

T E C H N I S C H E   U N I V E R S I T E I T   D E L F T

Faculteit der Elektrotechniek

Aard        : Afstudeerverslag  
Omvang      : 28 pagina's  
Datum       : november 1988

Lab/Afd.   : Telecommunicatie en Verkeersbegeleidingssystemen

Opdracht   : dK/1984/5  
nummer

Auteur     : T.H. Oei

Titel       : Gereedschappen voor het projecteren van lokale netten.

Korte       : Dit verslag beschrijft een aantal factoren en  
inhoud      oplossingsmethoden voor het projecteren van lokale  
             telefoonnetten.

TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT

Faculteit der Elektrotechniek

Vakgroep Telecommunicatie- en Verkeersbegeleidingssystemen  
Laboratorium Automatische Verkeerssystemen

a f s t u d e e r o p d r a c h t

Te verrichten door : T.H. Oei

Mentor(en) : Ir. J.R. Westerveld  
Ir. R.A. Beukers

Omschrijving van de opdracht:

De opdracht omvat om uitgaande van gegevens zoals:

- \* kosten van schakelpunten in een netwerk;
- \* de verkeersrelaties tussen schakelpunten;
- \* toelaatbare blokkeringskansen;
- \* de verkeerscapaciteit;
- van schakelpunten (semi)automatisch een aantal kenmerken van een lokaal netwerk vast te stellen. Dit zijn ondermeer:
- \* het aantal benodigde verkeerscentrales;
- \* de optimale plaatsing van de verkeerscentrales;
- \* het vaststellen van de schakelpunten behorende bij een bepaalde verkeerscentrale;
- \* de routing van de verschillende verkeersstromen.

Met dit gereedschap moet het mogelijk zijn de globale netwerkkosten te minimaliseren.

Aanvang: oktober 1984

Opdrachtnummer: dK/1984/5  
Delft, 20 maart, 1987  
de Hoogleraar,

Prof. Ir. J.L. de Kroes

Ontwerpen van lokale telefoonnetten.

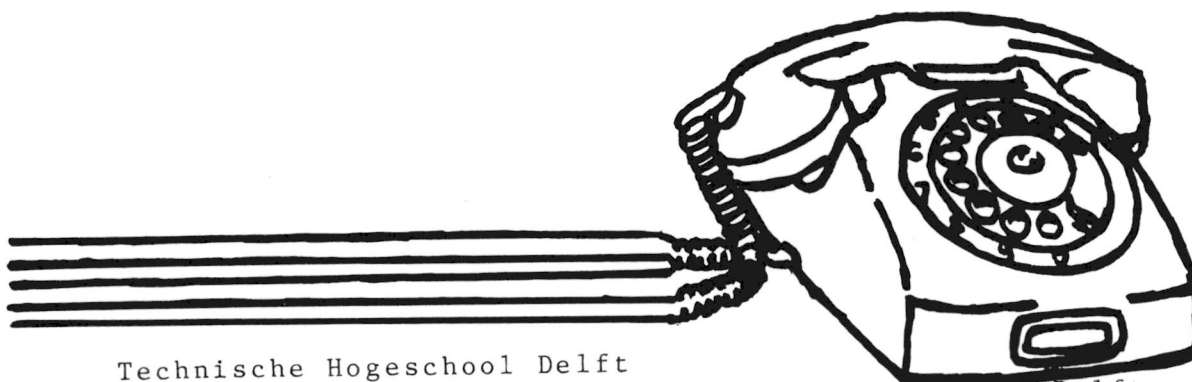


afstudeerverslag van:

Tiong Houw Oei

begeleid door:

|      |                 |
|------|-----------------|
| prof | J.L. de Kroes   |
| ir   | R.A. Beukers    |
| ir   | J.R. Westerveld |



## 1. SAMENVATTING

Van de kosten van de telecommunicatie infrastructuur nemen de lokale netten een van de grootste posten voor hun rekening. Het optimaliseren van de planningsmethoden(projectering) zou dan ook bij de 'post' lokale netten het grootste effect kunnen resorteren. Dit verslag beschrijft een aantal factoren en oplossingsmethoden die voor het projecteren van deze netten van belang zijn.



## 2. INLEIDING

Grofweg 30% van de totale investering bestaat uit uitbreiding van de lokale netten; deze kosten omvat al de uitgaven van de installatie, die zowel lokaal als interlokaal verkeer van service voorziet. Daarmee neemt het lokale net het grootste deel van alle kosten op zich. Wat de installatie-uitgaven van de lokale telefoondienst betreft bedraagt het deel van de lokale telefoonkabels rond 60%, het deel van de lokale centrale apparatuur rond 30%, en abonnee-apparatuur en gebouwen slechts 5% van de totale installatiekosten. Vanwege de hoge totale kosten brengen geringe verbeteringen reeds besparingen met zich mee.

Bovendien kan men de planning van het lokale net niet los zien van die van het interlokale verbindingsnet; de economisch gunstigste plaats en grootte van de centrale wordt geheel bepaald door de planning van het lokale net. De kosten van de kiesapparatuur hangen weinig af van de plaats en grootte van de centrale, terwijl de verbindingskosten beslist worden door het aantal en de posities van de verbindingsknooppunten.

De verscheidenheid van lokale netten maakt het toepassen van generalisaties moeilijk; het vinden van wiskundige formulering en daarmee het maken van kostenberekeningen worden daardoor bemoeilijkt.

Bij elke project, in het bijzonder van lokale netten, zijn vele technisch gelijkwaardige realisaties mogelijk, waaruit door kostenberekening de meest economische te kiezen is. Alleen op deze manier kan men tussen verschillende oplossingsmogelijkheden op rationele wijze een keuze maken en daarmee zowel kostenverspillend technisch perfectionisme als oneconomische zuinigheid vermijden.

Dit alles roept vragen op m.b.t. hoe en in welke mate een beslissing de parameters van het telefoonnet beïnvloedt. En de belangrijkste vraag: zijn er enige richtlijnen op te schrijven voor het projecteren van telefoonnetten?

## 2.1 Probleemstelling

De bedoeling van deze studie is het definieren van het ontwerpproces van een telefoonnet. De synthese van een netwerk houdt in het volgende:

### Gegeven:

- kosten van lijnen en centrales.
- lokaties van alle bestaande centrales.
- verkeer en bestaande verbindingen tussen elke paar centrales.
- bedieningsgraad.
- capaciteit van de afzonderlijke (huidige) centrale van het telefoonnet.

### Gevraagd:

- het aantal centrales.
- lokatie van de nieuwe centrales.
- aansluiten van elke lokale centrale aan het telefoonnet.
- het bepalen van de route van de afzonderlijke verkeerstroom. zodanig, dat het totale kosten van het net minimaal is.

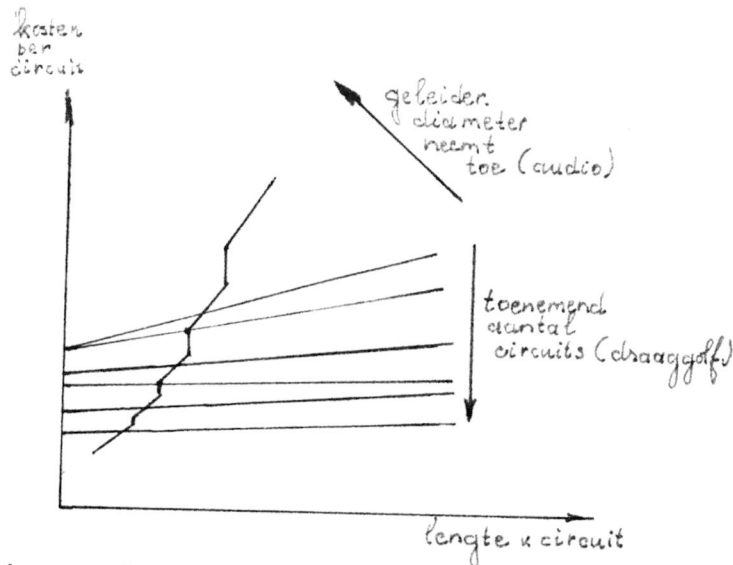
Het verslag bevat een beschrijving van de context waarbinnen de synthese probleem gezien moet worden. Het is een framework waarmee analyse en uitbreidingen van het net uitgevoerd kan worden. Het model maakt het mogelijk een telefoonnet ontwerper te assisteren bij:

- het voorzien van een methode voor het beschrijven en analyseren van een netvorm.
- aanbrengen veranderingen in netstructuur t.b.v. kostenanalyse van een aantal mogelijk realiseerbare netvormen.
- veranderen data t.b.v. onderzoek van geprojecteerde verkeerspatroon.

Dit model moet enerzijds de werkelijke verhoudingen voldoende nauwkeurig weergeven en zal anderzijds als kenmerk moeten hebben, dat de benodigde rekentijd van aanvaardbare groote is.

### 3. KOSTEN

#### 3.1 Kostenfunctie

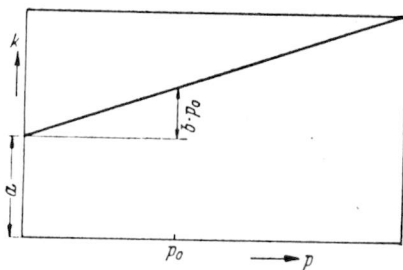


Figuur 3.1.0: kosten draaggolf-en audiolijnen.

De grafiek voor de lijnen vertoont een serie van lijnstukken; afhankelijk van het bereik van de lijnlengte verschilt de gebruikte geleiderdiameter. De lineaire betrekking geldt in dit geval slechts wanneer men het bereik van de lijnen in trajecten onderverdeelt. Bij een draaggolf circuit daarentegen heeft een lijn een constante waarde en is goedkoper naarmate er meer frequentiebanden op de kabelverbinding zijn.

#### 3.1.1 Lijnkosten per kilometer.

Om bij omvangrijke netberekeningen een algemene indruk te krijgen, past men bij benadering een lineaire relatie toe,



Figuur 3.1.1: kosten per lengteenheid.

daar met discrete waarden van marktprijzen geen gegeneraliseerde berekeningen uitgevoerd kunnen worden (de prijsontwikkeling is niet altijd bekend, zodat op die manier de aanschafkosten niet

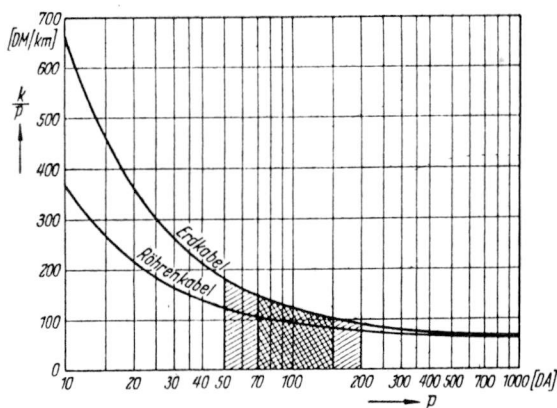
gecorrigeerd kunnen worden).

$$k = a + bp \quad [\text{courante geldwaarde/km}]$$

- $k$  - de kosten per lengte-eenheid [c.g./km]  
 $a$  - de kosten van nulcapaciteit per lengte-eenheid [c.g./km].  
 $b$  - de kosten per kilometer lijn [c.g./km lijn]  
 $p$  - het aantal lijnen.

De kosten van nulcapaciteit  $a$  bestaan bij grondkabels uit de kosten voor loodmantel, de graafkosten voor geul, kosten van ducts en grotendeels uit legkosten. Ze ondervinden dus grote invloed van de ontwikkeling van de loonkosten. De prijseenheid  $b$  is bij een grondkabel-installatie voornamelijk terug te voeren op de kosten van de koperaders en de isolatie; ze zijn afhankelijk van de grondstofprijs en technische verbeteringen van de kabelafwerking.

Deze grootheden  $a$  en  $b$  worden verkregen met behulp van regressietechnieken (zoals de kleinste kwadraten methode).



Figuur 3.1.2: prijs per dubbelader.

Het figuur laat zien, dat het leggen van kabels met klein aantal lijnen tot buitengewoon hoge kosten kan leiden.

$$k/p = b + a/p \quad [\text{c.g./km lijn}],$$

$k/p$  - prijs per lengte-eenheid per lijn(bij kabels)

Wanneer men niet over een kabel spreekt, maar over een net met grote verschillen in aantal lijnen, wordt bovendien het gemiddelde aantal dubbeladers  $m$  van de kabel van het gebied interessant; dit wordt geschat of bepaald m.b.v steekproefonderzoek.

Voorbeeld. Een analyse van 15 lokale netten m.b.v. lineair meervoudige regressie van het aantal dubbeladers van de aansluitkabel op gebiedsgrootte  $g$  en aantal verkeersbronnen  $q$  van

een verzorgingsgebied, resulteert in de betrekking<sup>14</sup>:

$$m = 62 + (8.9g + 6.1q)/10000$$

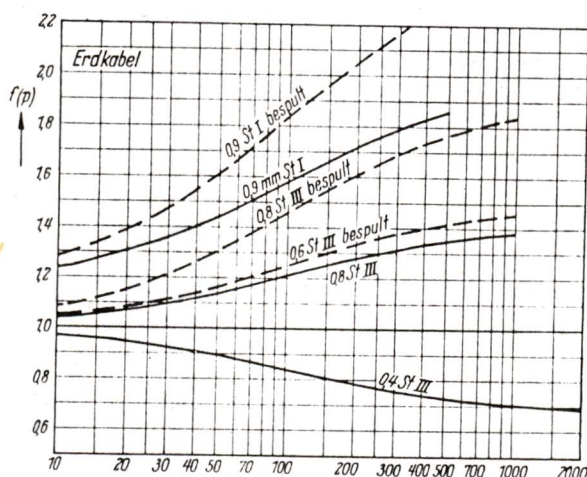
- m - het gemiddelde aantal lijnen  
g - het oppervlakte van het verzorgingsgebied [km<sup>2</sup>]  
q - het aantal bronnen van het verzorgingsgebied

(N.B. de vergelijking geldt natuurlijk slechts voor het bestaande toestand van het verzorgingsgebied.)

Voor een langer termijn netuitbreiding is in verband met de invloed van de toekomstige aantal abonnees met iets groter gemiddelde aantal lijnen te rekenen. Maar om kosten te vergelijken spelen deze onnauwkeurigheden geen rol, daar ze voor grootste gedeelte tegen elkaar weggeschrapt kan worden.

### 3.1.2 Als functie van geleiderdiameter.

Voor de kosten van het verzorgingsgebied is er bovendien bepalend met welke geleiderdiameter van kabel ze uitgebreid kunnen worden.



Figuur 3.1.3: de prijsfactor.

$$f(p) = \frac{a(d) + b(p)p}{a(0.6) + b(0.6)p}$$

- f(p) - prijsfactor  
a(d) - kosten van nulcapaciteit  
als functie van geleiderdiameter [c.g./km]  
b(d) - kosten per kilometer lijn als functie  
van geleiderdiameter [c.g./km lijn]  
d - geleiderdiameter [mm]

Tot nu toe was het gebruikelijk de koperkosten via de massa om te rekenen; het laatste is op zijn beurt recht evenredig met het kwadraat van de geleiderdiameter. In de praktijk echter

relateert men de waarde van de verschillende geleiders aan een eenheidskabel. Opzettelijk kiest men daartoe de meest gangbare kabel, bijv een kabel met 0.6mm geleiderdiameter. De prijsfactor hangt af van het aantal dubbeladers en kabeltype (grondkabels of leidingkabels).

Verzorgingsgebieden tot ongeveer 5 vierkante kilometer oppervlakte kunnen met geleiderdiameter 0.4mm uitgebreid worden; bij grotere gebieden wordt allereerst 0.6mm kabel gekozen. Wanneer in die gebieden relatief veel lijnen(bijv. >5000) aan het einde van het uitbreidingsperiode te verwachten is, wordt het beslist lonend naast 0.6mm kabel in de centrum tegelijkertijd 0.4mm kabel te leggen zodat er voor de variabele kosten een soort gemengd prijs ontstaat:

$$b(0.4|0.6) = \frac{b(0.4) + b(0.6)}{2}$$

### 3.2 Vergelijking van kosten

Een vraag die juist hier gesteld kan worden is: kan men de kosten van twee verschillende netten zonder meer met elkaar vergelijken? Een antwoord daarop is: deze kosten kan men inderdaad zonder meer vergelijken, zolang de gemiddelde levensduur en de te verwachten uitbreidingsperiode van de twee netten gelijkwaardig zijn.

Welke kosten vergelijken we? Het kan voordelen bieden om bij een vergelijking tussen twee of meer plannen, die delen van de jaarkosten weg te laten, die in de plannen niet verschillen. Zo zal bij een vergelijking tussen plannen, waarbij alleen de post rente en afschrijving verschilt en waarbij de levensduur en restwaarde van de apparatuur in de plannen dezelfde zijn, de vergelijking meestal geschieden op basis van investering.

Er komen echter ook situaties voor, waar op basis van de jaarlasten gekozen moet worden namelijk:

- wanneer de levensduur en/of de restwaarde van de apparatuur verschillend is.
- indien er sprake is van "economy of seize" (zie appendix A).
- wanneer de bedrijfskosten van de verschillende plannen niet gelijk zijn.

Voorbeeld. In figuur 2.1.0 worden audiolijnen en draaggolflijnen op basis van de jaarlasten vergeleken. Uit deze vereenvoudigde tekening kan met betrekking tot de variabele kosten bepaalde conclusies getrokken worden. Ten eerste, de draaggolfverbinding kan niet economisch zijn voor korte afstanden. De tweede conclusie is dat er voor draaggolflijnen een betrekkelijk grote vaste kosten aan vast zit die onafhankelijk is van de lengte van de lijn. De derde conclusie dat getrokken kan worden is dat de kosten van een interlokaal verbinding hoofdzakelijk afhankelijk is van de complexiteit en relatief weinig afhankelijk van de afstand, die overbrugd moet worden.

Meestal zijn de onderhoudskosten niet precies bekend of kunnen slechts bij benadering aan elkaar gelijk worden gesteld. De contante waarde van de jaarlasten hangen af van het gemiddelde levensduur en groeifactor af. Als men voor een bepaalde rentevoet kiest, kan men deze factoren tegen elkaar afwegen en krijgt men zo verhoudingsgetallen die de berekeningen makelijker maken.

Voorbeeld. Vergelijking tussen schakelapparatuur (gemiddelde levensduur  $T = 20$  jaar) en kabels (gemiddelde levensduur  $T = 30$  jaar) resulteert in een verhouding van de samengestelde interesten:  $1.453/1.211 = 1.2$  (ten ongunste van de

schakelapparatuur), terwijl de verhoudingen van de  
groeifactoren (zonder de kosten van de grond in te betrekken)  
 $3.995 \cdot 5 / 2.265 \cdot 10 = 0.88$  gunstig uitkomt voor de centrale  
apparatuur wegens de kleinere uitbreidingsperiode van het  
laatste (gemiddelde uitbreidingsperiode voor schakelapparatuur  $t =$   
5 jaar tegen gemiddelde uitbreidingsperiode van 10 jaar bij  
kabels). Daar het produkt van de zojuist verkregen  
getallen ( $1.2 \cdot 0.88$ ) ongeveer gelijk aan een is, kan men meestal  
zich beperken tot zulke vergelijkingen.



#### 4. MODELVOORSTELLING

##### 4.1 Inleiding

Het ontwerpproces van een optimaal telefoonnet behelst iteraties door vele rekenprocessen. Het achterliggende idee bij het zoeken naar het meest economisch mogelijke netvorm, is het splitsen van het grote optimalisatie probleem, in een reeks subproblemen, die opgelost kunnen worden door onafhankelijke rekenprocessen.

##### 4.2 Modulaire decompositie

De subproblemen zijn zodanig gekozen, dat ze zo weinig mogelijk met elkaar gemeen hebben; dat wil zeggen, het resultaat van de ene module kan voor de daaropvolgende module als gegeven verondersteld worden, opdat er zo min mogelijk teruggesprongen hoeft te worden om de resultaten van de vorige modules aktueel te houden.



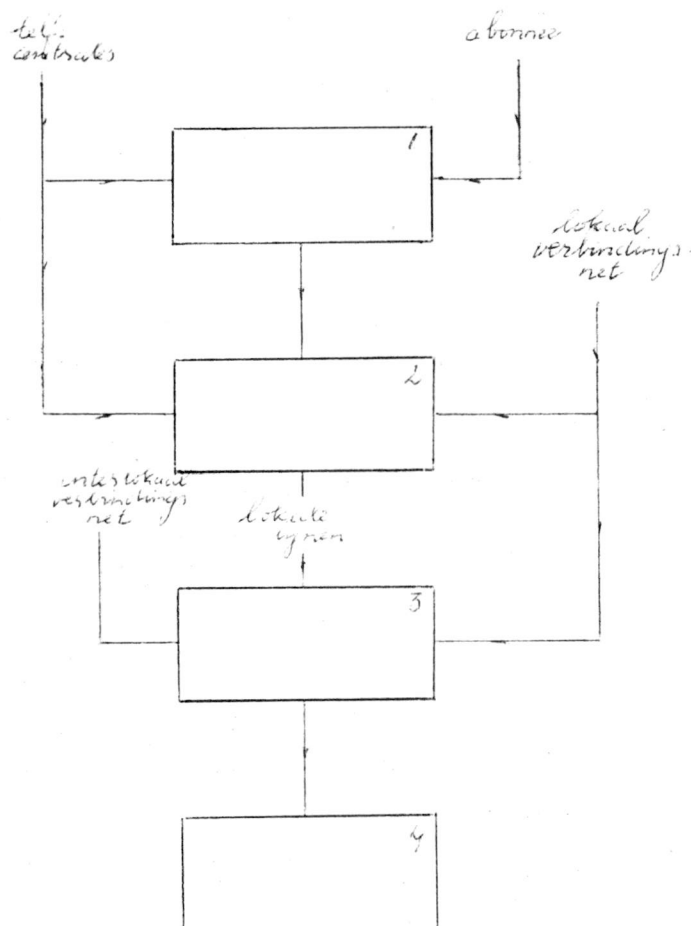
Een techniek om deze functionele decompositie voor te stellen, is als volgt: eenvoudige activiteiten zijn de knooppunten in een graph; een gerichte boog van knooppunt A naar knooppunt B is een representatie, als activiteit A verricht moet worden voor activiteit B.

Bijvoorbeeld, ten behoeve van de kostenberekening van een gesprek onder gebruikmaking van een bepaalde faciliteit (noem activiteit A), moeten we eerst het aantal gesprekken weten, dat via de desbetreffende faciliteit per maand gevoerd wordt (noem activiteit B) en verder de kosten per maand om de faciliteit te gebruiken (noem activiteit C). We trekken een boog van B naar A en een boog van C naar A. Als activiteit C onafhankelijk is van activiteit B en vice versa (als de kosten van de faciliteit geen functie is van het verkeer), dan worden de knooppunten B en C niet met een boog doorverbonden. In de praktijk, jammer genoeg, bestaan er cycli in dit proces. Zodra cycli ontdekt worden, kan elk knooppunt vervangen worden door een nieuw knooppunt, waar alle activiteiten (geassocieerd met het nieuwe knooppunt) worden verricht door een optimalisatieproces.

Een nieuw knooppunt, dat een cyclus van activiteiten voorstelt, mag vervolgens genest opgenomen worden in een andere cyclus en op dezelfde manier opgelost worden. Echter in de praktijk kan een cyclus gebroken worden door de zwakste schakel proefondervindelijk te verwijderen. Met de zwakste schakel wordt bedoeld de boog van A naar B in de cyclus, waar het resultaat van A als een gegeven voor B eenvoudig geschat kan worden.

In het volgende hoofdstuk zetten we het ontwerpen van een telefoonnet op deze manier uiteen. De modules zijn:

1. Lokale ordening module. Dit programma kent op een dynamische wijze de ab.'s toe aan hun bijbehorende centrale. Het controleert de samenhang van de data, markeert die centrales waarvan het aantal ab.'s de capaciteit, toegelaten door de type schakel- apparatuur of het beschikbare grondoppervlakte.
2. Module keuze vestigingsplaats va telefooncentrale/  
dimensionering van centrale. Het bepaalt de lokaties van de afzonderlijke centrales. Bovendien heeft het als nevenresultaat de grootte van de lijnuitbreidingen.
3. Net-topologie/routing. Het berekent de verkeerstromen tussen de hoofdcentrales
4. Module transmissiefaciliteit en kostencalculatie. Tussenresultaat: dimensies van de lijnen en verbindings- Resultaat: kosten van de lokale netten en totale kosten van het telefoonnet.



#### 4.3 Lokale ordening

Aan het begin van het eigenlijke ontwikkelingsplan staat het programma: het resultaat van de geschatte aantal abonnees met het resultaat van blokopnamen(in stedelijk gebieden) te vergelijken. Grotere verschillen(>10%) zijn na te gaan. Vervolgens kan een abonneedichtheidsplan(een kaart) gemaakt worden.

In overeenstemming met het modelnet orthogonale kabelleiding is het toepasselijk, het aantal abonnees op vierkante roostervelden met even grote oppervlakte te betrekken; het abonnee-aantal is dan eveneens evenredig met de abonneedichtheid.

Op zulke abonnee-dichtheidsplannen kunnen grenzen van verzorgingsgebieden geschetst worden; het optimale verzorgingsgebied is een van de gerealiseerde tekeningen. Meestal lopen de grenzen door gebieden met geringe abonneedichtheid, hetgeen vaak natuurlijke grenzen(parken, grachten, autowegen e.a.)zijn. Daarbij zijn de bestaande centrales(ruimte,uitbreidingsperiode,domein) als gegeven knooppunten in rekening gebracht. In gebieden die niet door natuurlijke grenzen zijn onderverdeeld, lopen de grenzen tussen bestaande centrales of tussen bestaande centrales en lokaal reeds aanvaardde knooppunten,(die zijn zodanig gekozen dat de afstanden tot naburige centrales even groot zijn).

Voor alle potentiële verzorgingsgebieden moeten dan het optimale knooppunt en de kosten bepaald worden. De kabelcentrum wordt als volgt bepaald. Een lineaal, liggend op het abonneedichtheidsplan richting oost/west, wordt parallel aan zichzelf verschoven totdat een gelijk aantal abonnees zowel ten noorden als ten zuiden van de lineaal-grenslijn liggen. Deze procedure wordt herhaald met de lineaal noord/zuid gericht. Op het snijpunt van de zojuist doorgetrokken grenslijnen moet het centrum geplaatst worden.

Voor grote verzorgingsgebieden met tal van mogelijkheden aan kabelroutes, past men een andere methode toe. Men gebruikt daarbij een rekenblad; het geeft een deel van het abonneedichtheidsplan precies weer. Deze methode werkt als volgt: voor ieder roosterveld (i,j) wordt de sommatie van alle lijnafstanden  $d(i,j)$  tot alle andere roostervelden (k,l) berekend. Het abonneedichtheid  $n(i,j)$  wordt ook meegenomen. Omdat in het modelnet de kabelroutes orthogonaal lopen, kunnen de sommaties afzonderlijk naar elk koördinaatrichting(i en j) gebeuren.

$$a(i) = \sum_j d(i,j)n(i,j) = \sum_j n(i,j)$$

$$a(j) = \sum_i d(i,j)n(i,j) = \sum_i n(i,j);$$

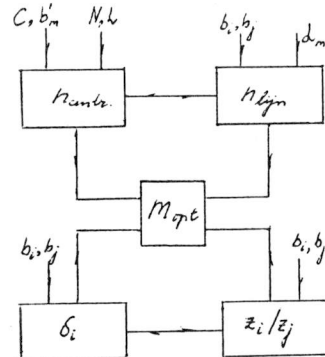
deze rij-en kolomsommaties worden in rij- en kolom richting opgeteld, waardoor er tussensommaties ontstaan:

$$S(i) = \sum_i a(i) \quad \text{en} \quad S(j) = \sum_j a(j)$$

De eindsommatie van de beide tussensommatie is gelijk aan het totale som van alle dichtheden ( $N = \sum_i \sum_j n(i,j) = \sum_i \sum_j n(i,j)$ ). De optimale knooppunt van het net ligt in het roosterveld, waarvan de rij-en kolom tussensommaties ongeveer de waarde  $N/2$  bedraagt. De relatieve fout van het deze methode kan evenredig zijn met de quotient van het roosterveldoppervlakte en oppervlakte van het verzorgingsgebied.

#### 4.4 Keuze vestigingsplaats van eindcentrale

Het figuur 3.4.2 geeft weer hoe de economische waarden van de netparameters met elkaar samenhangen<sup>14</sup>.



figuur 4.4.1: relatie van economische waarden van de netparameters.

$M_{opt}$  - optimaal totaal aantal kilometerlijn van lokale netten en verbindingsnetten.

$b_{i,n}' = b_{i,n} + (a_{i,n} + b_{i,n})/P_{i,n}$   
- gemiddelde kosten per kilometer lijn [c.g./km lijn]

$b_{i,n}$  - kosten per kilometer lijn [c.g./km lijn]

$a_{i,n}$  - kosten per kabellengte [c.g./km]

$b_{i,k}$  - kosten per geullengte [c.g./km]

$P_{i,n}$  - gemiddelde aantal lijnen per kabel

$n_{centr}$  - aantal centrales  
- lijndichtheid [km ]

$z_i / z_j$  - parameter van de grenzen van twee naburige verzorgingsgebieden

$\delta_i$  - relatieve positie van de centrale t.o.v lokale kabelcentrum

Het verbindingsnet kan pas gedimensioneerd worden wanneer de lokaties van de afzonderlijke centrales bekend zijn. Deze gegevens wijken af van de cijfers van de kabelcentra:

$$\delta \sim (Bt/Bm)T$$

Bt kosten verbindingskabels [c.g.]

Bm kosten hoofdkabels [c.g.]

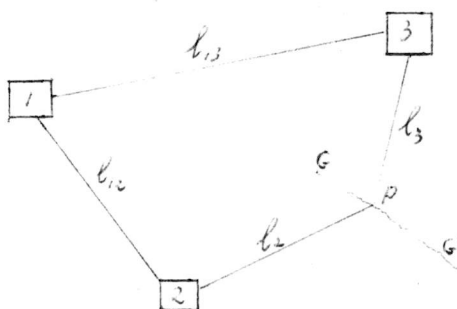
T aantal verbindingskabels/aantal hoofdkabels

In de eerste instantie ontwerpt men het verbindingsnet bij benadering (door bijvoorbeeld de dwarsbundels buiten beschouwing te laten), rekent de prijs per verbinding uit via het geleiderdiameter van het verzorgingsgebied (zie 2.1.2) en neemt

men de grootte van de verbindingbundels mee bij het calculeren van de kosten van het verzorgingsgebied.

Om er achter te komen of men met een mazennet voordeliger uitkomt, is er een extra onderzoek noodzakelijk. Langer heeft zich met deze vraag beziggehouden. Met gegevens als verkeerstroom en interessefactoren tussen de centrales onderling, bepaalt hij de constructie van verbindingslijnen dusdanig, dat het totaal aantal kilometers en kilometer lijnen zo klein mogelijk is. Omdat uitgegaan is van gelijke geleiderdiameters worden directe verbindingen in minder mate bevoordeeld, dan wanneer met gedifferentieerde diameters van kabels gewerkt wordt. De dwarsbundels mogen daarom iets groter gedimensioneerd worden dan de berekeningen van Langer aangeven.

Eventueel kunnen de grenzen van de verzorgingsgebieden bepaald worden met de zojuist vastgelegde lijndimensies en lokaties van centrales. Stel je hebt de volgende situatie, die geïllustreerd is in figuur 3.4.3. De grenzen GG' tussen de centrales (2) en (3) moet bepaald worden. Een punt P, een afstand van 12 van centrale(2) en een afstand 13 van centrale(3) verwijderd, behoort tot de grenslijn wanneer:



$$\gamma_2 b_{12} l_{12} + l_2 b_{23} = \gamma_3 l_{13} b_{13} + l_3 b_{23}$$

$\gamma$  - aantal verbindingslijnen/aantal hoofdlijnen  
 $b$  - prijs verbindingskabel per kilometer lijn  
 [c.g./km lijn]

Met behulp van deze vergelijking is het mogelijk het grenspunt P te bepalen op elke kabelroute tussen centrales(2) en (3) en de grenslijn kan getrokken worden.

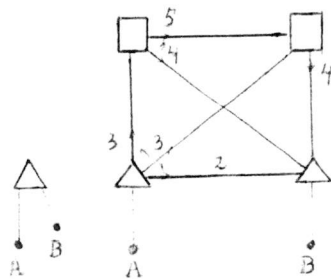
#### 4.5 Routing

De bedoeling van dit module is het minimaliseren van de totale kosten om alle gesprekken, die 'geaccumuleerd' zijn bij de knooppuntcentrales, verder behandeld te laten worden door het interlokale verbindingsnet. De procedure verschilt van het gebruikelijke minimum kosten-flow algoritmes, daar de kosten telkens veranderen wanneer telefoonverkeer gerouteerd wordt.

De procedure, om een gesprek van abonnee A naar abonnee B te routeren verloopt als volgt:

1. als abonnee A en abonnee B tot dezelfde lokale centrale behoren, wordt de verbinding via deze centrale gelegd.
2. als de abonnee B niet tot dezelfde lokale centrale als abonnee A behoort, wordt het gesprek geleid via een dwarsbundel, die de lokale centrale van A en B verbindt.
3. als zo'n route niet bestaat, of als de route geblokkeerd is, wordt het gesprek geleid via een hiërarchische route naar een centrale op een volgend hoge nivo.
4. als de centrale van abonnee B tot dezelfde hogere rangorde centrale als de centrale van ab. A behoort, wordt het gesprek direct geleid in neerwaartse richting naar de lokale centrale van B.
5. als de centrale van de B abonnee niet tot dezelfde hogere rangorde centrale als de centrale van ab. A behoort, wordt het gesprek geleid via een directe route, die de knooppuntcentrales van die van de centrale van ab. A en die van de centrale van ab. B verbindt.

Stap 5 is identiek aan stap 2, maar gebeurt op de het nivo van een hogere rangorde. Een gesprekspad wordt opgebouwd door de stappen 2-4 op de opklimmende nivo's van de hiërarchie te herhalen, totdat een pad mogelijk is gemaakt.



Figuur 4.5.1: hiërarchische routing.

In het algemeen definieert dit proces een netvorm, bestaande uit een of meer dan twee met elkaar verbonden componenten(-:-

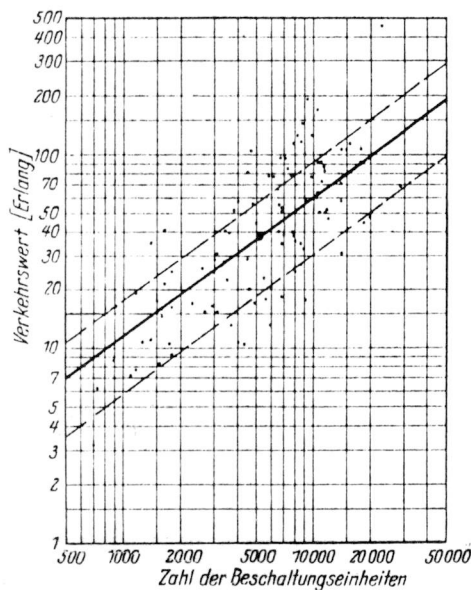
bundelgroepen verbonden subnetten) en sommige clusters(-:-een subnet met een centrale). Dit laatste is mogelijk, doordat de cluster een zeer lage interessefactor met andere clusters heeft, of de cluster ligt geografisch zeer ongunstig ten opzichte van de andere clusters, zodat het niet economisch is deze met de rest van de 'wereld' aan te sluiten. Elke component vormt een gescheiden sectie van het hele telefoonnet; het ontwerpproces kan op elk component onafhankelijk van de andere componenten werken. Als uiteindelijk resultaat moet voor elke component een uniek route tussen de centrales gedefinieerd worden.



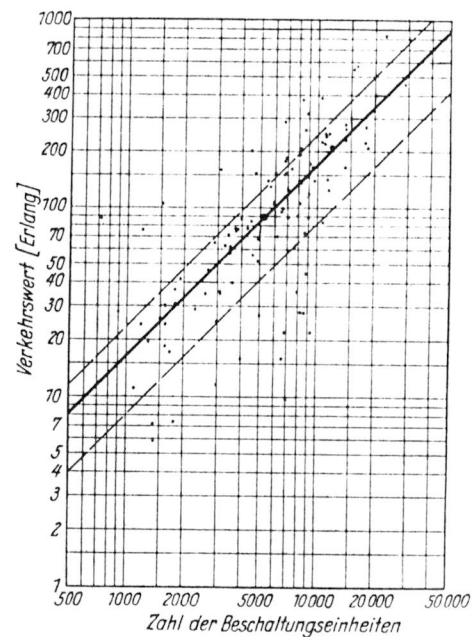
#### 4.6 Transmissiefaciliteit en kostencomputatie

Nadat het netvorm en routingschema voor al het telefoonverkeer bepaald zijn, wordt het aangeboden verkeer gebruikt om de dimensies van verbindingsgroepen uit te rekenen. Het aangeboden verkeer kan verschillende eigenschappen hebben: Poissonverkeer, overloopverkeer en dit kan toegepast worden in het Erlang-verliesstelsel (zie appendix B) of in het Erlang-wachstelsel [6], of in een combinatie van beiden.

Het verwachte aantal lijnen van de afzonderlijke centrales is reeds bekend van het ontwikkelingsplan van de verzorgingsgebieden; nu komt er op aan een regressie tussen het verkeer en het aantal lijnen van de huidige toestand te vinden en uitgaande van deze data aan het toekomstige telefoonverkeer te sluiten. Daarbij moeten het interlokale en lokale verkeer apart beschouwd worden, omdat ze (met uitzondering van randcentrales) over gescheiden bundelgroepen lopen.



Figuur 4.6.0: regressie van interlokaal verkeer en aantal lijnen.



Figuur 4.6.1: regressie van lokaal verkeer en aantal lijnen.

**Voorbeeld [14].** Een regressieanalyse van 112 centrales resulteert voor interlokaal verkeer in figuur 4.6.0, terwijl een analyse van lokaal verkeer figuur 4.6.1 oplevert. (correlatiecoëfficiënt 0.79). Voor bundels met meer dan 5 lijnen bestaat er, bij een blokkeringkans van 1% en een toegankelijkheid van 10, tussen het verkeer  $a$  [Erlang] en het benodigde aantal lijnen  $n(\text{loc})$  met redelijke benadering een lineaire relatie:

$$n(\text{loc}) = 3.0 + 1.67a$$

en bij lokale verbindingen bedraagt het aantal lijnen:

$$N = 4.5 + 2.50a$$

zodat het totaal benodigde aantal lijnen voor het uitgaande interlokale verkeer bedraagt:

$$N(\text{interloc}) = 4.5 + 0.333a^{2/3}$$

en voor het inkomend lokaal verkeer gelijk is aan:

$$N(\text{loc}) = 4.5 + 0.0425a$$

Voor het verkeer in beide richtingen (vanwege gescheiden groepen) moet deze getallen nog verdubbeld worden. Wanneer het inkomende verkeer verdeeld is over twee eindcentrales, wordt het lokale verkeer gewoonlijk, naar verhouding van het aantal circuits, gedeeld. Daar anderzijds het lokale verkeer evenredig is met het aantal circuits (uit regressieanalyse), is de betrekking van het benodigde dubbeladertal van het inkomende lokale verkeer tussen twee centrales A en B:

$$N(\text{loc}[A-B]) = 4.5 + 0.0425a_A a_B / \sum n_i$$

,waarbij  $\sum n_i$ , het totaal aantal lijnen van de beide centrales is.

(Bij deze betrekking is de interessefactor voor beide centrales gelijkwaardig verondersteld.)

Met behulp van de zojuist vastgestelde bundelgrootte en de door de centrale-locaties gegeven afstanden kan aan de dempingeisen voldaan worden en daarmee de geleiderdiameter van de verbindingbundels bepaald worden. Men neemt voor een eerste benadering eenvoudige netvormen aan, bijvoorbeeld een sternet voor de groepen van interlokaal verkeer en een mazennet voor die van het lokale verkeer, zodat men snel de geleiderdiameter  $d$  kan bepalen. Omdat in het interlokale verkeer voor ieder lokaal net de beschikbare transmissiedemping  $td$  door de demping van de desbetreffende lijnsectie bepaald worden, is het nog nodig de lijnafstand  $l(\text{Interloc})$  tussen eindcentrale en knooppuntcentrale te testen.

Voorbeeld.

$$td = 1 \text{ Np}$$

$$d = \begin{cases} 0.6\text{mm} & l < 18 \text{ km} \\ 0.8\text{mm} & 18 \leq l < 30 \text{ km} \\ 0.9\text{mm} & 30 \leq l < 42 \text{ km} \end{cases}$$

td        - transmissiedemping [Np]  
d         - geleiderdiameter    [mm]  
l         - kabellengte           [km]

In het lokale verkeer moet bovendien nog gelden dat de lusweerstand van de totale verbindingkabels de waarde van 3K ohm niet mag overschrijden.

Voorbeeld.

$$td = 2.2 \text{ Np}$$

$$d = \begin{cases} 0.6\text{mm} & l < 25 \text{ km} \\ 0.8\text{mm} & l \geq 25 \text{ km} \end{cases}$$

Ten slotte worden de kosten van heel net gecalculeerd; er wordt gebruik gemaakt van de technieken, die onder paragraaf Kosten zijn behandeld.

## 5. APPENDIX A

### levensduur

Men onderscheidt technische en economische levensduur. Aan het einde van de technische levensduur is de apparatuur versleten. Aan het einde van de economische levensduur is de apparatuur verouderd. In beide gevallen moet de apparatuur vervangen worden. Men rekent met de kleinste van de beide levensduren. In de praktijk is het vaak niet zo gemakkelijk om het onderscheid tussen technische en economische levensduur te maken.

### restwaarde

Aan het einde van de levensduur is er nog een restwaarde over; deze is gelijk aan de schrootwaarde verminderd met de sloopkosten. De restwaarde kan negatief zijn (zoals bij kerncentrales).

De post rente en afschrijving is zowel afhankelijk van de levensduur als van de restwaarde van de apparatuur.

### economy of seize

Indien er bij het aan te schaffen materiaal sprake is van "economy of seize", dan wilt dat zeggen, dat aanschaffen van een grotere capaciteit de prijs per eenheid onlaag drukt.

In verband met de jaarlijkse groei van telefoonnetten noopt dit tot voorinvestering. Ter illustratie: bij luchtlijnen, waar weinig "economy of seize" aanwezig is, vindt weinig voorinvestering plaats. Dit in tegenstelling tot kabels, waar in geval van loodmantel,

geul- en legkosten in belangrijke mate "economy of seize" aanwezig is en waar dan ook belangrijk wordt voorgeinvesteerd.

### contante waarde

Het bedrag  $C_0$  waarvoor een verplichting  $C_t$  in de toekomst in het heden kan worden afgekocht.

$$C_0 = f(b)C_t, \quad [c.g.]$$

waarin  $t$  [jaar] de tijd in de toekomst dat de verplichting optreedt.

Tabel 1: samengestelde interest en groeifactor.

| Mittl. Lebens-<br>dauer (T) bzw.<br>mittl. Ausbau-<br>abschnitt (t)<br>[Jahre] | Barwertfaktor (f(b)) bzw. Ausbauabschnittsfaktor (f(a))<br>bei einem Kalkulationszinsfuß von |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|                                                                                | 4 %                                                                                          | 6 %    | 8 %    |
| 1                                                                              | 2                                                                                            | 3      | 4      |
| 1                                                                              | 26,000                                                                                       | 17,667 | 13,500 |
| 2                                                                              | 13,255                                                                                       | 9,091  | 7,010  |
| 3                                                                              | 9,064                                                                                        | 6,235  | 4,850  |
| 4                                                                              | 6,882                                                                                        | 4,810  | 3,774  |
| 5                                                                              | 5,629                                                                                        | 3,957  | 3,131  |
| 6                                                                              | 4,774                                                                                        | 3,388  | 2,704  |
| 7                                                                              | 4,175                                                                                        | 2,986  | 2,401  |
| 8                                                                              | 3,715                                                                                        | 2,674  | 2,175  |
| 9                                                                              | 3,369                                                                                        | 2,450  | 2,001  |
| 10                                                                             | 3,088                                                                                        | 2,265  | 1,864  |
| 11                                                                             | 2,859                                                                                        | 2,113  | 1,751  |
| 12                                                                             | 2,667                                                                                        | 1,988  | 1,659  |
| 13                                                                             | 2,508                                                                                        | 1,883  | 1,582  |
| 14                                                                             | 2,369                                                                                        | 1,793  | 1,516  |
| 15                                                                             | 2,252                                                                                        | 1,716  | 1,460  |
| 16                                                                             | 2,148                                                                                        | 1,649  | 1,412  |
| 17                                                                             | 2,058                                                                                        | 1,591  | 1,370  |
| 18                                                                             | 1,977                                                                                        | 1,539  | 1,334  |
| 19                                                                             | 1,906                                                                                        | 1,494  | 1,302  |
| 20                                                                             | 1,841                                                                                        | 1,453  | 1,273  |
| 21                                                                             | 1,784                                                                                        | 1,417  | 1,248  |
| 22                                                                             | 1,735                                                                                        | 1,384  | 1,225  |
| 23                                                                             | 1,684                                                                                        | 1,355  | 1,205  |
| 24                                                                             | 1,642                                                                                        | 1,328  | 1,187  |
| 25                                                                             | 1,602                                                                                        | 1,304  | 1,171  |
| 26                                                                             | 1,566                                                                                        | 1,282  | 1,156  |
| 27                                                                             | 1,533                                                                                        | 1,262  | 1,143  |
| 28                                                                             | 1,502                                                                                        | 1,243  | 1,131  |
| 29                                                                             | 1,474                                                                                        | 1,226  | 1,120  |
| 30                                                                             | 1,447                                                                                        | 1,211  | 1,110  |
| 35                                                                             | 1,341                                                                                        | 1,149  | 1,073  |
| 40                                                                             | 1,264                                                                                        | 1,108  | 1,046  |
| 45                                                                             | 1,207                                                                                        | 1,078  | 1,032  |
| 50                                                                             | 1,164                                                                                        | 1,057  | 1,022  |

samengestelde interest

$$f(b) = \frac{(1 + p)^t}{(1 + p)^{t-1}} \quad [ \% ]$$

$$p \quad - \text{rentevoet.} \quad [ \% ]$$

Deze samengestelde interest  $f(b)$  is voor verschillende waarden van de rentevoet  $p$  van resp. 4%, 6% en 8% en gemiddelde levensduur variërend van 1 tot 50 jaar in tabel 1 eergegeven.

voorinvestering

Het is de groei van de capaciteit gedurende de optimale uitbreidingsperiode.

groefactor

Door de toename van het aantal abonnees zal de lokale capaciteit van het telefoonnet uitgebreid worden. Veronderstelt men, dat het aantal abonnees lineair in de tijd toeneemt en uitbreidingsperioden (afgezien van het per direct benodigde aantal lijnen) even groot genomen zijn, is de groefactor  $f(a)$  (tabel 1):

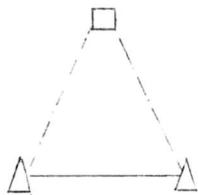
$$f(a) = \frac{(1 + p)^T}{(1 + p)^{T-1}} \quad [ \% ]$$

$$p \quad - \text{rentevoet.} \quad [ \% ]$$

## 6. APPENDIX B f131

### 6.1 Netvorm

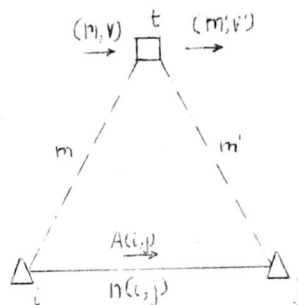
Het model van het netvorm bestaat uit elementen dat in het nevenstaande figuur afgebeeld is. In gecentraliseerd hybriede net stellen de lage rangorde knooppunten de concentratiepunten en de hogere de groepschakeleenheden voor.



- overlooproute
- directe route
- transietcentrale
- △ eindcentrale

De transietcentrale maken in volledig gedecentraliseerd net deel uit van het hoge rangorde en de eindcentrales het lage rangorde. De configuratie van het lage niveau wordt bepaald zodat een minimum aan kosten gemaakt wordt. Het hoge niveau wordt gebruikt om de verbindingskosten van de elementen in te calculeren in ieder van de alternatieve configuraties.

### 6.2 Het rekenmodel



- $A(i,j)$  - verkeer tussen centrale  $i$  en centrale  $j$
- $n(i,j)$  - bundelgrootte op de afzonderlijke route  $i \rightarrow j$
- $(M,V), (M', V')$  - gemiddelde en variantie op de tandem route
- $m, m'$  - grootte v/d overloopgroep  $i \rightarrow t$ , resp.  $j \rightarrow t$

$$\text{MIN} = b(i,j)n(i,j) + b(i,t)m + b(t,j)m'$$

$b(i,j), b(i,t), b(t,j)$  eenheidsprijs op directe resp. tandem routes

Het overloopverkeer van een of meer van de afzonderlijke bundels, waar Poisson-verkeer transport plaats vindt, wordt beschreven door twee parameters: het gemiddelde en variantie van het verkeer(M,V).

$$P(i,j) = A(i,j)E[n(i,j), A(i,j)]$$

$$V(i,j) = P(i,j)[1-P(i,j)+A(i,j)/[n(i,j)+1+P(i,j)-a(i,j)]]$$

Het gemiddelde van het totale overloopverkeer komt van de sommatie van de individuele gemiddelden en de variantie de sommatie van de afzonderlijke varianties.

$$M(i,t) = \text{SOM}(j)[P(i,j)] \quad V(i,t) = \text{SOM}(j)[V(i,j)]$$

$$M(t,j) = \text{SOM}(i)[P(i,j)] \quad V(t,j) = \text{SOM}(i)[V(i,j)]$$

Alle individuele groepen worden vervangen door een equivalent groep (volledig toegankelijk), het totale overloopverkeer, met hetzelfde gemiddelde en variantie als het totale overloopverkeer van de afzonderlijke groepen. Het overloopsysteem is dus herleid tot een volledig toegankelijk groep bestaande uit equivalent groep en het gemeenschappelijk overloopgroep.

De bundelgrootte Neq en het aangeboden verkeer Aeq van de equivalent groep worden berekend van het stelsel vergelijkingen(Wilkinson):

$$M() = Aeq()E[Neq(), Aeq()]$$

$$V() = M()[1-M()+Aeq/[Neq()+1+M()-Aeq()]]$$

Het verkeer dat door het overloopsysteem wordt geblokkeerd:

$$Aeq()E[Neq()+m(), Aeq()] = gM()$$

- het gemiddelde verkeer dat niet verwerkt  
kan worden door het overloopcircuits  
[Erlang]

g - bedieningsgraad

De impliciete uitdrukking voor de equivalente groep is te bewerkelijk om te implementeren. Een expliciete vorm voor de equivalente groep heeft Wilkinson als benadering opgesteld:

$$Aeq = V() + 3V()/M()[V()/M()-1]$$

$$Neq = Aeq/q - M() - 1$$

$$q = 1 - 1/[M()+V()/M()]$$



7. REFERENTIELIJST

1. Appropriate modern telecommunication techniques for integrated rural development in Africa(I.T.U), Geneva, Nov.'81, Part 2: Background report.
2. Local telephone networks(1juli'68), C.C.I.T.T.
3. Planning of integrated digital rural networks(ISS'81 CIC Montreal 21-25 sept.'81).
4. Transmission facility planning in telecommunication networks, a heuristic approach, I.Bays, Eur.J.Oper.Res., vol.16 no.1 p 59-83.
5. Telecommunication networks, J.E.Flood.
6. Automatische telefonie, collegedictaat.
7. The application of remote switching to Bell system rural modernization, H.W.Kettler, G.P.O'Reilly, R.L.Pokress, and K.A.Schulman, Bell Lab.
8. A new software system for planning of local transmission facilities, J.Bubbe, J.Risson, G.Rousset.
9. A model for long-term planning of local networks, C.Levy-Marchal, G.Rousset, A.Spizzichino.
10. P.A.Caballero: A method for the optimalization of telephone trunking networks with alternate routing; 6-th Intern. Teletraffic Congres, Munich, 9-15 sept.'70, paper no. 145(7p).
11. Rapp, Y: 'Calculation of traffic distribution in multiexchange networks', Ericsson Tech., 1962, 18, p.3
12. Rapp, Y: 'Some economic aspects on the long term planning of telephone networks', Ericsson Tech., 1968, no.'s 2 and 3 /45, p61, p122.
13. Rapp, Y: 'Planning of junction network in a multiexchange area', Ericsson Tech., 1964, 20, p77.
14. Heinrich Kremer: Ortsnetzplanung.
15. Weber, J.H., 'Some characteristics of communication network with automatic alternative routing'. Bell Systems Technical Journal, vol 41, 1962, p769-796.
16. Weber, J.H., "A simulation study of routing and control in communication networks". Bell Systems Technical Journal, vol.43, 1964, p2639-2678.

17. Ford and Fulkerson, Flows in networks (Princeton University Press, 1962)
18. Hu, Integer programming and network flows (Addison Wesley, 1969)
19. B.W. Kernighan and S.Lin, "An efficient heuristic procedure for partitioning graph, Bell Systems Tech. J. 49(2), february 1970, 291-307.
20. Prim, R.C., Shortest connection networks and some generalisations Bell Syst.Tech.J. vol.36, 1957, 1389-1401.
21. Frank and Frisch, Communication, Transportation and Transmission Networks (Addison Wesley, 1971).
22. Sharma, R.L., and M.T.El-Bardai: 'Suboptimal communications network synthesis'. Proceedings of the International Conference on Communications, 1970, San Francisco, pp19-11/16.
23. The use of dynamic program for planning of extensions of conduits and main cable networks in a local exchange area. Ericsson Review, vol.46, no.3 1969.
24. Computer program for optimizing the structure of analog/digital urban networks, P.A.Cabllero, F.J.de Los Rios, I.Puebla.

## CONTENTS

|     |                                                |    |
|-----|------------------------------------------------|----|
| 1.  | SAMENVATTING.....                              | 1  |
| 2.  | INLEIDING.....                                 | 2  |
| 2.1 | Probleemstelling.....                          | 3  |
| 3.  | KOSTEN.....                                    | 4  |
| 3.1 | Kostenfunctie.....                             | 4  |
| 3.2 | Vergelijking van kosten.....                   | 8  |
| 4.  | MODELVOORSTELLING.....                         | 10 |
| 4.1 | Inleiding.....                                 | 10 |
| 4.2 | Modulaire decompositie.....                    | 10 |
| 4.3 | Lokale ordening.....                           | 12 |
| 4.4 | Keuze vestigingsplaats van eindcentrale.....   | 14 |
| 4.5 | Routing.....                                   | 16 |
| 4.6 | Transmissiefaciliteit en kostencomputatie..... | 18 |
| 5.  | APPENDIX A.....                                | 21 |
| 6.  | APPENDIX B [13].....                           | 24 |
| 6.1 | Netvorm.....                                   | 24 |
| 6.2 | Het rekenmodel.....                            | 24 |
| 7.  | REFERENTIELIJST.....                           | 26 |