aantal storingen per kilometer per jaar in een sectie
- lengte<sub>i</sub> = gesommeerde lengte van alle leidingen in sectie i (km)
- impact<sub>i</sub> = aantal getroffen aansluitingen als gevolg van een incident in sectie i.
- TDO<sub>i</sub> = tijdsduur leveringsonderbreking t.g.v. een incident in sectie i (min).  
Voor het bepalen van de tijdsduur van de leveringsonderbreking (TDO) is alleen gekeken naar de tijd tussen de start van een isolatie en het gereed zijn van die isolatie (fase 3 in figuur 1).
- aansluitingen<sub>j</sub> = aantal aansluitingen in sectie j
- **Customer Interruptions (CI)**: Het aantal CI geeft aan hoe vaak een klant gemiddeld wordt getroffen door een incident in het leidingnet in een jaar.

### 3.5 Plaatsen van afsluiters

De sectiegrootte is het belangrijkste criterium voor het plaatsen van afsluiters. Dit criterium is bedrijfsspecifiek en al op brede schaal binnen de bedrijfstak vastgesteld. De sectiegrootte kan door de volgende subcriteria worden bepaald:

- Maximale lengte van een sectie;
- Maximaal aantal aansluitingen c.q. woningen per sectie;
- Maximaal aantal afsluiters per sectie.

Daarnaast zijn de volgende criteria van belang bij de plaatsing van afsluiters:

- Maximale leidinginhoud van een sectie, aangezien de meeste tijd bij werkzaamheden in het leegmaken van een sectie zit;
- Plaatsing van afsluiters op locaties met grote kans op goede bereikbaarheid en vindbaarheid;
- Het gemak van aanzeggen, logische sectie-indeling;
- Gevoeligheid van een sectie (sectie verkleinen wanneer er gevoelige klanten in de sectie zitten);
- De trefkans dat een sectie getroffen wordt door toekomstige reparaties of uitbreidingen. Is de trefkans groot, dan dient de sectie(lengte) te worden verkleind.



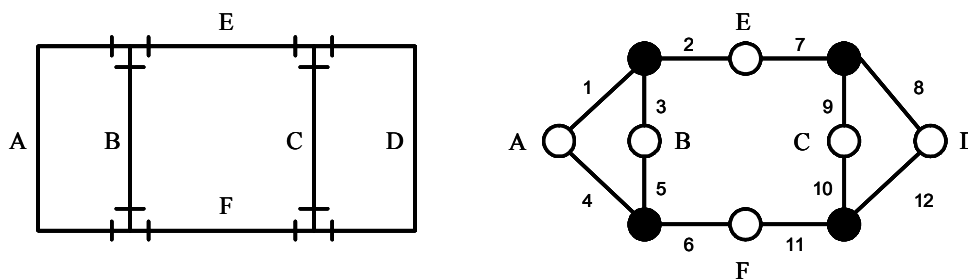


# 4 Analyse betrouwbaarheid afsluiting

## 4.1 Sectiediagrammen

De betrouwbaarheid van een afsluiting is afhankelijk van de betrouwbaarheid en de plaats van de afsluiters én het aantal afsluiters. Hoe lager het aantal te sluiten afsluiters, hoe groter de kans dat een sectie succesvol kan worden geïsoleerd. Wanneer bijvoorbeeld de kans dat een afsluiter niet goed functioneert (niet vindbaar, identificeerbaar, toegankelijk, draaibaar of afsluitbaar) gelijk is aan 10%, dan is de kans dat twee afsluiters falen gelijk aan 19%. Bij vier afsluiters neemt de faalkans van de isolatie van een sectie toe naar 34% en bij acht afsluiters zelfs naar 57%! (Walski, 1993). Het is daarom van belang het aantal afsluiters per sectie te minimaliseren.

In figuur 2 (links) wordt ter illustratie een vereenvoudigd netwerk weergegeven, waarin zes secties (A /m F) met elk 100 aansluitingen worden gescheiden door bufferzones. Bufferzones zijn gedefinieerd als 'door afsluiters te isoleren gebieden zonder aansluitingen'. Bij het falen van een afsluiter zal geen andere sectie (met aansluitingen) worden getroffen en zal de impact dus gelijk blijven. In onderstaand voorbeeld zijn de bufferzones de vier gebieden tussen de afsluiters 1-2-3, 4-5-6, 7-8-9 en 10-11-12.



figuur 2 Voorbeeld van een schematisatie van een eenvoudig leidingnet (links) naar een sectiediagram (rechts).

## 4.2 Berekenen van de impact

Voor het berekenen van de impact per sectie wordt het vereenvoudigde netwerk geschematiseerd tot een sectiediagram, zie figuur 2 (rechts), zoals voorgesteld door Walski (Walski, 1993). Secties met aansluitingen zijn als open cirkel weergegeven, de bufferzones als gevulde cirkels. Afsluiters tussen twee secties zijn als verbindende lijn weergegeven.

Het voordeel van een sectiediagram - boven de 'traditionele weergave' van een leidingnet - is dat kritische afsluiters en secties sneller zichtbaar worden. Bovendien kan sneller worden bepaald hoeveel en welke afsluiters gesloten dienen te worden om een sectie te isoleren.

Bij een breuk in sectie A worden altijd de 100 aansluitingen in die sectie getroffen. Wanneer afsluiters 1 en 4 goed functioneren, dan blijft de storing beperkt tot sectie A, de impact tot 100 aansluitingen en het verhoudingsgetal tot 1.

Bij uitbreiding van de storing naar omliggende secties - door falende afsluiters - neemt de impact en ook het verhoudingsgetal toe. De combinatie verhoudingsgetal met het oorspronkelijke aantal aansluitingen in een bepaalde sectie geeft aan of de uitbreiding van een storing ernstig is; een verhoudingsgetal van 2 heeft bij een sectie met 10 aansluitingen minder gevolgen dan bij een sectie met 100 aansluitingen (een impact van 20 respectievelijk 200 aansluitingen).

In het volgende rekenvoorbeeld wordt aangenomen dat alle afsluiters een betrouwbaarheid hebben van 90% en goed functioneren. De huidige praktijkervaring van Nederlandse en Amerikaanse waterbedrijven leert dat een faalkans van een afsluiter van 10% een goede aanname is, bij storingen in een gemiddeld leidingnet. De kans dat een storing beperkt blijft tot sectie A - bij deze netwerkconfiguratie en betrouwbaarheid - is 95%:

- de kans dat twee afsluiters functioneren (1 en 4) is 81%
- de kans dat één afsluiter faalt en drie afsluiters functioneren (1 faalt en 2, 3 en 4 functioneren óf 4 faalt en 1, 5 en 6 functioneren) is 2x 7%.

De kans dat één extra sectie betrokken worden bij de storing in sectie A is 5%. Gemiddeld worden 105 ( $= 100 * 95\% + 200 * 5\%$ ) aansluitingen getroffen bij een storing in sectie A. De impact wordt daarmee 105 aansluitingen en het verhoudingsgetal 1,05.

Worden de bufferzones verwijderd (door bijvoorbeeld de afsluiters 3, 6, 7 en 10 te verwijderen) dan neemt de impact voor sectie A toe tot 130 aansluitingen en het verhoudingsgetal wordt 1,30.

Voor het automatiseren van de berekeningen is een afsluiter tool ontwikkeld. De afsluiter tool berekent met de Monte-Carlomethode voor meerdere secties de impact, het verhoudingsgetal, de  $CML_{da,i}$  en de CI.

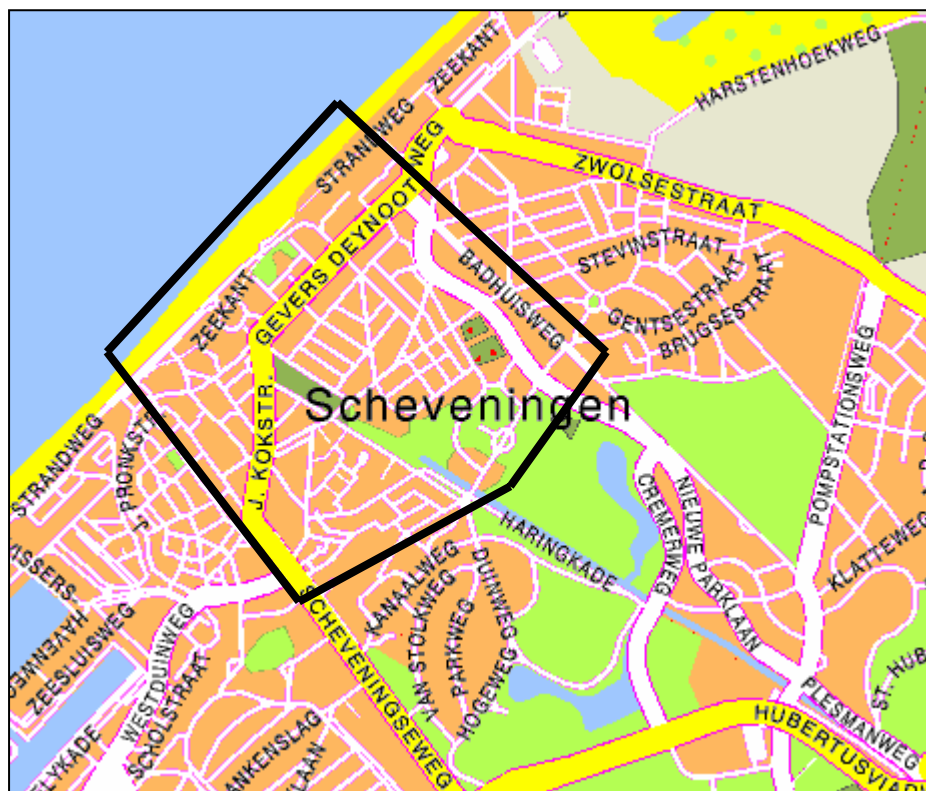
# 5 Testcase Scheveningen

## 5.1 Aanpak testcase

### 5.1.1 Selectie gebied

Duinwaterbedrijf Zuid-Holland (DZH) heeft een deel van het leidingnetwerk beschikbaar gesteld voor een testcase, te weten Scheveningen. Het gebied betreft een deel van Scheveningen en behelst een gemengd gebied dat in verschillende perioden en met verschillende materialen is aangelegd. Het voordeel van dit netwerk is de aanwezigheid van unieke codes per sectie, waardoor een sectie direct als zodanig herkenbaar is.

In onderstaande figuur is het gebied van de testcase aangegeven.

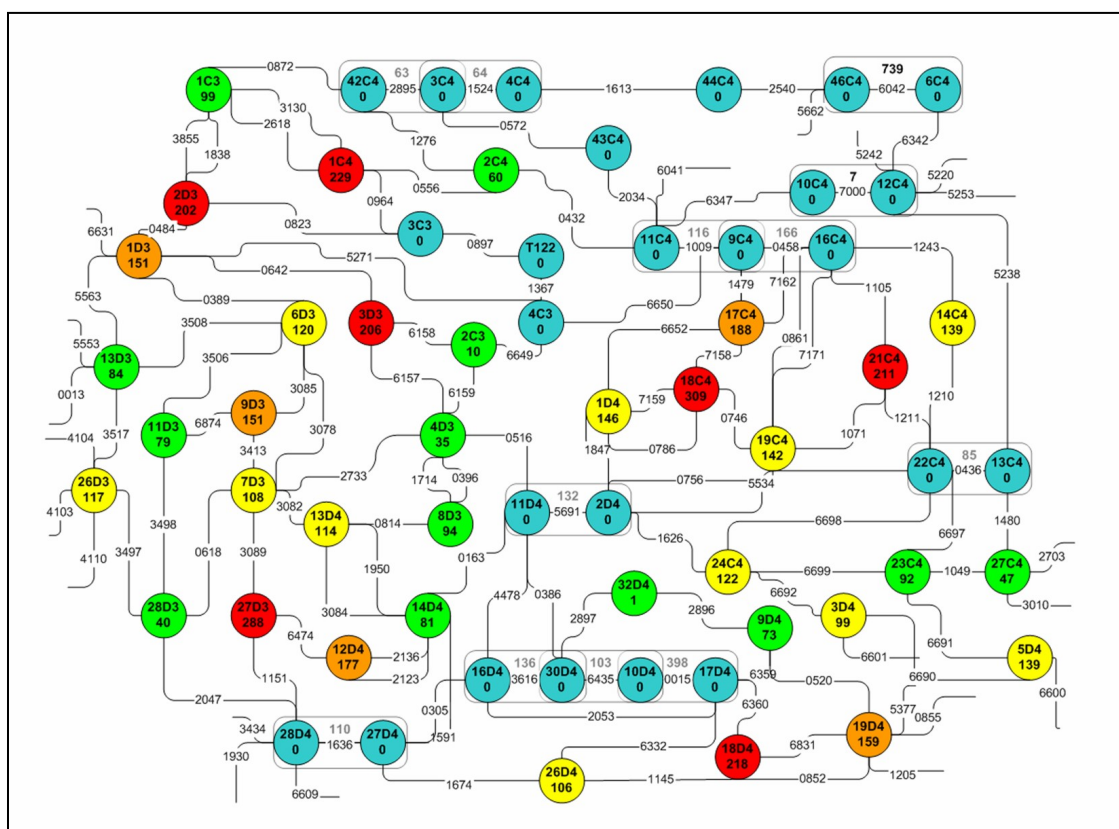


figuur 3 Kaart van het geselecteerde gebied in Scheveningen

### 5.1.2 Opstellen sectiediagram

Het geselecteerde leidingnet is vertaald naar een sectiediagram, waarbij secties als rondjes worden weergegeven en de afsluiters als verbindende lijnen. Het voordeel van een sectiediagram is het directe overzicht van secties gekoppeld via afsluiters met andere secties.

In de rondjes/secties worden de identificatiecode van de sectie en het aantal aansluitingen in die sectie weergegeven. Bovendien is gebruik gemaakt van een kleurenschema met betrekking tot de grootte van een sectie (zie legenda).



figuur 4 Sectiediagram van het geselecteerde leidingnet van Scheveningen.

Per afsluiter kan worden aangegeven wat de betrouwbaarheid is van die afsluiter. In deze case is aangenomen dat de afsluiterbetrouwbaarheid overall 90% is.

Daarnaast zijn gezekerde aansluitingen aanwezig in het leidingnet, waarbij de aansluiting wordt gevoed vanuit twee verschillende secties. De kans op een goede werking van de keerkleppen en afsluiters tussen de secties en de gezekerde aansluiting wordt verondersteld op 100%. Voor de scheidende afsluiter tussen de twee secties wordt daarentegen - net als de andere, normale afsluiters - de kans op 90% gesteld.

### 5.1.3 Berekening kritische prestatie-indicatoren

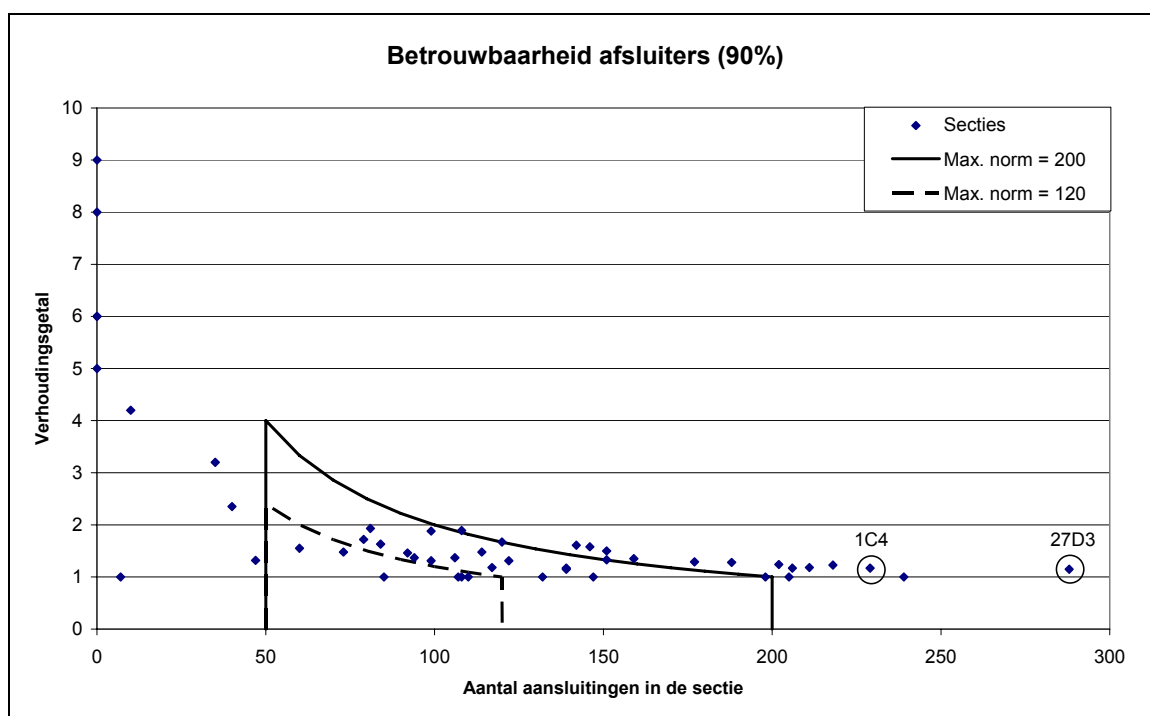
Voor het berekenen van de kritische prestatie-indicatoren is een afsluiter tool ontwikkeld, die is toegepast op het deel van het leidingnet van Duinwaterbedrijf Zuid-Holland. Het geselecteerde gebied bevat 73 secties en 131 afsluiters, waarbij een sectie gemiddeld 4 afsluiters heeft. Twaalf secties (16%) zijn gezekerd doordat de aansluitingen worden gevoed vanuit twee verschillende secties. Indien een incident optreedt in een gezekerde sectie, dan blijft het incident beperkt tot de gezekerde sectie (verhoudingsgetal = 1) door de ingebouwde keerkleppen met een betrouwbaarheid van 100%.

Voor iedere sectie is berekend wat de impact en het verhoudingsgetal is uitgaande van een betrouwbaarheid van de afsluiters van 90%. In onderstaande grafiek is het verhoudingsgetal uitgezet tegen het oorspronkelijke aantal aansluitingen. Voor het overzicht zijn alleen de secties met een verhoudingsgetal kleiner dan 10 en minder dan 300 aansluitingen opgenomen. Hierdoor vallen drie secties buiten de grafiekgrenzen.

Tevens zijn in de grafiek twee verschillende bedrijfsnormen weergegeven voor de maximale impact (en daarmee de grootte) van een sectie:

- 200 aansluitingen: doorgetrokken lijn
- 120 aansluitingen: gestreeplijn

De minimale grootte van een sectie is in beide gevallen 50 aansluitingen.



figuur 5 De verhoudingsgetallen van de door een breuk getroffen secties uitgezet tegen het oorspronkelijk aantal aansluitingen (bij een afsluiterbetrouwbaarheid van 90%)

#### 5.1.4 Analyse berekening

Interpretatie van de resultaten ten opzichte van de bedrijfsnorm van 200 aansluitingen levert op dat een groot deel van alle secties volgens die bedrijfsnorm, te klein of te groot is. Van alle secties voldoet een deel (11%) wel aan de groottenorm, maar niet aan de impact van maximaal 200 aansluitingen. Daarmee liggen deze secties in de grafiek boven de normlijn. Van alle secties voldoet 32% aan de gestelde bedrijfsnorm (zie tabel 1).

tabel 1 Resultaat berekening

Resultaat	Bedrijfsnorm = 200	Bedrijfsnorm = 120
Te kleine sectie	42%	42%
Te grote sectie	15%	33%
Te grote impact	11%	16%
Voldoet aan alle eisen	32%	8%

Indien de bedrijfsnorm voor de maximale impact en daarmee de grootte van een sectie wordt teruggebracht tot 120 aansluitingen, dan is nog hetzelfde aantal secties te klein (zie tabel 1). In figuur 5 is de norm van 120 aansluitingen weergegeven als een streeplijn.

Op voorhand blijkt bovendien 33% van alle secties te groot en heeft 16% van alle secties een impact die groter is dan 120 aansluitingen. Met deze norm voldoet slechts 8% van alle secties aan de bedrijfsnorm!

Naast de impact is ook de  $CML_{da,i}$  berekend, uitgaande van een storingsfrequentie van 0,09 storingen per km per jaar. Uit de resultaten blijkt dat de Impact en  $CML_{da,i}$  niet noodzakelijkerwijs samen oplopen, zie tabel 2. Een storing in een sectie met veel afsluiters, veel aansluitingen en een lage afsluiterbetrouwbaarheid kan door een geringe leidinglengte leiden tot een grote impact, terwijl de kans op een storing (en daarmee de  $CML_{da,i}$ ) laag kan zijn. Door de grotere leidinglengte en een groter aantal afsluiters (= een langere leveringsonderbreking) is de  $CML_{da,i}$  van 1C4 groter dan die van sectie 27D3, ondanks de grotere impact van sectie 27D3; namelijk 22 respectievelijk 12 min/jaar. Dit verschil wordt veroorzaakt door de grotere lengte van 1C4 (900 t.o.v. 480 meter) en het aantal afsluiters (4 t.o.v. 3). De grotere lengte maakt dat sectie 1C4 gemiddeld vaker per jaar wordt getroffen bij eenzelfde storingskans. Tevens is de reparatietijd voor sectie 1C4 groter door het hogere aantal afsluiters.

tabel 2 Resultaat berekening Impact en  $CML_{da,i}$

Sectie	Aansluitingen	Impact (aansl.)	Verhouding	$CML_{da,i}$ (min/aansl/jr)	CI (1/jr)
12D4	177	228	1.29	00:00:05	0.036
19C4	142	228	1.61	00:00:10	0.053
1D4	146	231	1.58	00:00:14	0.072
3D3	206	240	1.17	00:00:10	0.054
17C4	188	241	1.28	00:00:08	0.050
21C4	211	250	1.18	00:00:06	0.039
2D3	202	250	1.24	00:00:14	0.070
1C4	229	267	1.17	00:00:22	0.088
18D4	218	269	1.23	00:00:16	0.070
27D3	288	332	1.15	00:00:12	0.049
18C4	309	380	1.23	00:00:31	0.088

## 5.2 Verbeteropties afsluiterlocatie

Op basis van bovengenoemde resultaten is gekeken naar mogelijke verbeteringen in het leidingontwerp van Scheveningen:

- Secties met te weinig (41%) of teveel (10%) aansluitingen kunnen van omvang worden veranderd, zolang de impact binnen de norm blijft.
- Bij een sectie van een goede omvang maar met een impact groter dan 200 aansluitingen (11%) zijn er drie verbeteringsrichtingen:
  - het verlagen van het aantal aansluitingen in de getroffen sectie door het (ver)plaatsen van afsluiters, zodat de impact onder de norm komt;
  - het verhogen van de betrouwbaarheid van de afsluiters door meer frequente of uitgebreidere afsluiterinspecties;
  - het introduceren van bufferzones in de directe nabijheid van de sectie door het (ver)plaatsen van afsluiters.

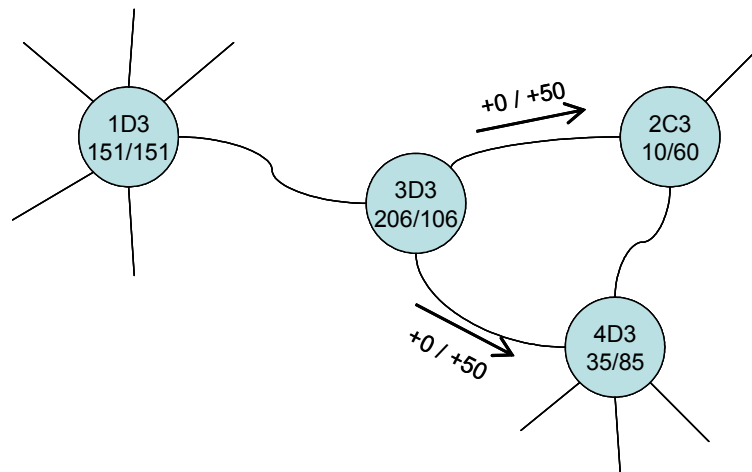
Waarschijnlijk zal uit economische overwegingen het (ver)plaatsen van afsluiters alleen in de ontwerpfase van een leidingnet een optie zijn.

Bij eerder genoemde bedrijfsnorm is in onderstaande tabel per situatie aangegeven wat de mogelijke maatregelen zijn.

	I < 50	50 < i < 200	I > 200
A < 50	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gezekerde aansluitingen: niets doen!</li> <li>- Hersectioneren</li> <li>- Minder bufferzones</li> <li>- Pa ↓</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hersectioneren én Pa ↑</li> <li>- Hersectioneren én meer bufferzones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hersectioneren én Pa ↑</li> <li>- Hersectioneren én meer bufferzones</li> </ul>
50 < A < 200	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algemeen: niets doen!</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meer bufferzones</li> <li>- Pa ↑</li> </ul>
A > 200	/	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gezekerde aansluitingen: niets doen!</li> <li>- Hersectioneren: aantal aansl. ↓</li> </ul>

A = oorspronkelijk aantal aansluitingen  
I = impact  
Pa = betrouwbaarheid afsluiter

Als voorbeeld voor een verbeteractie wordt sectie 3D3 beschouwd. In het sectiediagram van deze sectie (figuur 6) worden de omliggende secties weergegeven.



figuur 6 Sectiediagram van sectie 3D3 en omliggende secties met het aantal aansluitingen voor/na de aanpassing van de afsluiterlocaties.

Sectie 3D3 heeft een te grote impact, voornamelijk door het grote aantal aansluitingen in die sectie: 206 aansluitingen. Als verbetering wordt voorgesteld om eerst het aantal aansluitingen in de sectie te verlagen en later eventueel ook de betrouwbaarheid van de afsluiters te verhogen. De betrouwbaarheid kan worden verhoogd door betere afsluiters te plaatsen en door meer frequent onderhoud te plegen aan de afsluiters. In eerste instantie is het aantal aansluitingen in sectie 3D3 verlaagd door het verplaatsen van afsluiters om zodoende aansluitingen te verdelen over omliggende secties.



Zo kunnen bijvoorbeeld 100 aansluitingen worden verdeeld over de twee secties 2C3 en 4D3. Vervolgens is nagegaan wat het effect van deze verdeling is op de impact en het verhoudingsgetal. Uit de berekening volgt dat de impact van sectie 3D3 omlaag is gegaan; zie tabel 3. Ook zijn de impact van sectie 1D3 en de verhouding van de omliggende secties 2C3 en 4D3 omlaag gegaan door de kleinere invloed van sectie 3D3. Wanneer ook de afsluiterbetrouwbaarheid kan worden verhoogd van 90% naar 95%, dan neemt ook de impact van sectie 1D3 af tot onder de 200 aansluitingen.

*tabel 3 Impact van sectie 3D3 op de directe omgeving (voor aanpassing)*

<b>Sectie</b>	<b>Aantal afsluiters</b>	<b>Impact</b>	<b>Verhouding</b>
3D3	206	237	1,15
2C3	10	41	4,10
4D3	35	116	3,31
1D3	151	230	1,52

*tabel 4 Impact van sectie 3D3 op de directe omgeving (na aanpassing)*

<b>Sectie</b>	<b>Aantal afsluiters</b>	<b>Impact</b>	<b>Verhouding</b>
3D3	106	148	1,40
2C3	60	83	1,38
4D3	85	152	1,79
1D3	151	219	1,45

Met de afsluiter tool kan goed worden nagegaan wat het effect is van het verplaatsen van afsluiters of het toevoegen/verwijderen van afsluiters. Zo kan bijvoorbeeld ook worden nagegaan wat de betrouwbaarheid van geplaatste afsluiters moet zijn bij het halveren van het aantal afsluiters in een voorzieningsgebied. Hiertoe wordt eerst met het originele aantal afsluiters de impact of de  $CML_{da}$  bepaald (afhankelijk van het bedrijfsbeleid) bij een bepaald afsluiterbetrouwbaarheid. Daarna wordt vervolgens nagegaan wat de nieuwe afsluiterbetrouwbaarheid moet zijn om een zelfde impact of  $CML_{da}$  te halen. De nieuwe afsluiterbetrouwbaarheid kan in zulke gevallen boven de 100% komen te liggen, wat er op neerkomt dat het halveren van het aantal afsluiters altijd zal leiden tot een hogere impact of  $CML_{da}$ , onafhankelijk van de onderhoudsfrequentie.



## 6 Conclusies

Op basis van de rekenresultaten zijn verbeteracties geformuleerd voor het ontwerp van een gedeelte van Scheveningen; zoals het vergroten of verkleinen van secties door het (ver)plaatsen van afsluiters. Het is vanwege de kosten belangrijk dat het bepalen van de afsluiterlocaties tijdens de ontwerpfase bewust plaatsvindt. Het plaatsen van meer afsluiters of afsluiters met een grotere betrouwbaarheid verhoogt de initiële kosten. Elk waterbedrijf zal daarom proberen een optimum te vinden tussen het aantal afsluiters, hun betrouwbaarheid, en de mogelijke effecten en kosten resulterend uit afsluiterfalen.

Het effect van verplaatsing of het plaatsen/weghalen van afsluiters is nu eenvoudig te berekenen met de afsluitertool. Prestatie-indicatoren die hiervoor beschikbaar zijn, zijn bijvoorbeeld de impact en de CML.

Ook is het mogelijk om de benodigde afsluiterbetrouwbaarheid (en daarmee de frequentie van het afsluiteronderhoud) te bepalen indien het aantal afsluiters in een voorzieningsgebied afneemt en een waterbedrijf toch een gelijke, gemiddelde betrouwbaarheid van de sectie-isolatie eist. In sommige gevallen blijkt het echter niet mogelijk om dezelfde CML-waarde te handhaven, zelfs niet met een afsluiterbetrouwbaarheid van 100% en dus ongeacht de onderhoudsfrequentie.



## 7 Literatuurlijst

Rosenthal, L. P. M. and Koning, M. de, 2001. Requirements for valves from a customer's point of view (BTO 2001.156). Kiwa Water Research, Nieuwegein

Rosenthal, L. Mesman G. and Koning, M. de, 2001. Key Criteria for Valve Operation and Maintenance (BTO 2001.155). AwwaRF-Kiwa workshop. Kiwa, Nieuwegein

Rosenthal, L. P. M., 1997. Leidingnetbeheer. Kiwa, Nieuwegein

Schaap, P. and Mesman, G., 2002. Betrouwbaarheid en plaatsing van afsluiters - Criteria voor betrouwbaarheid (BTO 2002.138). Kiwa Water Research, Nieuwegein

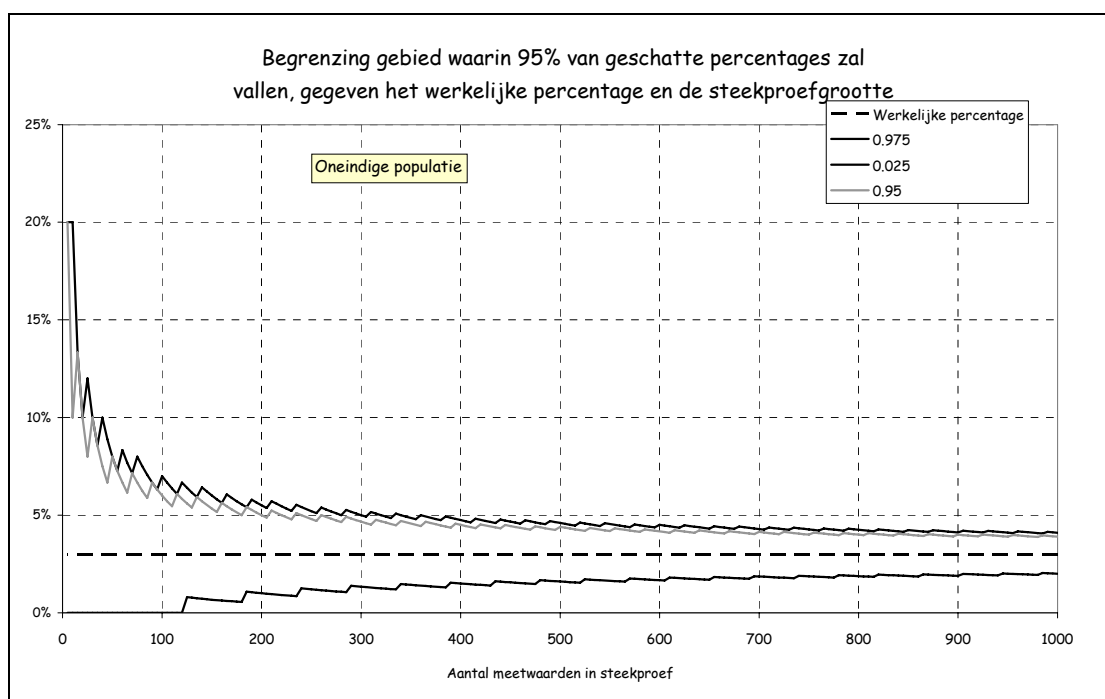
Walski, Thomas M., 1993. Water distribution valve topology for reliability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 42:21



# I De invloed van de steekproefgrootte

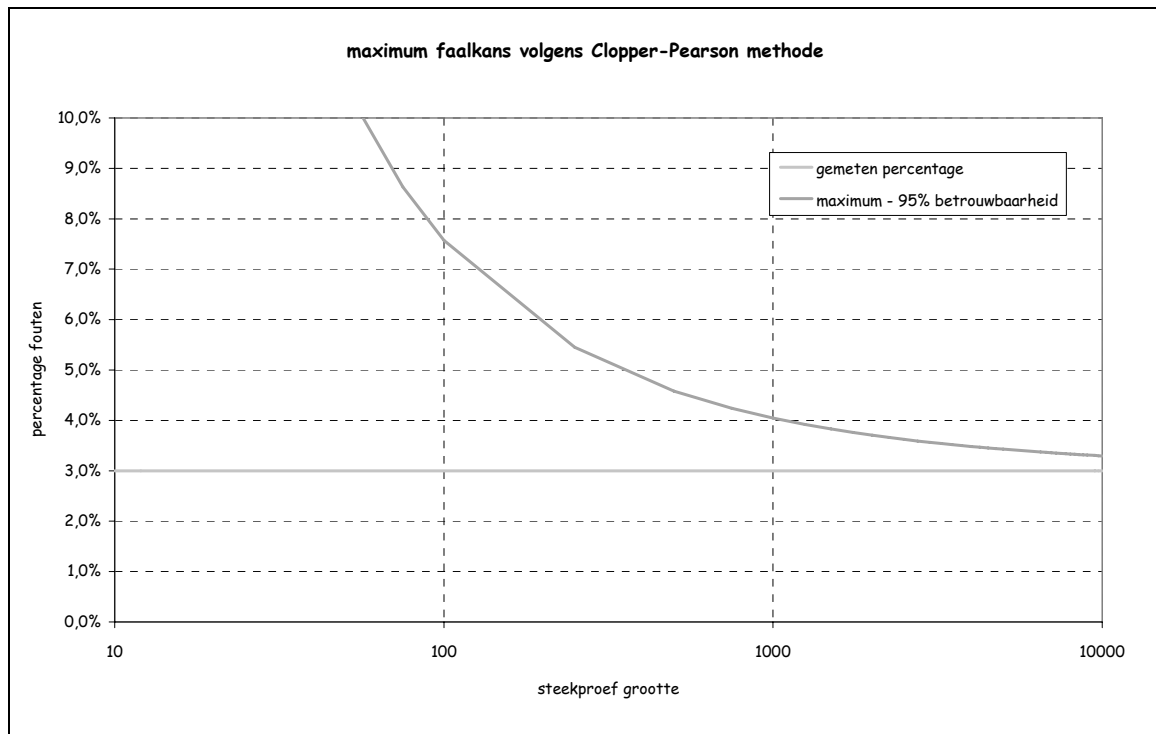
In deze bijlage wordt wat inzicht gegeven in de invloed van de steekproefgrootte op het betrouwbaarheidsinterval bij het schatten van de storingskans.

Uitgaande van de binominale verdeling van de gemeten faalkans rond de werkelijke storingskans kan een 95% betrouwbaarheidsinterval worden bepaald, afhankelijk van de grootte van de steekproef en de werkelijke storingskans. In figuur I-1 is de betrouwbaarheidsinterval grafisch weergegeven voor verschillende steekproefgroottes uit een oneindige populatie. Wanneer de werkelijke faalkans 3% is zal bij een steekproef van 250 in 95% van de gevallen de gemeten faalkans minder dan 5% zijn.



Figuur I-1 Begrenzing van het gebied waarin 95% van de gemeten percentages zal vallen gegeven het werkelijke percentage van 3% en voor verschillende steekproefgroottes. De horizontale, onderbroken lijn betreft het werkelijke percentage van 3%. De twee zwarte lijnen begrenzen het gebied waarbinnen het gemeten percentage zal liggen (met 95% betrouwbaarheid). De grijze lijn geeft de bovengrens aan, waaronder 95% van de gemeten percentages zal liggen.

Andersom kan voor een gegeven steekproefgrootte en het aantal gevonden foutieve afsluiters worden berekend wat het 95% betrouwbaarheidsinterval is voor de maximale werkelijke storingskans. De berekening wordt gedaan met de zogenaamde Clopper-Pearson methode. In figuur I-2 is de berekende maximale faalkans uitgezet tegen de steekproefgrootte bij een gemeten faalkans van 3%. Uit deze figuur volgt dat bij een gemeten faalkans van 3% in een steekproef van 300 (9 stuks gevonden die niet voldeden) met 95% betrouwbaarheid gezegd kan worden dat de faalkans minder dan 5.2% is. Bij een steekproef van 1000 is de berekende faalkans kleiner dan 4%.



Figuur I-2 maximum faalkans bij 3% gemeten faalkans en verschillende steekproefgroottes

Wanneer deze Clopper-Pearson methode gebruikt zou worden om te kijken of de storingskans onder de 5% ligt en de gemeten storingskans is 3% dan is een minimum steekproefgrootte van 350 vereist.



## II Sequential Probability Ratio Test

### II.1 Inleiding

Binnen de statistische proces- en kwaliteitsbeheersing is het belangrijkste doel kwaliteitscontroles uit te voeren op bijvoorbeeld geproduceerde goederen [Otten, 1996]. De kwaliteitseisen zijn vastgestelde normen waaraan een populatie producten moet voldoen. Voor het toetsen van goederen zijn verschillende statistische keuringmethodieken ontwikkeld die, met behulp van verschillende steekproef-technieken, een uitspraak opleveren omtrent het al dan niet voldoen aan de gestelde normen.

### II.2 Achtergrond statistische proces- en kwaliteitsbeheersing

Uitgangspunt voor statistische proces- en kwaliteitsbeheersing is de kwalificatie per item van 'goed' of 'fout'. Hierbij wordt 'fout' gedefinieerd als 'niet aan de kwaliteitseis voldoen'. Basis voor statistische proces en kwaliteitsbeheersing (SPKB) zijn de eisen vanuit de producent en de consument:

- De producent (waterleidingbedrijf) stelt eisen aan de aantoonbaarheid van goede kwaliteit van een partij goederen (bijvoorbeeld brandkranen of afsluiters). Dit wil zeggen dat als de onderzochte partij voldoet aan de norm, de producten in het algemeen dit met grote zekerheid ook zullen doen.
- De consument (gebruiker) stelt daartegenover eisen ten aanzien van de aantoonbaarheid van slechte kwaliteit van een partij. Dit wil zeggen dat als een partij niet aan de norm voldoet, de consument dit met grote zekerheid aangetoond wil hebben.

Een veel gebruikte en gedegen methodiek voor het toetsen op defecten is tijdens de Tweede Wereldoorlog ontwikkeld door de Amerikaanse statisticus A. Wald [Wald, 1945; Wald, 1948]: de *Sequential Probability Ratio Test*. Met deze test kan een niet vooraf vastgestelde steekproefgrootte worden getoetst, met een sequentieel keuringsschema. In het kort komt de methode neer op het principe, dat na elk willekeurig getrokken item uit de steekproef wordt bepaald of de populatie aan het criterium (kwaliteitseis of -norm) voldoet of niet.

In deze bijlage wordt de toetsingsmethode *Sequential Probability Ratio Test* (SPRT) gepresenteerd. Voordeel van deze methode is dat de verwachte steekproefgrootte relatief klein en onafhankelijk van de grootte van de populatie is. Zo kunnen beslissingen snel en uniform worden gemaakt.

### II.3 Keuringseisen

Een statistische vertaling van de eisen vanuit producten en consument voor de SPKB is als volgt te definiëren:

1. Als de werkelijke foutenkans van de totale partij lager is dan de gestelde norm moet dat met een te bepalen betrouwbaarheid worden aangetoond:

$$\text{Als } p \leq p_0 \quad \Leftrightarrow \quad P_{\text{acc}} \geq 1 - \alpha$$

Hierin is:  $p$  De werkelijke foutenkans van de totale partij.  
 $p_0$  De kwaliteitsnorm vanuit de producent  
 $P_{\text{acc}}$  De acceptatiekans van de partij op basis van de steekproef

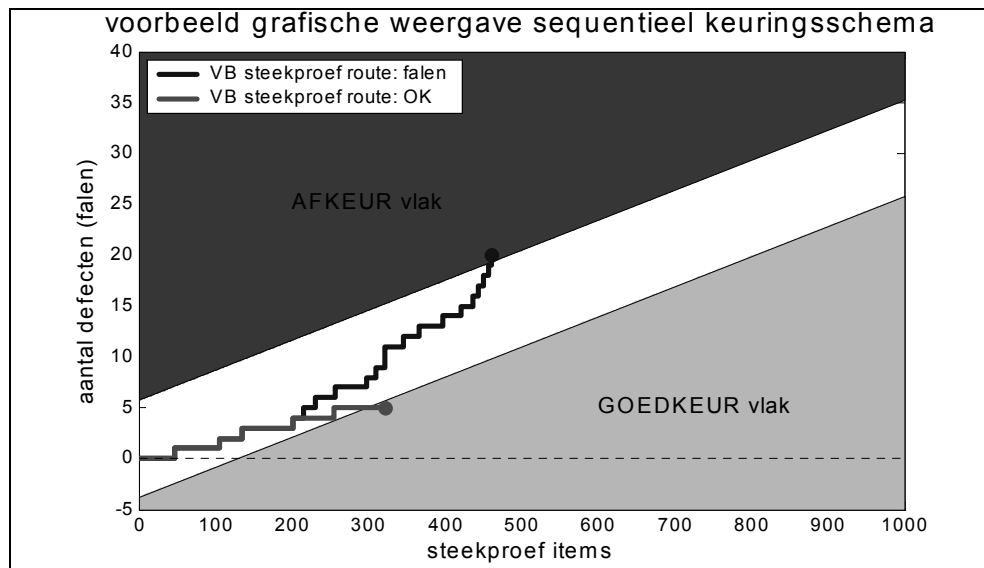
2. Als de werkelijke foutenkans van de totale partij hoger is dan een negatieve norm mag de kans dat deze partij toch wordt goedgekeurd zeer klein zijn:

$$\text{Als } p \geq p_1 \quad \Leftrightarrow \quad P_{\text{acc}} \leq \beta$$

Hierin is:  $p$  De werkelijke foutenkans van de totale partij.  
 $p_1$  De onacceptabele norm vanuit de consument  
 $P_{\text{acc}}$  De acceptatiekans van de partij op basis van de steekproef

### II.4 Keuringsprocedure

Op basis van deze parameters, binnen het sequentiële keuringschema, kan een grafische presentatie worden gegeven, zie ter voorbeeld figuur II-1.



Figuur II-1 voorbeeld sequentiële keuringschema

Bij figuur II-1 zijn de volgende waarden gehanteerd:

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| - $P_0 = 0,0155$ | - $\alpha = 0,001$ |
| - $p_1 = 0,05$   | - $\beta = 0,01$   |

In figuur II-1 zijn een 'afkeur' en een 'goedkeur' vlak gedefinieerd. De keuringsprocedure is als volgt:

Er wordt begonnen met het toetsen van willekeurige items uit de totale partij op 'goed' of 'fout'. Na elk item wordt de gevolgde 'route' uitgezet in een figuur als bovenstaand. De punten van deze route worden gevormd door op de x-as het steekproefnummer en op de y-as het cumulatieve aantal 'fouten'.

- Op het moment dat de 'route' in het licht grijze vlak terechtkomt kan worden gestopt met de steekproef. Met de bepaalde betrouwbaarheid,  $1 - \alpha$ , kan dan geconcludeerd worden dat de totale partij voldoet aan de norm van de foutenkans.
- Komt de route in het donker grijze vlak terecht, dan kan met de bepaalde betrouwbaarheid,  $1 - \beta$ , geconcludeerd worden dat de storingskans van het volledige bestand hoger is dan de normwaarde.

De uiteindelijke ligging van de grenslijnen wordt bepaald door de eerder genoemde statistische parameters. In de volgende paragraaf wordt een beknopte theoretische beschouwing gegeven over de methodiek van sequentiële keuringsschema's.

## II.5 Theoretische achtergrond

Uitgaande van de eerder beschreven eisen:

1. Als  $p \leq p_0 \Leftrightarrow P_{\text{acc}} \geq 1 - \alpha$

*Vrij vertaald wil deze eis zeggen dat de kans dat de totale partij wordt goedgekeurd, als de werkelijke foutenkans onder de norm  $p_0$  valt, groter is dan  $1 - \alpha$ .*

2. Als  $p \geq p_1 \Leftrightarrow P_{\text{acc}} \leq \beta$

*Vrij vertaald wil deze eis zeggen dat de kans dat de totale partij wordt goedgekeurd, als de werkelijke foutenkans boven de tweede norm  $p_1$  valt, kleiner is dan  $\beta$ .*

Hiermee worden de volgende 'goedkeur' en 'afkeur' grenslijnen gedefinieerd als functie van de steekproefgrootte  $n$ :

Grenslijn goedkeur:  $K_{\text{accept}} = s \cdot n - h_1$

Grenslijn afkeur:  $K_{\text{reject}} = s \cdot n + h_2$

Hierin zijn  $h_1$  en  $h_2$  de snijpunten van de grenslijnen bij een steekproefgrootte van 0.  $h_1$  en  $h_2$  kunnen als volgt bepaald worden:

$$h_1 = \frac{-\ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)}{\ln(q)} \quad \text{en} \quad h_2 = \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln(q)}$$

Hierin is:  $q = \left(\frac{p_1}{p_0}\right) \cdot \left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)$

s staat voor de richtingscoëfficiënt van zowel de 'goedkeur' als de 'afkeur' grenslijn en kan worden bepaald door:

$$s = \frac{\ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}{\ln(q)}$$

Verandering in de parameters zorgt ervoor dat de lijnen anders komen te liggen. Vrij vertaald betekent dat als de eisen minder streng worden de kans groter wordt dat slechts een kleine steekproefgrootte wordt gebruikt.

## II.6 Schatting steekproefgrootte

Hoewel het aantal steekproeven niet vooraf is bepaald kan wel een schatting worden gemaakt van het aantal te controleren items alvorens een conclusie over de betreffende partij kan worden getrokken. De schatting van de steekproefgrootte is afhankelijk van de werkelijke foutenkans. Wanneer de werkelijke foutenkans 0 is, zal een goedkeurconclusie veel eerder getrokken kunnen worden, dan bij een werkelijke foutenkans die rond de norm ligt.

Voor een aantal waarden van de werkelijke foutenkans wordt hieronder een schatting van de bijbehorende steekproefgrootte gegeven. Met terugwerkende kracht kan tijdens een keuring vanuit de werkelijke (en vooraf onbekende) steekproefgrootte een gevoel worden ontwikkeld voor de werkelijke foutenkans. Let wel, dit is een 'gevoel' en geen exacte meting omdat de steekproeven random getrokken worden en stochastiek een belangrijke rol speelt.

$$1. \text{ als } p = 0 \quad \Leftrightarrow \quad E_{\underline{n}} = \frac{h_1}{s}$$

$$\text{In het voorbeeld: } E_{\underline{n}} = 130$$

$$2. \text{ als } p = p_0 \quad \Leftrightarrow \quad E_{\underline{n}} = \frac{(1-\alpha)h_1 - \alpha h_2}{s - p_0}$$

$$\text{In het voorbeeld: } E_{\underline{n}} = 271$$

$$3. \text{ als } p = p_1 \quad \Leftrightarrow \quad E_{\underline{n}} = \frac{(1-\beta)h_2 - \beta h_1}{p_1 - s}$$

$$\text{In het voorbeeld: } E_{\underline{n}} = 274$$

$$4. \text{ als } p = 1 \quad \Leftrightarrow \quad E_{\underline{n}} = \frac{h_2}{1-s}$$

$$\text{In het voorbeeld: } E_{\underline{n}} = 6$$

Ad 1. Het minimaal aantal steekproeven, zie onder 1., voor 'goedkeur' (doordat geen fouten worden gevonden) kan als het snijpunt van de 'goedkeur' grenslijn met de x-as worden gezien. In het bovenstaande voorbeeld van figuur II-1. is dit gelijk aan 130. Vrij vertaald betekent dit dat als er, geldend

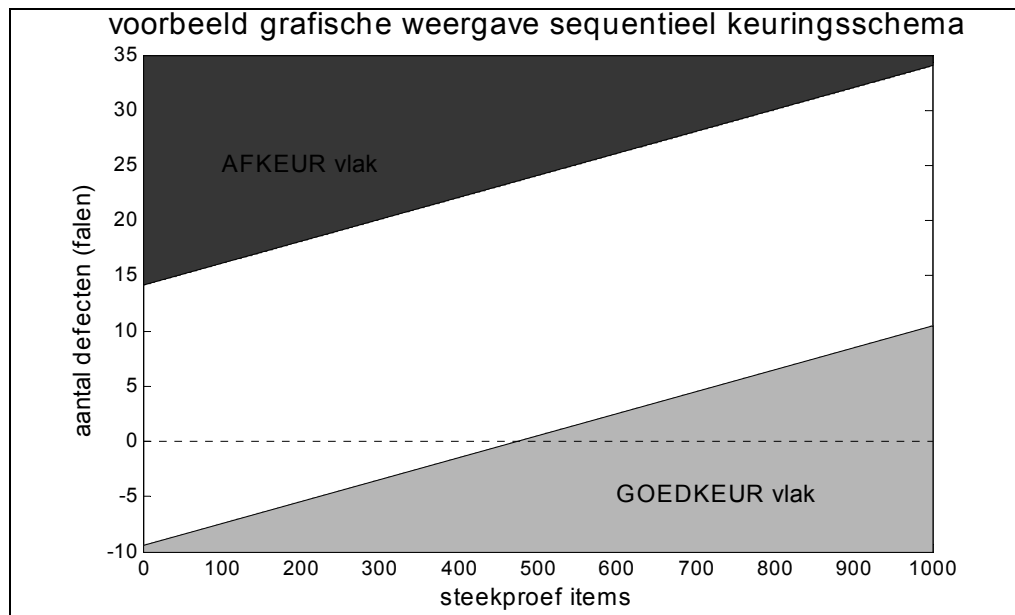
onder de keuringseisen van het voorbeeld, 130 achtereenvolgende items in orde bevonden worden, met 99,9% ( $\alpha=0,01$ ) zekerheid gesteld kan worden dat de werkelijke foutenkans van de totale partij kleiner of gelijk is aan 1,55% ( $p_0$ ). Hoe hoger de betrouwbaarheidseis, hoe meer steekproeven noodzakelijk voor een dergelijke conclusie.

- Ad 4. De minimale steekproef voor 'afkeur', zie onder 4., dient het snijpunt van de lijn  $y = x$  met de 'afkeur' grenslijn te worden bepaald ('elk gecontroleerd item is defect'). In het bovenstaande voorbeeld van figuur II-1 is dit gelijk aan 6. Vrij vertaald betekent dit dat als er 6 achtereenvolgende items 'fout' zijn 99,9% ( $\alpha=0,01$ ) zekerheid gesteld kan worden dat de storingskans van het totale bestand brandkranen groter is dan 1,55% ( $P_0$ ).

## II.7 Invloed parameters

Om een indicatie te geven van de invloedssferen op het keuringsschema van de verschillende statistische parameters is hieronder een grafische presentatie gegeven van de invloed van  $p_1$ . Zoals reeds beschreven is  $p_1$  de norm waarbij de kans dat de totale partij als zijnde 'in orde' wordt gemerkt, terwijl de werkelijke foutenkans boven  $p_1$  ligt, kleiner is dan  $\beta$ . Gevoelsmatig zou  $p_1$  gelijk aan  $p_0$  genomen worden. Het is echter statistisch onmogelijk om met behulp van een steekproef methodiek met een bepaalde betrouwbaarheid het onderscheid te kunnen maken tussen een storingskans  $p \leq p_0$  en  $p \geq p_1$  met  $p_0 \cong p_1$ . Hiermee wordt de minimale steekproefgrootte bij het sequentiële keuringsschema oneindig.

Ter indicatie is in figuur II-2  $\beta = 0,025$  genomen in plaats van  $\beta = 0,05$  (uit figuur II-1).



Figuur II-2 Sequentieel keuringsschema bij  $\beta = 0,025$

Het effect is duidelijk zichtbaar bij de berekening van de minimale steekproefgrootte bij zowel 'goedkeur' als 'afkeur', respectievelijk 475 (zie punt 1 uit paragraaf II.6) en 14 (zie punt 4. uit paragraaf II.6).

Vrij vertaald betekent dit voorbeeld dat als  $p_0$  en  $p_1$  dichter bij elkaar liggen, het onderscheidend vermogen minder wordt en er dus meer steekproefitems getrokken moeten worden om tot een eenduidige conclusie te komen.

## II.8 Referenties

Otten, A. en Verdooren, L.R., 1996. Statistische proces- en kwaliteitsbeheersing, Wageningen Universiteit.

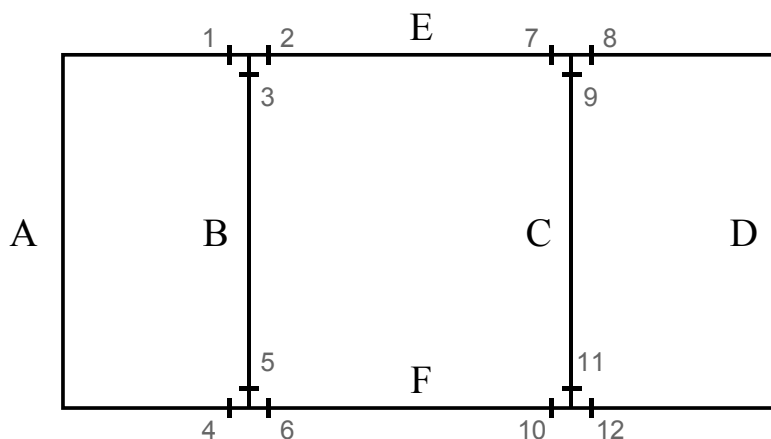
Wald, A., 1945. Sequential tests of statistical hypotheses, Ann. Math. Stat. Vol. 16, pp. 117-186.

Wald, A. en Wolfowitz, J., 1948. Optimal Character of the Sequential Probability Ratio Test, Ann. Math. Stat. Vol. 19, pp. 326-339.

# III Betrouwbaarheid sectie-isolatie

## III.1 Eerste orde kans op falen

Bij het berekenen van de kans op falen wordt de kans berekend op het beperken van uitbreiding van het aantal getroffen aansluitingen tijdens een storing in een sectie.



figuur III-1 Voorbeeld netwerk met een VCI = 0

Beschouwen we figuur III-1. In de secties A t/m F zijn elk 100 aansluitingen aanwezig. Het gebied tussen afsluiters 1, 2 en 3 en afsluiters 4, 5 en 6 zijn buffergebieden (secties zonder aansluitingen), aangenomen dat alleen in de secties A t/m F aansluitingen aanwezig zijn.

Vier scenario's zijn mogelijk om de sectie succesvol te isoleren indien een incident optreedt in sectie A:

1. afsluiters 1+ en 4+
  2. afsluiters 1+, 4-, 5+, 6+
  3. afsluiters 1-, 4+, 2+, 3+
- (+ = afsluiter is goed afsluitbaar; - = afsluiter is niet goed afsluitbaar)

In deze drie scenario's wordt alleen sectie A getroffen en niet de secties B t/m F.

Wanneer wordt aangenomen dat een afsluiter in 90% van de afsluiteracties volledig goed functioneert (dus 'betrouwbaar' is), dan is de kans op 'alleen falen in sectie A' voor de bovengenoemde scenario's:

- ad 1.  $p = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$   
ad 2.  $p = 0,9 \cdot 0,1 \cdot 0,9^2 = 0,07$   
ad 3.  $p = 0,1 \cdot 0,9 \cdot 0,9^2 = 0,07$

De kans dat een storing beperkt blijft tot sectie A (en 100 aansluitingen worden getroffen) is dus 95%.

### III.2 Tweede orde kans op falen

De kans dat 200 aansluitingen worden getroffen, wanneer een storing optreedt in sectie A, is aanzienlijk kleiner. De scenario's waarin 200 aansluitingen worden getroffen, zijn (met bijbehorende kansen):

4. afsluiters 1-, 4-, 2+, 3+, 5+, 6+	p = 0,01
5. afsluiters 1-, 2-, 3+, 4+, 7+ (secties A en E):	p = 0,007
6. afsluiters 1-, 2-, 3+, 4+, 7-, 8+, 9+ (secties A en E):	p = 0,001
7. afsluiters 1-, 2-, 3+, 4-, 5+, 6+, 7+ (secties A en E):	p = 0,001
8. afsluiters 1-, 2-, 3+, 4-, 5+, 6+, 7-, 8+, 9+ (secties A en E):	p = 0,000
9. afsluiters 1+, 4-, 5+, 6-, 10+(secties A en F):	p = 0,007
10. afsluiters 1+, 4-, 5+, 6-, 10-, 11+, 12+ (secties A en F):	p = 0,001
11. afsluiters 1-, 2+, 3+, 4-, 5+, 6-, 10+(secties A en F):	p = 0,001
12. afsluiters 1-, 2+, 3+, 4-, 5+, 6-, 10-, 11+, 12+ (secties A en F):	p = 0,000
13. afsluiters 1-, 2+, 3-, 4+, 5+ (secties A en B):	p = 0,007
14. afsluiters 1-, 2+, 3-, 4+, 5-, 6+ (secties A en B):	p = 0,001
15. afsluiters 1-, 2+, 3-, 4-, 5+, 6+ (secties A en B):	p = 0,001
16. afsluiters 1+, 3+, 4-, 5-, 6+ (secties A en B):	p = 0,007
17. afsluiters 1+, 2+, 3-, 4-, 5-, 6+ (secties A en B):	p = 0,001
18. afsluiters 1-, 2+, 3+, 4-, 5-, 6+ (secties A en B):	p = 0,001
19. afsluiters 1-, 2+, 3-, 4-, 5-, 6+ (secties A en B):	p = 0,000

De kans dat 200 aansluitingen worden getroffen komt hiermee op circa 5%.

In geval van een storing in een willekeurige sectie:

- is de kans 95% dat 100 aansluitingen worden getroffen (zie paragraaf III.1);
- is de kans 5% dat 200 aansluitingen worden getroffen.

Dit betekent dat gemiddeld  $(95\% \cdot 100 + 5\% \cdot 200) = 105$  aansluitingen worden getroffen door een storing.

Wanneer het aantal bufferzones afneemt, dan neemt de kans toe dat meerdere secties worden getroffen. In bovengenoemd netwerk zal het gemiddeld aantal getroffen aansluitingen zijn:

- 100% bufferzones : 102 aansluitingen
- 50% bufferzones : 117 aansluitingen
- 0% bufferzones : 130 aansluitingen

De bovengenoemde, berekende effecten zijn alleen geldig voor het systeem in figuur III-1 en aangenomen dat de afsluiters 90% betrouwbaar zijn. Berekeningen van de betrouwbaarheid van andere secties zullen leiden tot andere effecten met betrekking tot het gemiddeld aantal getroffen aansluitingen.

Om de betrouwbaarheid van een sectie te vergroten, zijn drie 'afsluiter' opties mogelijk:

- Verklein het aantal aansluitingen in de secties (effectreductie)
- Introduceer bufferzones (effectreductie en toename van de kans op isolatie van een sectie)
- Toename van de afsluiterbetrouwbaarheid (toename van de kans op isolatie van een sectie)



Bovengenoemde maatregelen zijn alleen 'afsluiter' opties. Uiteraard kan de betrouwbaarheid van een systeem ook worden verbeterd door de kans op leidingbreuken en lekkage te verkleinen.

### **III.3 Afsluitertool**

De methodiek beschreven in de voorgaande paragrafen is zeer rekenintensief bij meer complexe leidingnetten. Om die reden is besloten om met behulp van een Monte Carlo methode de kritische prestatie-indicatoren te berekenen.

In de afsluitertool worden de volgende stappen doorlopen:

1. Voor elke sectie wordt een aantal keer de impact van een incident in die sectie berekend:
  - a. Voor de te isoleren sectie wordt bepaald welke afsluiters moeten worden afgesloten;
  - b. Per afsluiter wordt (met behulp van een random-generator) bepaald of deze functioneert;
  - c. Indien een afsluiter niet functioneert, dan wordt de aangrenzende sectie toegevoegd aan de lijst met getroffen secties en wordt ook deze sectie geïsoleerd (en stappen a en b herhaald voor deze sectie).
2. Van elke sectie wordt de gemiddelde impact, het verhoudingsgetal, de CML en de CI per sectie berekend.