

MASTER

Optimalisatie van het vierde autotelefoon systeem in Nederland

van Rijnsoever, B.J.

Award date:
1991

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

7111
Vertrouwelijk

FACULTEIT ELEKTROTECHNIEK
TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN
VAKGROEP TELECOMMUNICATIE EC

OPTIMALISATIE VAN HET VIERDE AUTOTELEFOON
SYSTEEM IN NEDERLAND

door

B. van Rijnsoever

Verslag van het afstudeerwerk
uitgevoerd van 1 - 12 - 88 tot 15 - 8 - 89
Afstudeerhoogleraar: Prof. ir. J. de Stigter
Begeleiders: Ir. F.J. van Vugt
Ir. P.C.J. van der Arend

De faculteit elektrotechniek van de Technische Universiteit
Eindhoven aanvaardt geen verantwoordelijkheid voor de inhoud
van stage- en afstudeerverslagen.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de optimalisatie naar investeringskosten van het verkeers- en het signaleringsnetwerk voor mobiel specifieke procedures van het vierde autotelefoon systeem (atf-4) in Nederland, dat zal voldoen aan de in CEPT verband opgestelde Groupe Spécial Mobile (GSM) aanbevelingen.

Er wordt gestart met een samenvatting van de in deze studie relevante aspecten van GSM. Vervolgens wordt de invoering van GSM in Nederland beschreven. De aangenomen modellen van het vaste net en het radio deel van GSM, dat buiten het kader van de studie valt, worden aangegeven en een deel van de netwerkkarchitectuur van atf-4 wordt reeds ingevuld.

Er wordt aangetoond dat de optimalisatie van het signaleringsnetwerk kan worden gebaseerd op het optimale verkeersnetwerk. De voor de optimalisatie van het verkeersnetwerk relevante parameters worden aangegeven alsmede hun bereik. Een aantal parameters wordt in vier scenario's samengevat. Voor de optimalisatie is een programma systeem ontwikkeld. De invoergegevens en het systeem zelf worden beschreven, waarbij ook wordt ingegaan op de nauwkeurigheid. De resultaten worden voor de vier scenario's en de invoeringsfasen van atf-4 gepresenteerd en geanalyseerd, onder andere op gevoeligheid voor prijsvariaties.

Een groot deel van het signaleringsnetwerk is reeds ingevuld door de optimale verkeersnetarchitectuur en de aan het signaleringsnet te stellen eisen ten aanzien van betrouwbaarheid. Er worden vier scenario's onderscheiden en doorgerekend.

Voorwoord

Dit is de juiste plaats om mijn dank uit te spreken aan hen die het me mogelijk hebben gemaakt dit afstudeerwerk bij PTT Telecom als onderdeel van mijn studie elektrotechniek aan de TUE succesvol te verrichten. Dank gaat uit naar de PTT voor de gelegenheid in een bedrijfsomgeving, wat een extra dimensie aan het afstuderen geeft, te werken aan een interessant stuk telecommunicatie techniek.

Met name moeten mijn afstudeer hoogleraar en directe begeleiders worden genoemd voor hun ondersteuning en de prettige samenwerking:
Prof. ir. J. de Stigter, ir. F.J. van Vugt en ir. P.C.J. van der Arend.

Ook dank aan de medewerkers en chef van de afdeling NWB ONOS1 voor de belangstelling en collegialiteit.

Van mijn kant hoop ik dat ik met deze studie iets heb kunnen bijdragen aan een succesvol vierde autotelefoon systeem in Nederland.

Bart van Rijnsoever

INHOUD

Samenvatting

Voorwoord

Inhoudsopgave

Lijst van afkortingen

- 1 Inleiding
- 2 Beschrijving van het GSM systeem
 - 2.1 Begrippen en definities
 - 2.2 Subsystemen van een GSM PLMN
 - 2.2.1 Lagen structuur van SS7/MAP
 - 2.2.2 Lengte van MAP berichten op OSI laag 1
 - 2.2.3 Procedures in MAP
- 3 GSM in Nederland: atf-4
 - 3.1 Invoering en gebruik
 - 3.2 Architectuur
 - 3.2.1 Structuur vaste net
 - 3.2.2 Uitgangspunten voor het mobiele net
- 4 Optimalisatie atf-4
 - 4.1 Optimalisatie van het verkeersnet
 - 4.1.1 Variabelen
 - 4.1.1.1 MSCs
 - 4.1.1.2 Koppeling van het atf-net aan het vaste net en routing
 - 4.1.1.3 RSS
 - 4.1.1.4 Scenario's
 - 4.1.2 Invoergegevens van het optimalisatieproces
 - 4.1.2.1 Verkeer
 - 4.1.2.2 Mobiliteit
 - 4.1.2.3 Grensoverschreidingen
 - 4.1.2.4 Geografie
 - 4.1.3. Het optimalisatieproces
 - 4.1.3.1 Verdeling van het land in MSC-areas
 - 4.1.3.2 Links tussen MSCs onderling en tussen MSCs en het vaste net
 - 4.1.3.3 Bepaling van de kosten

| | |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| 4.1.4 | Resultaten |
| 4.1.4.1 | Optimale architecturen voor de eindfase |
| 4.1.4.2 | Evolutie gedurende de invoeringsfasen |
| 4.1.4.3 | Prijsafhankelijkheid van de resultaten |
| 4.2 | Optimalisatie MAP signalering |
| 4.2.1 | Scenario's voor het SS7/MAP subsysteem |
| 4.2.2 | Optimalisatieproces |
| 4.2.3 | Resultaten |
| 4.3 | Totaal resultaat |
| 5 | Conclusies |
| 6 | Literatuurlijst |
| App. A | Lengte van MAP berichten |
| App. B | Programma systeem |
| App. C | Nummering van evkcs en atf-2 basis stations |
| App. D | Overzicht gehanteerde prijzen |
| App. E | Toekenning atf-2 basis stations aan MSC-areas |
| App. F | Optimale posities MSCs tijdens de invoeringsfasen van atf-4 |
| App. G | Mobiliteitsmatrix |

Lijst van afkortingen

| | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Ah | Arnhem |
| Amr | Alkmaar |
| Asd | Amsterdam |
| atf | autotelefoon |
| AUC | Authentication Centre |
| Bd | Breda |
| BHCA | Busy Hour Call Attempt |
| BS | Base Station |
| BSC | Base Station Controller |
| btde | bijzonder tellende diensten centrale |
| BTS | Base Transceiver Station |
| CEPT | Conference Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications |
| Dv | Deventer |
| Ehv | Eindhoven |
| EIR | Equipment Identity Register |
| evkc | eerste orde verkeerscentrale |
| GMSC | Gateway Mobile Services Switching Centre |
| Gn | Groningen |
| Gs | Goes |
| GSM | Groupe Spécial Mobile |
| Gv | 's-Gravenhage |
| Hgl | Hengelo |
| Hlm | Haarlem |
| HLR | Home Location Register |
| Ht | 's-Hertogenbosch |
| Hvs | Hilversum |
| ISDN | Integrated Services Digital Network |
| ISP | Intermediate Service Part |
| ISUP | ISDN User Part |
| itnc | internationale centrale |
| LAAN | Lange Afstands Net |
| Lls | Lelystad |
| Lw | Leeuwarden |
| MAP | Mobile Application Part |
| MO | Mobile Originating |
| MS | Mobile Station |
| MSC | Mobile Services Switching Centre |
| MT | Mobile Terminating |
| Mt | Maastricht |
| MTP | Message Transfer Part |
| Nm | Nijmegen |
| NMC | Network Management Centre |
| nrc | nummercentrale |
| NSP | Network Service Part |
| OMC | Operations and Maintenance Centre |
| OSI | Open System Interconnection |
| O&M | Operations and Maintenance |
| PCM | Puls Code Modulatie |

PDN Packet Data Network
PLMN Public Land Mobile Network
PSTN Public Switched Telephone Network
RSS Radio Subsystem
Rt Rotterdam
SCCP Signalling Connection and Control Part
SEP Signalling End Point
SP Signalling Point
SS Supplementary Service
SSS Switching Subsystem
SS7 Signalling System Number 7
STP Signalling Transfer Point
Tb Tilburg
TC Transaction Capabilities
TCAP Transfer Capabilities Application Part
tvkc tweede orde verkeerscentrale
Ut Utrecht
vkc verkeerscentrale
Vl Venlo
VLR Visitor Location Register
Zl Zwolle

Vanaf 1991 zal de PTT het vierde autotelefoonsysteem (atf-4) in Nederland introduceren. Dit systeem zal voldoen aan de in CEPT verband opgestelde specificaties door de Groupe Spéciale Mobile (GSM). Het GSM systeem, dat ook wel mobiel ISDN wordt genoemd, zal worden gekenmerkt door bij ISDN aansluitende diensten en de mogelijkheid in Europa te roamen. In Nederland zal het systeem nieuwe diensten en vergroting van de capaciteit met zich meebrengen.

In het kader van een bij PTT Telecom uitgevoerd afstudeerproject aan de Technische Universiteit Eindhoven is de netwerkkarchitectuur van dit systeem gedurende zijn invoeringsfasen geoptimaliseerd naar investeringskosten. Van de verschillende subsystemen die onderscheiden kunnen worden zijn meer precies het verkeers- en het signaleringsnetwerk voor mobiel specifieke procedures bekeken. Daarbij moeten onder andere keuzes gemaakt worden ten aanzien van de mate van integratie van het mobiele net in het vaste net en de hoogte in het vaste net waar de koppeling tussen beide systemen gelegd wordt.

Eerst wordt een inleiding gegeven op GSM, vervolgens wordt ingegaan op de specifiek in Nederland geldende omstandigheden voor GSM en wordt een deel van de architectuur reeds ingevuld. Tenslotte wordt het optimalisatieproces, dat gescheiden voor beide netwerken plaatsvindt, beschreven en de resultaten geanalyseerd.

2 Beschrijving van het GSM systeem.

In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de voor dit werk belangrijke aspecten van het GSM systeem zoals dat beschreven is in de CEPT aanbevelingen. In [1] worden de doelstellingen van een GSM Public Land Mobile Network (PLMN) als volgt beschreven:

Met betrekking tot de services aan gebruikers:

- Het via een gestandaardiseerde toegang aan de gebruiker aanbieden van een breed spectrum aan services en faciliteiten, zowel voor spraak als data, die compatibel zijn met die in de vaste netwerken.
- Het aanbieden van een aantal services en faciliteiten speciaal voor de mobiele omgeving.
- Compatibele toegang tot het GSM netwerk voor alle gebruikers in alle CEPT landen die het systeem implementeren.
- Automatische roaming, locatie registratie en locatie updating.
- Service van hoge kwaliteit.
- Grote variëteit aan mobiele stations (MSs).

Met betrekking tot de prestatie:

- Hoge efficiëntie op het radio pad.
- Lage kosten voor zowel Mobile Stations (MSs) als infrastructuur.

Teneinde deze doelstellingen te bereiken zijn een groot aantal functies gedefinieerd, die gerealiseerd worden in al dan niet gecollocerde entiteiten van verschillende types. Het aan GSM inherente mobiele karakter van de abonnee vraagt om speciale maatregelen ten aanzien van de capaciteit op het radio pad, beveiliging van informatie en privacy, beveiliging tegen misbruik van het net, locatie registratie en hand over (overname van een MS door een ander station tijdens een verbinding). De signalering tussen de GSM entiteiten onderling en met de entiteiten van het vaste net vindt deels plaats op grond van bestaande, deels op grond van specifiek voor GSM ontwikkelde protocollen. Deze protocollen vormen ieder een subsysteem van het totale GSM systeem. In het vervolg zal worden ingegaan op de begrippen en definities en op de subsystemen van een GSM PLMN.

2.1 Begrippen en definities:

In deze paragraaf zullen de belangrijkste met GSM samenhangende begrippen betreffende entiteiten, gebieden en nummers worden geïntroduceerd.

In [1,2,3] zijn de volgende GSM entiteiten gedefinieerd:

- Home Location Register (HLR):
Het locatie register waarin MSs permanent zijn geregistreerd.
- Visitor Location Register (VLR):
Het locatie register waarin MSs zijn geregistreerd zolang ze zich in het door het VLR bestreken gebied bevinden. Het VLR is de data base die door het MSC geraadpleegd wordt voor alle informatie aangaande een MS dat zich in zijn gebied bevindt. Een VLR bedient één of meerdere MSCs.
- Mobile Services Switching Centre (MSC):
Het MSC vormt de schakel tussen het Radio Subsystem (BSC en BTS) en het vaste net. Het MSC voert alle functies uit om gesprekken van en naar MSs af te handelen.
- Gateway Mobile Services Switching Centre (GMSC):
Een entiteit die het HLR ondervraagt teneinde een verbinding naar een MS op te kunnen zetten. De GMSC functie kan in een MSC geïntegreerd zijn, echter ook met in centrale uit het vaste net.
- Base Station Controller (BSC):
In de BSC zijn de functies voor de controle over één of meerdere BTSs gerealiseerd.
- Base Transceiver Station (BTS):
In een BTS is de transmissie apparatuur voor één cel geplaatst. Het staat onder controle van een BSC.
- Equipment Identity Register (EIR):
Data base waarin een zwarte lijst van MSs wordt bijgehouden aan de hand van de equipment identity ten einde toegang tot het net door ongewenste MSs te kunnen verhinderen.
- Authentication Centre (AUC):
Entiteit die door de afgifte van code sets de mogelijkheid geeft tot authenticatie van MSs door het netwerk.
- Operations and Maintenance Centre (OMC):
Entiteit die de operator de gelegenheid geeft systemen te bewaken en te controleren.
- Network Management Centre (NMC):
Entiteit ten bate van gecentraliseerde controle.

Het GSM systeem onderscheidt verschillende gebieden [2], zie Fig. 1, die van belang zijn voor de locatie registratie van MSs:

- Service area:
Het gebied waarbinnen een vaste abonnee een MS kan bereiken zonder dat kennis over de positie van het MS nodig is.
- PLMN:
Het mobiele net dat door één operator wordt bediend. Het is een verzameling MSC-areas met gemeenschappelijk nummerplan en gemeenschappelijke routing.

- MSC-area:
Deel van het bestreken gebied dat door één MSC wordt bediend.
- Location area:
Deel van het bestreken gebied waarbinnen een MS zich vrij kan bewegen, zonder dat updating van de locatie registers nodig is.
- Cel:
Deel van het bestreken gebied dat door één BTS bediend wordt.

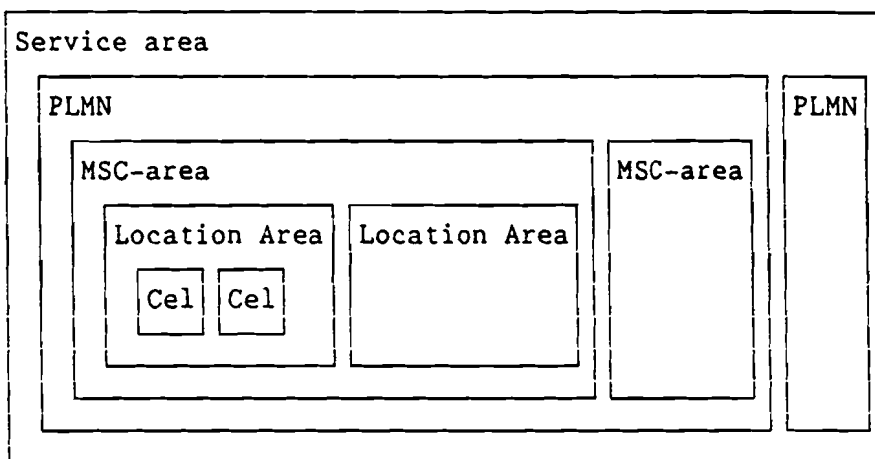


Fig. 1 Overzicht van de in GSM te onderscheiden gebieden.

Met elk MS en met elke abonnee wordt een aantal nummers geassocieerd [4]:

- Mobile Station ISDN Number (MS ISDN):
Het ISDN nummer van een MS. Dit nummer wordt door een vaste abonnee gekozen voor mobile terminating (MT) call set up. In geval van card operated MSs, de abonnee identiteit en de MS identiteit zijn dan gescheiden, wordt het ISDN nummer aan de abonnee toegekend.
- Mobile Station Roaming Number (MSRN):
Tijdelijk aan een MS toegekend ISDN nummer op grond waarvan routing van een MT call naar het juiste MSC plaatsvindt.
- International Mobile Subscriber Number (IMSI):
Nummer ten bate van abonnee identificatie in MAP procedures.
- Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI):
Tijdelijk nummer ten bate van abonnee identificatie op het radiopad.
- International Mobile Equipment Identity (IMEI):
Nummer van een MS, gebruikt voor zwarte lijst controle.

2.2 Subsystemen van een GSM PLMN

Er kunnen binnen het GSM systeem een vijftal subsystemen worden onderscheiden:

- Het Switching Subsystem (SSS).

Het geheel van entiteiten en links, dat de verkeersverbindingen vormt tussen de abonnee in het PSTN, ISDN of PDN en het MSC, waaronder het MS zich bevindt. De entiteiten die deel uitmaken van dit subsysteem zijn vaste net centrales en MSCs.

- Het signalerings subsysteem - ISDN User Part (ISUP).

Het geheel van entiteiten en links, dat de signalering t.b.v. functies die ook in het vaste net voorkomen, zoals call set up, realiseert. De entiteiten die deel uitmaken van dit subsysteem zijn de vaste net centrales en MSCs.

- Het signalerings subsysteem - Mobile Application Part (MAP)

Het geheel van entiteiten en links, dat de signalering t.b.v. GSM specifieke functies realiseert. De entiteiten die deel uitmaken van dit subsysteem zijn HLR, VLR, (G)MSC en EIR.

- Het Radio Substysteem (RSS).

Het geheel van entiteiten, links en radio pad dat het verkeer en de signalering tussen MSCs en Mobile Stations (MSs) realiseert. De entiteiten die deel uitmaken van dit subsysteem zijn MSC, BSC, BTS en MS.

- Het Operations and Maintenance (O&M) subsysteem [1].

Het geheel van technische en administratieve acties om de correcte uitvoering van een functie te waarborgen, onder al of niet veranderende externe omstandigheden. De entiteiten die deel uitmaken van dit subsysteem zijn: EIR, AUC, OMC en NMC.

In Fig. 2 is een schematisch overzicht gegeven van de subsystemen van een GSM PLMN, m.u.v. het O&M subsysteem dat in deze studie buiten beschouwing blijft.

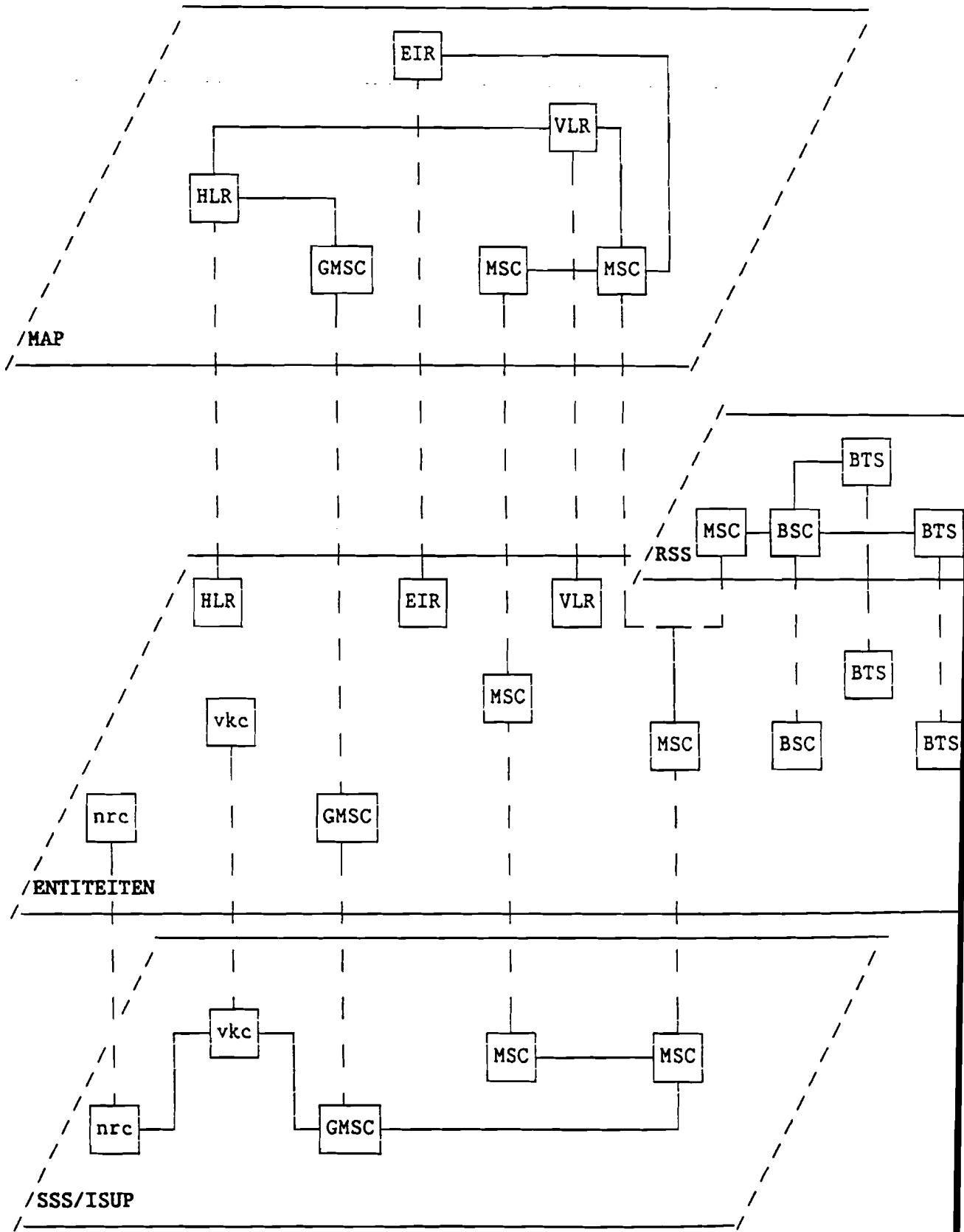


Fig. 2 Overzicht van de subsystemen van een GSM PLMN.

Het SSS en ISUP zijn in het GSM-net identiek aan het vaste net en worden hier niet verder besproken. De GMSC functie kan in een MSC of in een vaste net centrale gelegd worden. De architectuur van het RSS (aantal en plaatsing van BTSs en BSCs) wordt met name bepaald door overwegingen ten aanzien van het radio pad (benodigde capaciteit en propagatie eigenschappen), zie Par. 3.2.2.

In MAP zijn vele voor GSM specifieke signaleringsprocedures gedefinieerd [5]. MAP is een applicatie bij het Signaleringsysteem nr. 7 (SS7). De verschillende entiteiten zijn in Fig. 2 apart weergegeven, maar kunnen ook worden geïntegreerd. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de lagen structuur van SS7/MAP, de lengte van MAP berichten en op de belangrijkste procedures in MAP.

2.2.1 Lagen structuur van SS7/MAP

In Fig. 3 is de lagen structuur van SS7 voor MAP weergegeven [6,7,8,9,10,11].

Het lagen model kan gesplitst worden in drie delen:

- Network Service Part (NSP), OSI lagen 1, 2 en 3.
- Transaction Capabilities (TC), OSI lagen 4, 5, 6 en 7.
- Applicatie

De functies van de lagen kunnen, de OSI toren van beneden naar boven doorlopend, als volgt worden samengevat:

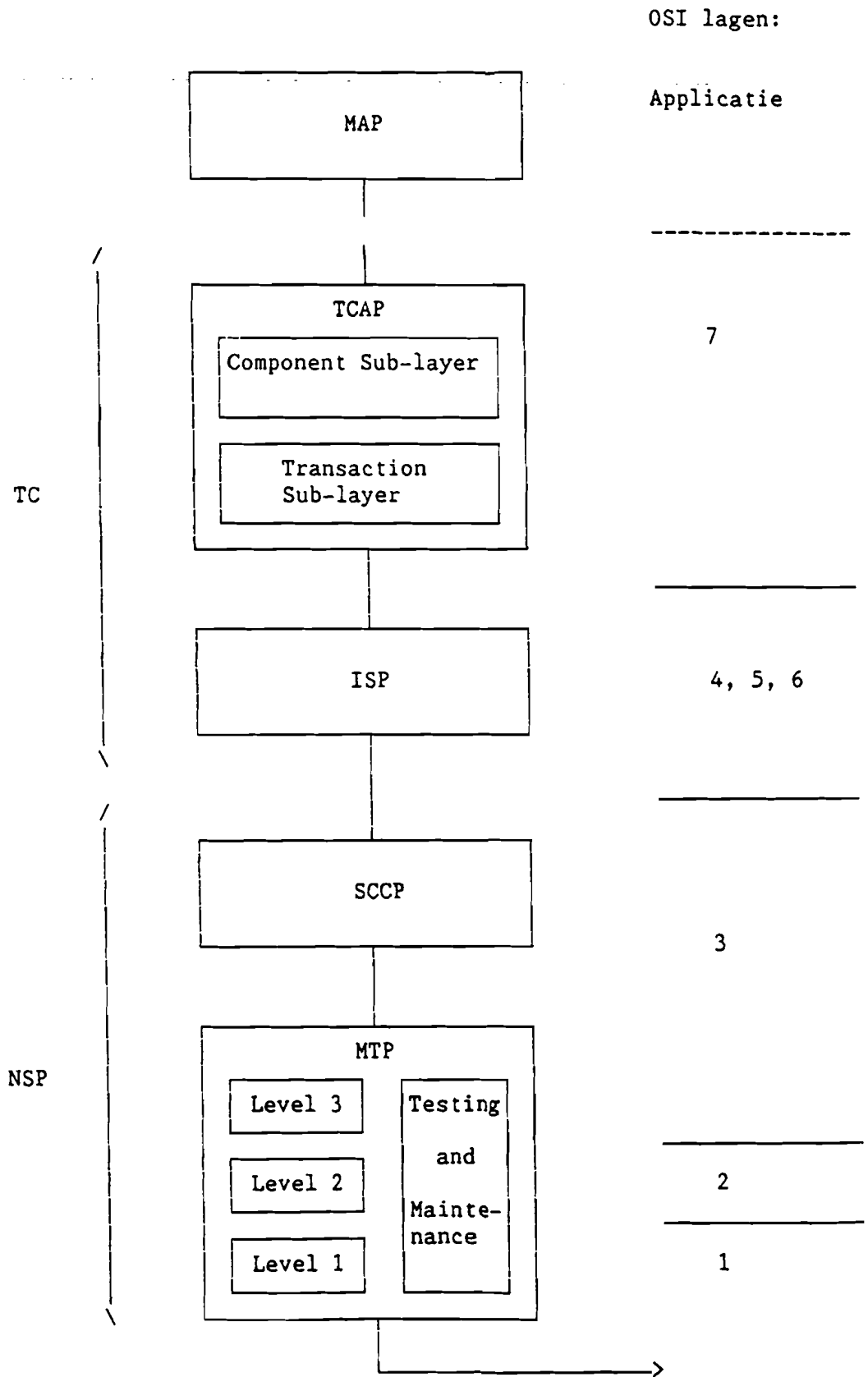


Fig. 3 Lagens structuur van SS7/MAP

NSP:

Message Transfer Part (MTP)-level 1:

Level 1 definieert de fysische en elektrische karakteristieken van een signaleringslink.

MTP-level 2:

Level 2 definieert de functies en procedures voor de overdracht van signaleringsberichten over één individuele signaleringslink. Level 2 verzorgt betrouwbare overdracht van signalling units:

- fout detectie.
- fout correctie d.m.v. hertransmissie en volgorde bewaking.
- detectie van link uitval en herstel van verbinding.

MTP-level 3:

Level 3 definieert de functies en procedures die betrekking hebben op alle signaleringslinks.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- signalling message handling functions: het signaleringsbericht wordt aan de juiste link of, indien de bestemming bereikt is, aan de user doorgegeven.
- signalling network management functions: de routing van berichten wordt aangepast aan de huidige status van het netwerk.

Signalling Connection and Control Part (SCCP):

SCCP is een MTP user. Het biedt twee klassen van netwerkdiensten voor de overdracht van circuit gerelateerde en niet circuit gerelateerde signaleringsinformatie. In de connection oriented klasse wordt een logische verbinding opgebouwd; in de connectionless klasse, die voor MAP gebruikt wordt, worden berichten zonder de aanwezigheid van een logische verbinding uitgewisseld. Binnen de connectionless klasse maakt men onderscheid tussen basic connectionless (klasse 0), zonder volgorde bewaking, en sequenced connectionless (klasse 1), met volgorde bewaking.

SCCP kent een routerings functie in de vorm van de mogelijkheid om, onder invloed van het SCCP management, een Global Title (GT) (b.v. een MS ISDN) om te zetten in een Signalling Point Code (SPC) op basis waarvan het MTP kan routeren. Daarnaast zijn er management functies.

TC:

Intermediate Service Part (ISP):

Het ISP heeft geen functie bij een connectionless netwerk service.

TCAP:

TCAP ondersteunt een tweetal klassen dialogen. De unstructured dialog biedt de mogelijkheid één bericht, eventueel bestaande uit verschillende components, over te dragen. Er kan geen resultaat of foutmelding worden teruggezonden. De structured dialog is een logische verbinding met bijbehorende opbouw en afbraak. MAP maakt alleen gebruik van de structured dialog.

TCAP bewaakt de operatie aanroepen door MAP en geeft eventueel een time out. TCAP biedt het MAP de mogelijkheid een transactie (dit begrip loopt hier parallel aan het begrip dialoog) abrupt te beëindigen en houdt eventuele components van de peer entity aangaande die transactie tegen. TCAP controleert components op fouten.

TCAP wordt onderverdeeld in twee sublagen: De component sublaag krijgt losse data blokken aangeboden, components. De transaction sublaag behandelt berichten, eventueel bestaande uit meerdere components.

Applicatie proces:

MAP:

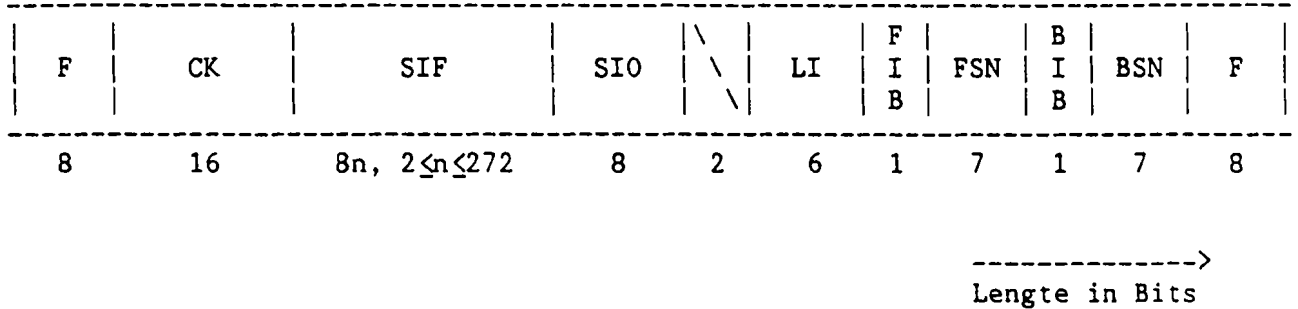
MAP definieert de operaties die nodig zijn voor de uitvoer van de procedures die het signaleringsprotocol in een GSM PLMN vormen.

2.2.2 Lengte van MAP berichten op OSI laag 1

Ten einde het SS7/MAP subsysteem te kunnen optimaliseren is het noodzakelijk de lengte van de MAP berichten te kennen op het laagste niveau in het netwerk. In deze paragraaf wordt nagegaan wat de bijdrage van elke laag aan de uiteindelijke lengte van MAP berichten is. Er wordt uitgegaan van de juiste werking van alle systemen en geen rekening gehouden met management berichten.

MTP [7]:

Level 2 van het MTP brengt SCCP berichten over in het Signalling Information Field (SIF) van Message Signal Units (MSUs), zie Fig. 4. Factoren op level 2 die invloed hebben op de lengte van berichten zijn zero insertion, ter voorkoming van vlag imitatie, en combinatie van closing en opening flag. Zero insertion wordt hier buiten beschouwing gelaten.



- F: Flag
- CK: Check Bits
- SIF: Signalling Information Field
- SIO: Service Indication Octet
- LI: Length Indicator
- FIB: Forward Indicator Bit
- FSN: Forward Sequence Number
- BIB: Backward Indicator Bit
- BSN: backward Sequence Number

Fig. 4 Formaat Message Signalling Unit, level 2 MTP

SCCP [8]:

Het SCCP geeft TCAP berichten door. Het SCCP bericht Unitdata (UDT), dat hier van belang is, is weergegeven in Fig. 5.

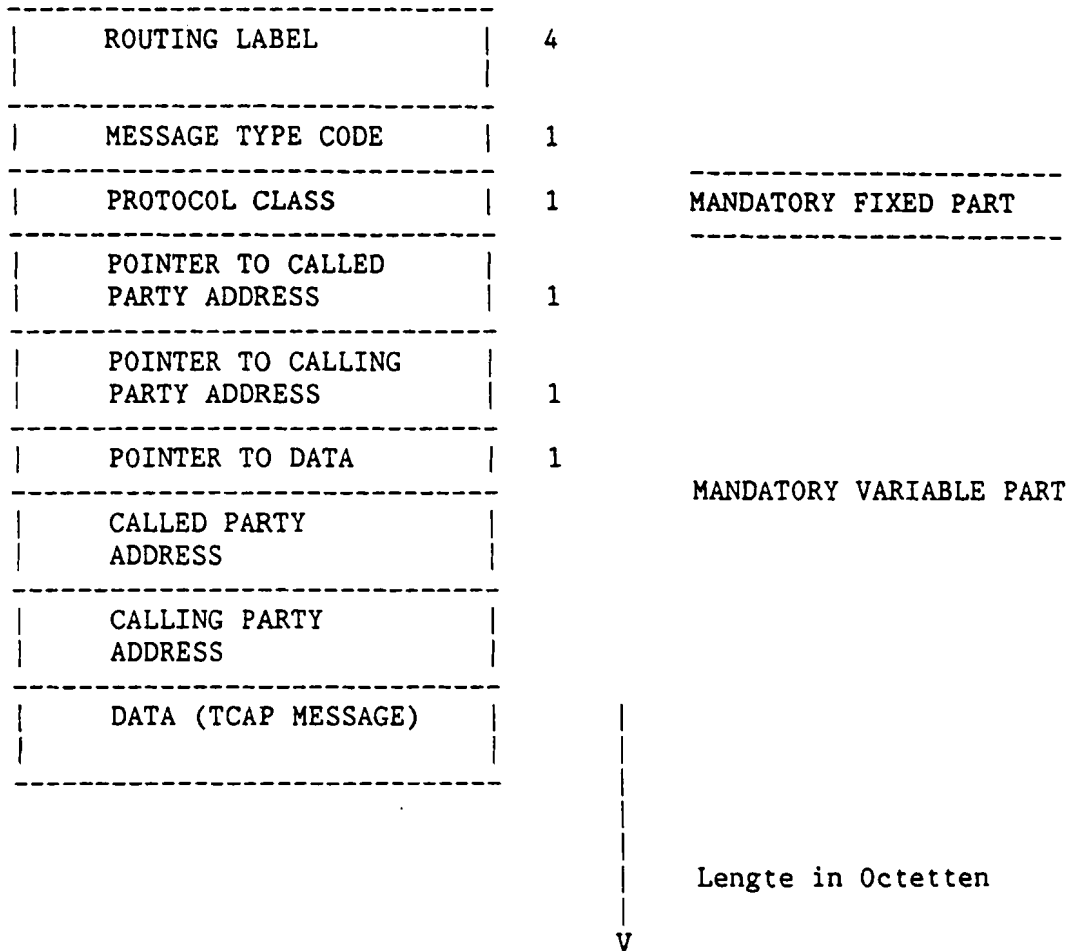
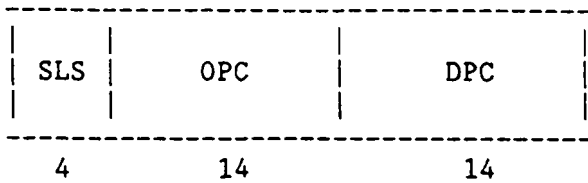


Fig. 5 Formaat Unitdata, SCCP

Het Routing Label is weergegeven in Fig. 6. De Address velden zijn weergegeven in Fig. 7.



Lengte in Bits ----->

SLS: Signalling Link Selection
 OPC: Originating Point Code
 DPC: Destination Point Code

Fig. 6 Formaat Routing Label (Routing door het MTP)

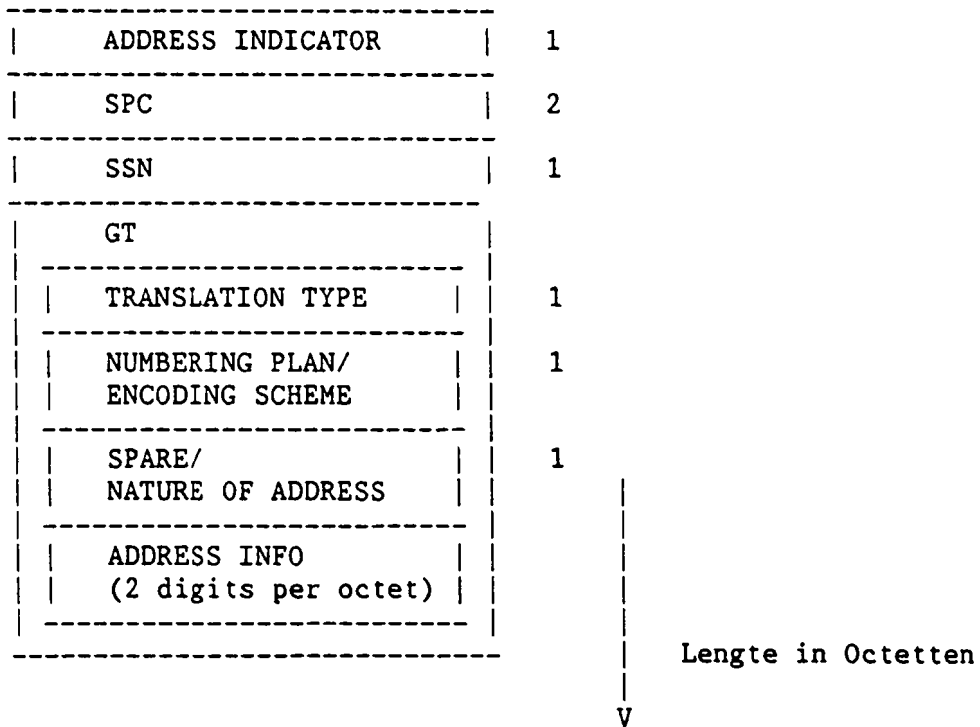


Fig. 7 Formaat van de Address velden. (Routing door het SCCP)

Voor intra PLMN adressering wordt alleen gebruik gemaakt van Signalling Point Code (SPC) en Subsystem Number (SSN), terwijl voor inter PLMN adressering een Global Title (GT) en SSN gebruikt worden. De address information is een ISDN nummer of een IMSI, zodat de lengte kleiner is dan 8 octetten.

TCAP [10]:

TCAP messages; zie Fig. 8, zijn opgebouwd uit informatie elementen. Een informatie element bestaat uit een Tag, Length en Contents veld. Indien de lengte die door het Length octet beschreven wordt kleiner is dan 128 octetten, is er één Length octet, anders twee. De totale lengte wordt beperkt door de maximale lengte van het SIF veld in het MTP bericht. Drie TCAP messages, Begin, Continue en End, zijn van belang. Deze berichten vervoeren één of meerdere components en besturen de dialoog, die voor elke MAP procedure wordt opgezet, tussen twee MAP entiteiten. De componenten worden door MAP entiteiten gebruikt om een operatie in een andere MAP entiteit te starten en om resultaten van operaties terug te melden..

| | | |
|----------------------------|-----|--------|
| MESSAGE TYPE TAG | 1 | |
| TOTAL MESSAGE LENGTH | 1/2 | |
| ORIGIN. TRANSACTION ID TAG | 1 | |
| TRANSACTION ID LENGTH | 1 | (b, c) |
| TRANSACTION ID | 1 | |
| DEST. TRANSACTION ID TAG | 1 | |
| TRANSACTION ID LENGTH | 1 | (c, e) |
| TRANSACTION ID | 1 | |
| COMPONENT PORTION TAG | 1 | |
| COMPONENT PORTION LENGTH | 1/2 | |
| ÉÉN OF MEERDERE COMPONENTS | (0) | |

 | Lengte
 | in
 | Octetten
 V

b Komt voor in Begin Messages

c Komt voor in Continue Messages

e Komt voor in End Messages

(0) Optional

Fig. 8 Formaat TCAP berichten.

Vier verschillende components zijn van belang: Invoke, Return Result (Not) Last en Return Error Component, zie Fig. 9.

| | | |
|-----------------------|-------|--------------------|
| COMPONENT TYPE TAG | 1 | |
| COMPONENT LENGTH | 1 | |
| INVOKE ID TAG | 1 | |
| INVOKE ID LENGTH | 1/2 | |
| INVOKE ID | 1 | |
| LINKED ID TAG | 1 (0) | |
| LINKED ID LENGTH | 1 (0) | |
| LINKED ID | 1 (0) | |
| OPERATION CODE TAG | 1 | |
| OPERATION CODE LENGTH | 1 | |
| OPERATION CODE | 1 | |
| PARAMETERS | (0) | Lengte in octetten |

↓
V

(a)

| | | |
|-----------------------|---------|------------|
| COMPONENT TYPE TAG | 1 | |
| COMPONENT LENGTH | 1/2 | |
| INVOKE ID TAG | 1 | |
| INVOKE ID LENGTH | 1 | |
| INVOKE ID | 1 | |
| SEQUENCE TAG | 1 (0) | |
| SEQUENCE LENGTH | 1/2 (0) | |
| OPERATION CODE TAG | 1 (0) | |
| OPERATION CODE LENGTH | 1 (0) | ↓ V |
| OPERATION CODE | 1 (0) | |
| PARAMETERS | (0) | |

Lengte in octetten

(b)

| | | |
|--------------------|-----|--------------------|
| COMPONENT TYPE TAG | 1 | |
| COMPONENT LENGTH | 1/2 | |
| INVOKE ID TAG | 1 | |
| INVOKE ID LENGTH | 1 | |
| INVOKE ID | 1 | |
| ERROR CODE TAG | 1 | |
| ERROR CODE LENGTH | 1 | |
| ERROR CODE | 1 | |
| PARAMETERS | (0) | Lengte in octetten |

V

(c)

Fig . 9 (a) Invoke component, (b) Return Result (Not) Last component, (c) Return Error component

De parameters zijn meestal opgenomen in een Sequence, zie Fig 10.

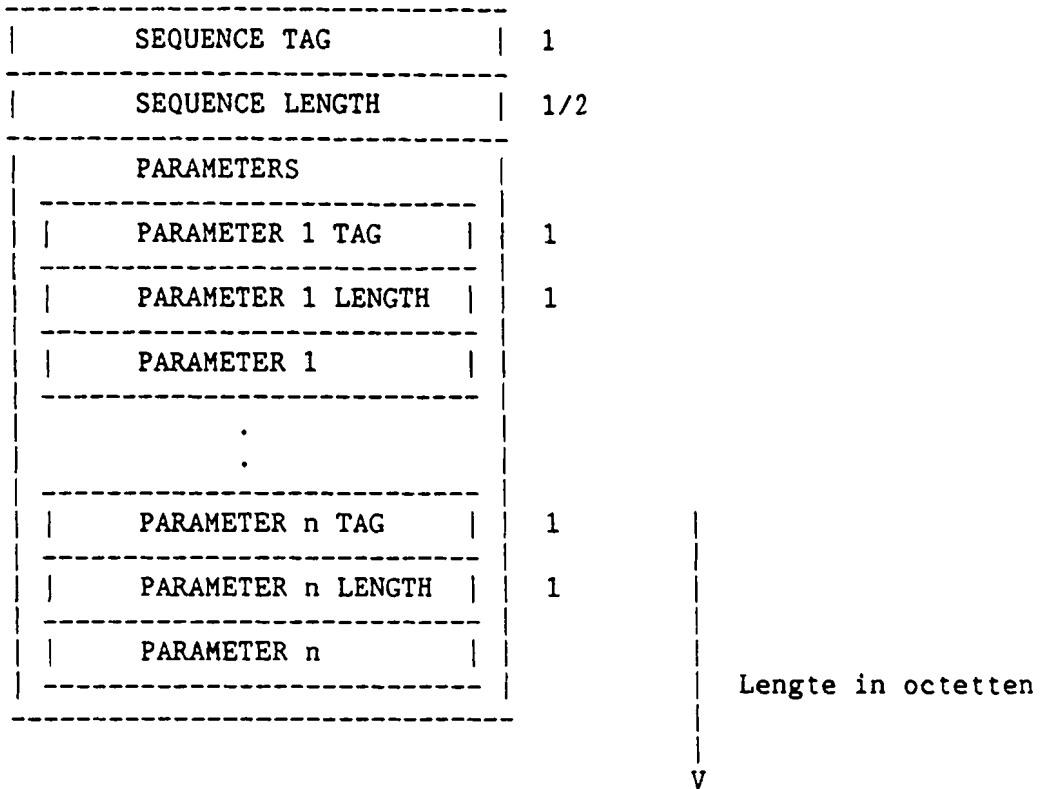


Fig. 10 Formaat sequence

Overzicht van de berichtlengte:

De lengte van de MAP berichten kan als volgt worden samengevat (kleiner dan 279 bytes):

- MTP overhead: 7
- SCCP overhead: 17 (nationaal) of 35 (internationaal)
- TCAP overhead: 7 (Begin, End) of 10 (Continue)
(De lengteindicatoren zijn 1 byte verondersteld)
- Invoke component: 8 (not linked) of 11 (linked)
(De lengteindicatoren zijn 1 byte verondersteld)
- Return result (not last component): 5 (geen parameters) of 10 (wel parameters)
(De lengte indicatoren zijn 1 byte verondersteld)

Return error component: 8

Parameters: Indien de parameters in een Sequence zijn opgenomen: 2 plus de som over de lengte van de parameters, elk verhoogt met 2.
Indien de parameter(s) niet in een Sequence is opgenomen: 2 plus de lengte van de parameter.

2.2.3 Procedures in MAP

De belangrijkste in MAP [5] gedefinieerde procedures zijn, zie App. A:

- Location area updating:
Indien een MS een nieuwe location area binnenkomt, moeten de gegevens betreffende de positie van het MS in het VLR en, indien tegelijk een door een ander VLR bedient gebied betreden wordt, in het HLR bijgewerkt worden. Dit vraagt signalering tussen het (nieuwe) MSC en het (nieuwe) VLR en eventueel het nieuwe VLR en het oude VLR, het nieuwe VLR en het HLR en het oude VLR.
- IMSI attach / IMSI detach:
Teneinde batterijen te sparen kan de gebruiker zijn apparaat uitschakelen. Uit- en inschakelen van een MS wordt aan het netwerk gemeld. Indien deze procedure door het netwerk wordt ondersteunt, geeft dit signalering tussen MSC en VLR.
- Handling of supplementary services:
Procedures voor de programmering van informatie met betrekking tot, voor de activering van of het daadwerkelijk aanroepen van een supplementaire service. Dit geeft aanleiding tot signalering tussen MSC en VLR en tussen VLR en HLR. Een supplementaire service vormt een aanvulling op een drager- (telecommunicatie service voor het verzenden van signalen) of teledienst (telecommunicatie service voor de communicatie tussen gebruikers, inclusief terminal functies).
- MS originating call set up:
Het opzetten van een verbinding door een MS. Naast de gebruikelijke ISUP procedures zijn aanvullende MAP procedures vereist i.v.m. de beveiliging van het net, de informatie en de gebruikersidentiteit. Signalering tussen MSC en VLR.
- Obtaining routing data:
Het GMSC vraagt via het HLR bij het VLR het MSRN op grond waarvan een mobiel eindigend gesprek naar het juiste MSC gerouteerd wordt. Het HLR kan een buitenlands HLR zijn, evenzo kan een eigen HLR door een buitenlandse GMSC ondervraagd worden.
- MS terminating call set up:
Het opzetten van een verbinding naar een MS. Naast de gebruikelijke ISUP procedures zijn aanvullende MAP procedures vereist i.v.m. de beveiliging van

het net, de informatie en de gebruikersidentiteit. Signalering tussen MSC en VLR.

- Handover:

Indien een MS tijdens een gesprek een andere MSC-area betreedt, zal een verbinding tussen de betrokken MSCs worden opgezet. Naast de ISUP procedures vereist dit speciale MAP procedures tussen beide MSCs en tussen het nieuwe MSC en zijn VLR. Er wordt onderscheid gemaakt tussen basic handover (van MSC-A naar MSC-B), subsequent handover naar het oorspronkelijke MSC (van MSC-B naar MSC-A) en subsequent handover naar een derde MSC (van MSC-B naar MSC-B').

- IMEI Check:

Contrôle van het MS door de MSC op grond van de zwarte lijst in het EIR.

- Retrieval of Authentication Parameters:

Het ophalen uit het HLR door het VLR van parameters ten bate van de vaststelling van de authenticiteit van een MS.

3 GSM in Nederland: atf-4

In dit hoofdstuk zullen een aantal uitgangspunten voor Nederland ten aanzien van GSM besproken worden. Het GSM systeem zal, zoals gezegd, onder de naam atf-4 worden ingevoerd. Er wordt ingegaan op de invoeringsfasen en het verwachte gebruik en de invulling van een deel van de netwerk architectuur.

3.1 Invoering en gebruik

In [12] worden vijf invoeringsfasen van atf-4 onderscheiden. De bedekking van het land door het systeem breidt zich in de opeenvolgende fasen uit. In fase 2C is een bedekking van minstens 90% bereikt, in fase 3A van minstens 95% en in fase 3B van minstens 98%. Het aantal abonnees en het verkeer zullen zich naar verwachting als volgt ontwikkelen (30 mE per abonnee in het drukke uur):

Tab. 1 Invoeringsfasen atf-4, aantal abonnees en verkeer in Nederland.

| <u>Fase:</u> | <u>Aantal abonnees:</u> | <u>Verkeer (Erlang):</u> |
|--------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 A | 1.000 | 30 |
| B | 2.500 | 75 |
| C | 5.000 | 150 |
| 2 A | 10.000 | 300 |
| B | 20.000 | 600 |
| C | 70.000 | 2.100 |
| 3 A | 100.000 | 3.000 |
| B | 150.000 | 4.500 |
| 4 | 250.000 | 7.500 |
| 5 | 500.000 | 15.000 |

GSM kent drager-, tele- en supplementaire diensten, verdeeld in twee klassen: 'essential' en 'additional'. Nederland is met een aantal andere landen verplichtingen aangegaan ten aanzien van de invoering van GSM. De in atf-4 te bieden diensten zullen aansluiten op de diensten uit het vaste net. Omtrent het al dan niet invoeren en het gebruik van veel diensten is geen duidelijkheid. De verwachting is dat atf-4 voornamelijk gebruikt zal worden door de zakelijke markt. In [12] wordt voor het verwachte gebruik van de niet-spraakdiensten bronnen genoemd die uitgaan van 2 tot 5% en meer dan 10% van het totale verkeer, zodat verondersteld kan worden dat verreweg het grootste deel van het verkeer telefonie zal betreffen. Het gebruik per MS wordt, in navolging van [12], ingeschat op 30 mE in het drukke uur.

In deze studie wordt geen onderscheid gemaakt naar de gebruikte tele- of

dragerdienst. Dit is te rechtvaardigen door de verwachte overheersing van telefonie en de relatieve gelijkvormige afwikkeling van alle tele- en dragerdiensten door het net. Er wordt verondersteld dat het aantal buitenlandse MSs in Nederland gelijk is aan het aantal Nederlandse MSs in het buitenland.

3.2 Architectuur

De atf-4 architectuur voor de eerste invoeringsfase ligt vast. Deze studie heeft betrekking op de fasen twee tot en met vijf. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de modellen die worden aangenomen voor het vaste net en op uitgangspunten bij de optimalisatie van het mobiele net.

3.2.1 Structuur vaste net

De investeringen in de Nederlandse communicatie infrastructuur ten bate van atf-4 zullen moeten aansluiten bij de praktijk van het bestaande vaste net. Voor de aan- en afvoer en een deel van het "interne" vervoer van verkeer is atf-4 immers afhankelijk van het vaste net. In Par. 2.2 is het vaste net gemodelleerd als bestaande uit twee subsystemen: SSS en SS7/ISUP. Op beide systemen wordt afzonderlijk ingegaan.

SSS:

Het verkeersnet wordt zuiver hiërarchisch verondersteld. Het is opgebouwd uit drie lagen, namelijk van onder naar boven: nummer centrales (nracs), tweede orde verkeerscentrales (tvkcs) en eerste orde verkeerscentrales (evkcs). De evkcs worden volledig vermaasd verondersteld. Op gelijke hoogte met de evkcs staan internationale centrales (itnacs) en de bijzonder tellende diensten centrale (btac). Er wordt verondersteld dat de evkcs in staat zijn tot een zo diepe nummer analyse dat MT gesprekken op grond van het MS ISDN naar het MSC gerouteerd kunnen worden waar het MS administratief thuis hoort, zie Par. 4.1.1.2. Er wordt voorts verondersteld dat de ondervraging van buitenlandse HLR door de itnacs zal worden verzorgd.

Verbindingen in het Lange Afstandsnet (LAAN) worden viervoudig gerouteerd. Dit betekent dat de verbindingen tussen centrales, indien mogelijk, via vier geografisch gescheiden wegen lopen. De dimensionering van de PCM links geschiedt op grond van de "1% Marginaal Meer Rendement 85" regel. Deze luidt dat op de eerste PCM link van een set parallelle links een stagnatiekans van 1% geldt en dat het rendement op elke volgende lijn 85% bedraagt. Een additionele eis is dat bij uitval alle links op één van de geografisch gescheiden wegen, de stagnatiekans op de overblijvende links niet meer dan 10% mag bedragen. In Fig. 11 is het rendement op de links uitgezet als functie van het aantal Erlang.

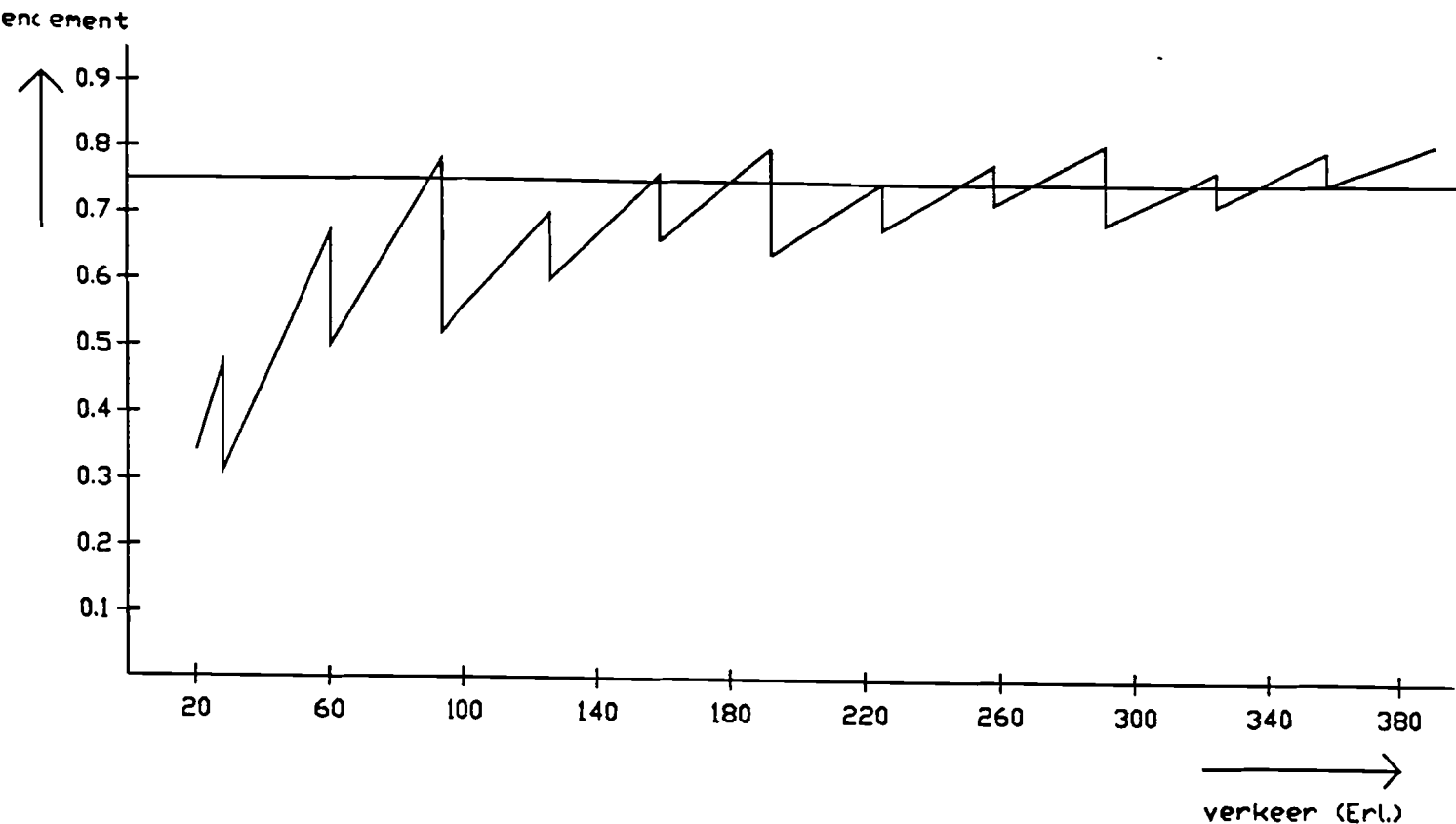


Fig. 11 Rendement op PCM links bij viervoudige routing.

Om de berekeningen te vereenvoudigen wordt uitgegaan van een rendement van 75% op de PCM links tussen evkcs. Voor links tussen evkcs en MSCs en MSCs onderling wordt gebruik gemaakt van de grafiek. De lengte van alle verbindingen wordt berekend door de directe afstand te vermenigvuldigen met een omwegfactor van 1,3 [mondeling overleg].

SS7/ISUP:

In [13] wordt de toekomstige hiërarchische structuur van het SS7-net beschreven. De architectuur wordt met name bepaald door de strenge eisen die aan de betrouwbaarheid van signaleringsverbindingen gesteld worden, het streven zoveel mogelijk signaleringsverkeer geassocieerd, d.w.z. niet via een Signalling Transfer Point (STP), af te handelen en de kosten van signaleringsterminals. Het SS7-net is opgebouwd uit vier lagen, namelijk van onderen naar boven: nracs (enkelvoudig opgehangen aan een hogere laag), tvkcs (tweevoudig opgehangen aan een hogere laag), een deel van de evkcs en de itncs en btcd (zesvoudig opgehangen aan het hoogste niveau) en negen evkcs (onderling vermaasd). Als mogelijke plaats voor data bases worden de twee middelste niveaus aangegeven. De ophanging van centrales is zoveel mogelijk in overeenstemming met de verkeerstechnische ophanging.

Teneinde het rondlopen van berichten te voorkomen moeten in de hoogste netvlakken in de routing maatregelen genomen worden die het aantal mogelijke routes beperken. Om toch een voldoende grote beschikbaarheid te handhaven moet daardoor het aantal onafhankelijke links in een linkset verhoogd worden van twee naar drie. Zo'n dikke linksets zal onder andere tussen een Signalling Point (SP) op niveau drie en het bijbehorende belangrijkste STP op niveau vier aangelegd worden. Het rendement op een signalling link zal onder foutvrije omstandigheden maximaal 20% bedragen.

3.2.2 Uitgangspunten voor het mobiele net

Op een aantal gebieden kunnen en moeten bij de optimalisatie van het atf-4 net van te voren veronderstellingen worden gedaan, omdat ze buiten het bereik van deze studie vallen of eenvoudig te beredeneren zijn. Achtereenvolgens zal worden ingegaan op het RSS en SS7/MAP.

RSS

Het is noodzakelijk de dimensionering van de links tussen BTSs, BSCs en MSCs te kennen voor de bepaling van de optimale plaats van de MSCs in een MSC-area en de keuze tussen de verschillende verdelingen van het land in MSC-areas.

De bitsnelheid van een verkeerskanaal in het RSS is 16 kbit/s. De conversie tussen 16 en 64 kbit/s (de bitsnelheid in het ISDN/PSTN) vindt plaats bij de MSC. Op BSC-MSC verbindingen zijn 90 kanalen per PCM lijn beschikbaar, op BTS-BSC verbindingen 80 per PCM lijn. Op grond van de grove dimensionering uit [12] komt men tot de volgende tabel:

Tab. 2 Dimensionering RSS [12]. (Verkeer in Erlang; "Kanalen" zijn kanalen op het radio pad)

| Fase: | Verkeer: | Aantal kanalen: | Aantal BTSs: | Verkeer/BTS: | Kanalen/BTS: | Lijnen/BTS: | |
|-------|----------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---|
| 2 | A | 300 | 1600 | 100 | 3.0 | 16.0 | 1 |
| | B | 600 | 2400 | 150 | 4.0 | 16.0 | 1 |
| | C | 2100 | 4800 | 200 | 10.5 | 24.0 | 1 |
| 3 | A | 3000 | 6000 | 250 | 12.0 | 24.0 | 1 |
| | B | 4500 | 7200 | 300 | 15.0 | 24.0 | 1 |
| 4 | | 7500 | 14400 | 450 | 16.7 | 32.0 | 1 |
| 5 | | 15000 | 24000 | 600 | 25.0 | 40.0 | 1 |

| Fase: | Aantal BSCs: | Verkeer/ BSC: | Kanalen/ BSC: | Lijnen/ BSC: | Aantal BTSS/BSC: |
|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| 2 A | 15 | 20.0 | 106.7 | 2 | 6.7 |
| B | 20 | 30.0 | 120.0 | 2 | 7.5 |
| C | 25 | 84.0 | 192.0 | 3 | 8.0 |
| 3 A | 30 | 100.0 | 200.0 | 3 | 8.3 |
| B | 35 | 128.6 | 205.7 | 3 | 8.6 |
| 4 | 50 | 150.0 | 288.0 | 4 | 9.0 |
| 5 | 70 | 214.3 | 342.9 | 4 | 8.6 |

SS7/MAP

Een VLR handelt veel signaleringsverkeer, met name met de bijbehorende MSC, af. In [12] wordt daarom gesteld dat VLRs bij voorkeur geïntegreerd moeten worden met hun MSC, zodat de SS7 verbindingen tussen deze entiteiten kunnen worden uitgespaard. De mogelijkheid om één VLR meerdere MSCs te laten bedienen en dus VLRs uit te sparen, gaat hiermee verloren. Ook voor EIRs komt men tot de conclusie dat met MSCs geïntegreerd moet worden, met als argument dat een zo eenvoudige functionaliteit als een EIR niet belast moet worden met de afhandeling van SS7. Het nadeel van deze benadering is dat de EIR gegevens in elke MSC aanwezig dienen te zijn.

Ook voor HLRs komt men tot dezelfde conclusie. Deze wordt hier echter niet vooraf overgenomen. Geldt voor VLRs dat aléén met de eigen MSC uitgebreide en zeer frequent voorkomende procedures bestaan voor call set up en location updating, voor HLRs zijn de procedures met alle betrokken entiteiten (GMSCs en VLRs) gelijk. Alleen de frequentie van de berichten met entiteiten uit verschillende MSC-areas zal verschillen. Het kan beter zijn een HLR voor alle entiteiten goed bereikbaar hoog in het net te plaatsen, dan met een MSC te integreren, waardoor het mogelijk lager in de hiërarchie komt. De hoge plaatsing heeft bovendien als voordeel dat de HLR functie voor verschillende MSC-areas gecombineerd kan worden in één entiteit.

In [12,14] worden de opties uit de aanbevelingen ten aanzien van SS7/MAP ingevuld. Dit vindt zijn weerslag in (de lengte van) de MAP berichten. Zie App. A.

Zoals uiteengezet in Hfd. 2 kunnen binnen het atf-4 net verschillende subsystemen worden onderscheiden. De optimalisatie die onderwerp is van deze studie, heeft betrekking op het verkeersnet en het signaleringsnet t.b.v. MAP (SSS en SS7/MAP), terwijl ook de verbindingen in het RSS worden meegenomen in de beschouwingen. Er zal geoptimaliseerd worden naar investeringskosten, waarbij aan een aantal randvoorwaarden voldaan moet zijn.

De optimalisatie van SS7/MAP zal plaatsvinden met een aantal van de meest optimale verkeersnetarchitecturen, met verschillende aantallen MSC-areas, als uitgangspunt. Deze wijze van optimalisatie, die een aanzienlijke vereenvoudiging met zich meebrengt t.o.v. gelijktijdige optimalisatie van beide subsystemen, is als volgt te verantwoorden:

- Bij een vast aantal MSC-areas zijn de verschillen in kosten van signaleringsentiteiten uitgaande van de alternatieve verkeersnetarchitecturen klein. De aantallen VLRs en EIRs liggen vast. Het aantal HLRs kan voor alle architecturen gelijk worden gekozen. De verschillen in capaciteit zullen gering zijn.
- De verbindingskosten in het SSS zijn veel groter dan voor de signalering.
- Het aantal grensoverschreidingen tussen MSC-areas, dat een groot deel van het door de verkeersnetarchitectuur te beïnvloeden signaleringsverkeer bepaalt (procedures: location updating, hand over en obtaining routing data.), is ook bij de SSS optimalisatie een van de factoren waarop geoptimaliseerd wordt.

In het vervolg zal worden ingegaan op de optimalisatie van het verkeers- en het signaleringsnet.

4.1 Optimalisatie van het Verkeersnet

In deze paragraaf komt de optimalisatie van het SSS aan de orde. Eerst worden de parameters van de optimalisatie geïdentificeerd alsmede hun bereik. Er worden vier scenario's onderscheiden. Vervolgens wordt ingegaan op de invoer gegevens van het optimalisatieproces, het optimalisatieproces zelf en de resultaten.

4.1.1 Variabelen

(G)MSCs zijn de enige GSM entiteiten die deel uitmaken van het verkeersnet, en dus qua aantal, omvang en geografische plaatsing onderwerp van optimalisatie zijn. Andere te variëren grootheden in het SSS zijn de indeling van het land in MSC-areas, de koppeling van het atf-net aan het vaste net en de wijze van routing. Het aantal en de plaatsing van de RSS entiteiten wordt bepaald door radio overwegingen en wordt in deze studie als gegeven beschouwd. De lengte van

de verbindingen in het RSS ligt echter voor een groot deel vast bij de indeling van het land in MSC-areas en de plaatsing van MSCs en zal dus worden verrekend.

In het vervolg zal worden ingegaan op de MSCs en de indeling van het land in MSC-areas, de koppeling van het atf en het vaste net en de routing en op het RSS. Een aantal variabelen wordt nu reeds ingevuld; van een aantal wordt het bereik aangegeven. Fundamenteel verschillende invullingen van variabelen worden samengevat in vier scenario's.

De uiteindelijke netarchitectuur zal beïnvloed worden door "oneigenlijke" argumenten zoals de grenzen tussen districten, geschikte locaties voor centrales en de types van reeds aanwezige centrales. Met deze factoren is voor een deel rekening gehouden, zie Par. 4.1.1.1.

4.1.1.1 MSCs

De omvang van MSCs ligt binnen de grenzen die door de fabrikant worden opgegeven. Grote MSCs brengen schaalvoordelen met zich mee, echter ook het gevaar van uitval van een groot deel van het net bij storing.

Er is voor gekozen om als mogelijke plaatsen voor MSCs alleen de posities van bestaande centrales in het hoogste hiërarchische niveau van het vaste net in aanmerking te nemen, omdat MSCs direct aan dit niveau zullen worden gekoppeld, zie Par. 4.1.1.2.

Het land kan op vele manieren worden verdeeld in MSC-areas. Bij de verdeling moet er naar gestreefd worden het verlaten van de eigen area door MSs zoveel mogelijk te beperken om de efficiëntie van de routing te verbeteren in geval van nummer analyse door evkcs, zie Par. 4.1.1.2, en het aantal location updates en het hand over verkeer te minimaliseren. Daarnaast moeten er geen areas gecreëerd worden die, zonder dat daar een duidelijke verbetering tegenover staat, districten opsplitsen. Vergroting van het oppervlak van MSC-areas komt aan deze argumenten tegemoet, maar veroorzaakt echter capaciteitsproblemen voor MSCs en lange verbindingen in het RSS.

4.1.1.2 Koppeling van het atf-net aan het vaste net en routing

Er kunnen vier verschillende niveaus van integratie van het vaste net en het atf-net worden onderscheiden [15]. De niveaus verschillen in integratie van routing en koppeling:

niveau 1: geen integratie

De routing van mobiel eindigende gesprekken wordt gerealiseerd door MSCs. De MSCs zijn aparte centrales, die links hebben naar een of meerdere centrales in het vaste net en eventueel naar andere MSCs.

niveau 2: gedeeltelijke integratie (routing)

De routing van mobiel eindigende gesprekken wordt door de vaste net centrales gerealiseerd. De MSCs zijn aparte centrales, die links hebben naar een of meerdere centrales in het vaste net en eventueel naar andere MSCs.

niveau 3: gedeeltelijke integratie (koppeling)

De routing van mobiel eindigende gesprekken wordt door de MSCs gerealiseerd. De MSC functie wordt uitgevoerd door centrales van het vaste net.

niveau 4: volledige integratie

De routing van mobiel eindigende gesprekken wordt door de vaste net centrales gerealiseerd. De MSC functie wordt uitgevoerd door centrales van het vaste net.

Integratie van beide netten heeft een minder overzichtelijk en moeilijker beheerbaar net tot gevolg. Daar staat echter een hogere efficiëntie tegenover.

In het vervolg zal apart worden ingegaan op de koppeling en de routing.

Koppeling:

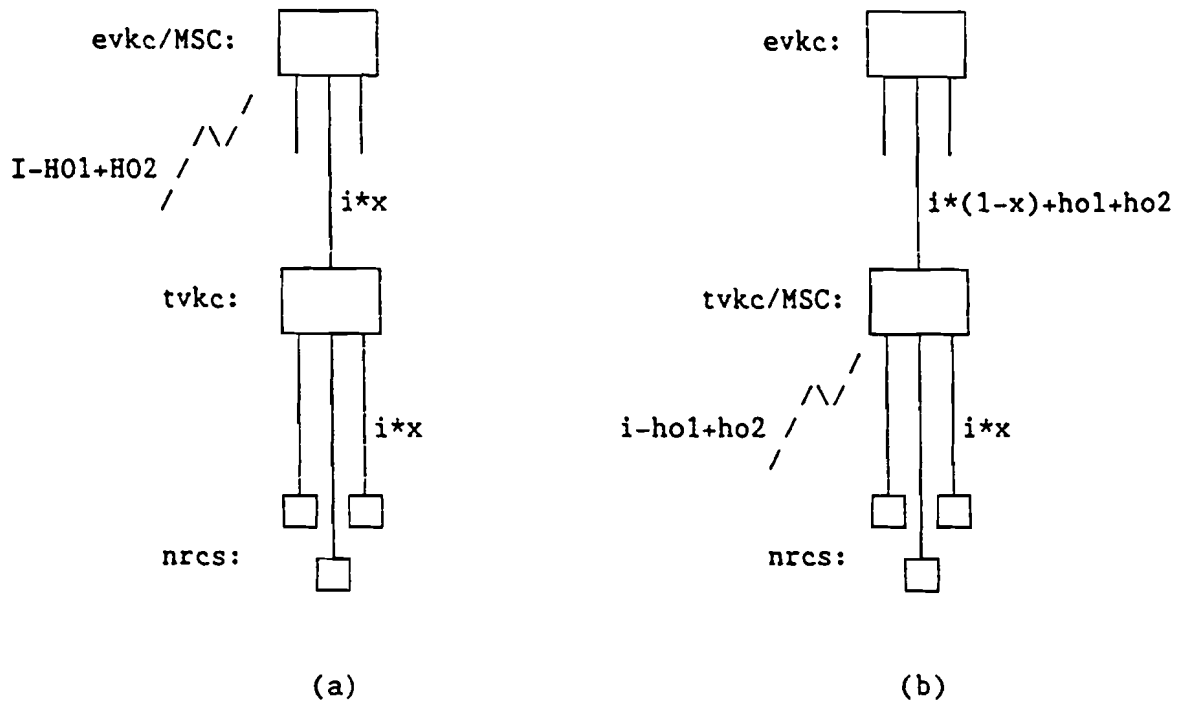
Naast de mate van integratie zal een keuze moeten worden gemaakt voor de plaats in de hiërarchie van het vaste net voor de MSCs (Koppeling met centrales op een bepaalde laag). In het vervolg zullen volledige integratie op de hoogste laag en de middelste laag met elkaar worden vergeleken. Op grond van analoge redeneringen komt men voor integratie op de onderste laag voor en voor het ophangen van MSCs aan centrales van het vaste net tot dezelfde of verdergaande conclusies.

De voor- en nadelen van integratie met tvkcs t.o.v. integratie met evkcs laten zich als volgt samenvatten:

- Het verkeer met als bron of bestemming het gebied dat door de tvkc waarmee het MSC geïntegreerd is, bediend wordt hoeft niet tot aan evkc niveau in het net te stijgen. Daar staat tegenover dat het overige verkeer (o.a. handover verkeer) de verbinding tussen evkc en tvkc extra moet doorlopen. Om zoveel mogelijk gebruik te maken van dit voordeel is het dus noodzakelijk dat het MSC zoveel mogelijk verkeer voor de tvkc waarmee hij geïntegreerd is afhandelt. Het is eenvoudig in te zien dat dit vraagt om MSC-areas die ongeveer samenvallen met de door de tvkcs verzorgde gebieden.
- Deze aanzienlijke verkleining van de MSC-areas t.o.v. integratie met evkcs geeft aanleiding tot verkorting van de verbindingen in het RSS, een sterke toename van het aantal MSCs en het hand over verkeer.

In Fig. 12 is een overzicht gegeven van de verkeersstromen bij integratie met evkcs en met tvkcs, voor zover deze verschillen. In beide gevallen wordt door

het RSS hetzelfde gebied bedekt. In het geval van integratie tvkcs is dit echter verdeeld onder de tvkcs/MSCs. Niet alle tvkcs hoeven een geïntegreerde MSC te hebben; er geldt dat de som over de tvkcs/MSCs onder een evkc van de intensiteiten i gelijk is aan I .



- i, I : De intensiteit van het verkeer dat bij een MSC via het radiopad binnenkomt, inclusief het verkeer dat verdwenen is van het radiopad wegens handover, exclusief het verkeer dat binnengekomen is via het radiopad wegens handover.
- $ho1, HO1$: De intensiteit verkeer dat verdwenen is van het radiopad wegens handover.
- $ho2, HO2$: De intensiteit van het verkeer dat bij een MSC via het radiopad binnenkomt wegens handover.
- x : Fractie van het mobiele verkeer uit het door een tvkc/MSC bestreken gebied dat voor door de tvkc bediende abonnees bestemd is.

Fig. 12 Overzicht van de verschillen in verkeersstromen bij integratie met evkcs (a) en tvkcs (b).

Uitgaande van de dimensionering van het RSS (zie Par. 4.1.1.3) zal in het vervolg worden geschat onder welke voorwaarden integratie met 70 tvkcs (Er zullen 70 BSCs komen) en met 23 tvkcs te verkiezen is boven integratie met elke evkc (Er zijn ongeveer 23 evkcs en 120 tvkcs). Bij integratie met evkcs hoeft integratie met elke evkc niet optimaal te zijn. De schating heeft betrekking op de eindsituatie van het atf-4 net, fase 5. De investeringskosten van een circuit in de hogere netvlakken worden geschat op f 45,- per km en tussen MSC en BSC op f 133,- per km. De investeringskosten van een centrale doorgang bedragen f 1000,- per circuit. Het oppervlak van Nederland is 33940 km².

De totale kosten voor de integratie van MSCs met tvkcs en evkcs zullen, indien het aantal MSCs hetzelfde is, ongeveer gelijk zijn. Is het aantal te integreren MSCs en de in totaal benodigde capaciteit groter door een toename van het hand over verkeer, dan zullen deze kosten hoger zijn.

De verschillen in kosten liggen verder op drie terreinen: lengte van verbindingen in het RSS, evkc-tvkc verbinding en centrale doorgangen.

Lengte verbindingen in het RSS:

De grootte van de radiocellen, het aantal BSCs en BTSs zal niet veranderen onder invloed van de keuze van de integratie partner. Het verschil in verbindingskosten in het RSS tussen de twee alternatieven wordt dan ook gevormd door de kosten van de BSC-MSC verbindingen. Er wordt van uitgegaan dat bij integratie met 70 tvkcs er geen verbindingskosten tussen BSC en MSC zullen zijn (BSC en MSC gecollocerd) en dat bij integratie met 23 tvkcs of evkcs de kosten bij benadering bepaald kunnen worden door met een intensiteitsdichtheid ι (Erl./km²) te werken, die uniform wordt verondersteld. De kosten per MSC-area (cirkelvormig met straal R) worden als volgt geschat:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R \iota(r, \phi) * \#lijnen/Erl * r * r dr d\phi = \iota * \#lijnen/Erl * 2\pi * R^3/3$$

$\#lijnen/Erl.$ is het rendement op de BSC-MSC verbindingen, zie Par. 4.1.1.3. Voor de lengte van de BSC-MSC verbindingen in het geval van 23 MSC-areas wordt voor het hele land gevonden:

$$23 * 15.000 / 33940 * (1,9e-2 * 30) * 2\pi * (33940 / (23 * \pi))^{3/2} / 3 = 1,2e5 \text{ km circuit}$$

evkc-tvkc verbindingen:

Het verkeer tussen tvkc en evkc zal sterk variëren bij verschillende keuzes van integratiepartner. Veronderstel dat, bij integratie van MSCs met 23 vkcs (tvkcs of evkcs), de betreffende tvkcs en evkcs gecollocerd zijn, zodat er geen verbindingskosten zijn, onafhankelijk van de keuze van integratie partner. Veronderstel voor het geval van integratie van MSCs met 70 tvkcs dat een fractie x van het niet-hand over verkeer dat door de MSC wordt afgehandeld bestemd is voor de eigen tvkc en dat de rest van het verkeer via de evkc afgehandeld wordt. Iedere hand over geeft aanleiding tot een extra verbinding tussen twee MSCs, tenzij tijdens hetzelfde gesprek opnieuw naar het oorspronkelijke gebied overgegaan wordt. Om de verschillen in kosten van de tvkc-evkc verbindingen te schatten wordt uitgegaan van de intensiteitsdichtheid ι plus de "hand over intensiteitsdichtheid" ho en een rendement op de verbindingen van 75%. De lengte van de verbinding tussen 70 tvkcs en 23 evkcs bij integratie met tvkcs zijn gelijk aan:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R (\iota * (1-x) + 2 * ho) / 0.75 * r * r dr d\phi =$$

$$(\iota * (1-x) + 2 * ho) / 0,75 * 2\pi * R^3/3$$

Voor het hele land wordt gevonden:

$$23 \cdot (15.000 \cdot (1-x) + 2 \cdot H_0) / 33940 / 0,75 \cdot 2\pi \cdot (33940 / (23 \cdot \pi))^{3/2} / 3 =$$

$$(15.000 \cdot (1-x) + 2 \cdot H_0) \cdot 1,9e1 \text{ km circuit,}$$

waarin H_0 het totale hand over verkeer is.

Indien gekozen wordt voor integratie met evkcs is de lengte van de verbindingen tussen de 70 tvkcs en de 23 evkcs als volgt in te schatten (Geen hand over verkeer, alleen een fractie x van het verkeer):

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R i \cdot x / 0,75 \cdot r \cdot r dr d\phi = i \cdot x / 0,75 \cdot 2\pi \cdot R^3 / 3 =$$

$$15.000 / 33940 \cdot x / 0,75 \cdot 2\pi \cdot (33940 / (23 \cdot \pi))^{3/2} / 3 =$$

$$15.000 \cdot x \cdot 8,4e-1$$

Gesommeerd over het hele land bedragen ze dus:

$$15.000 \cdot x \cdot 1,9e1 \qquad \text{km circuit}$$

Het totale handover verkeer, H_0 , kan geschat worden met behulp van de gegevens uit de TWS data base, zie Par. 4.1.2.3. Gebaseerd op een indeling van het land in 64 cellen geldt dat een MS in het drukke uur gemiddeld 2,4 maal een grens tussen cellen passeert. Om dit getal om te kunnen rekenen naar andere MSC-area groottes wordt als volgt te werk gegaan: In elke configuratie wordt uitgegaan van 600 BTSSs. Een MSC-area wordt opgebouwd gedacht uit een aantal BTSSs. Voor 64 MSC-areas uit 40 maal 9 cellen en 24 maal 10 cellen, voor 70 MSC-areas uit 30 maal 8 cellen en 40 maal 9 cellen en voor 23 MSC-areas uit 21 maal 26 cellen en 2 maal 27 cellen, zie Fig. 13. We veronderstellen de kans op grensoverschreiding voor elke zijde van de hexagonale basis cel even groot. Door het aantal "buiten-zijden" van een MSC-area te bepalen kan het handoververkeer geschat worden. De MSC-areas zijn zo samengesteld dat het aantal buitenzijden minimaal is. Uit de figuur blijkt dat de MSC-areas bestaande uit 8, 9, 10, 26 en 27 cellen respectievelijk 20, 22, 24, 38 en 40 buitenzijden hebben. Het aantal overschreidingen per abonnee tussen 70 respectievelijk 23 MSC-areas kan dus als volgt worden ingeschat: $(2,4 / (40 \cdot 22 + 24 \cdot 24)) \cdot (30 \cdot 20 + 40 \cdot 22) = 2,4$ en $(2,4 / (40 \cdot 22 + 24 \cdot 24)) \cdot (21 \cdot 38 + 2 \cdot 40) = 1,4$.

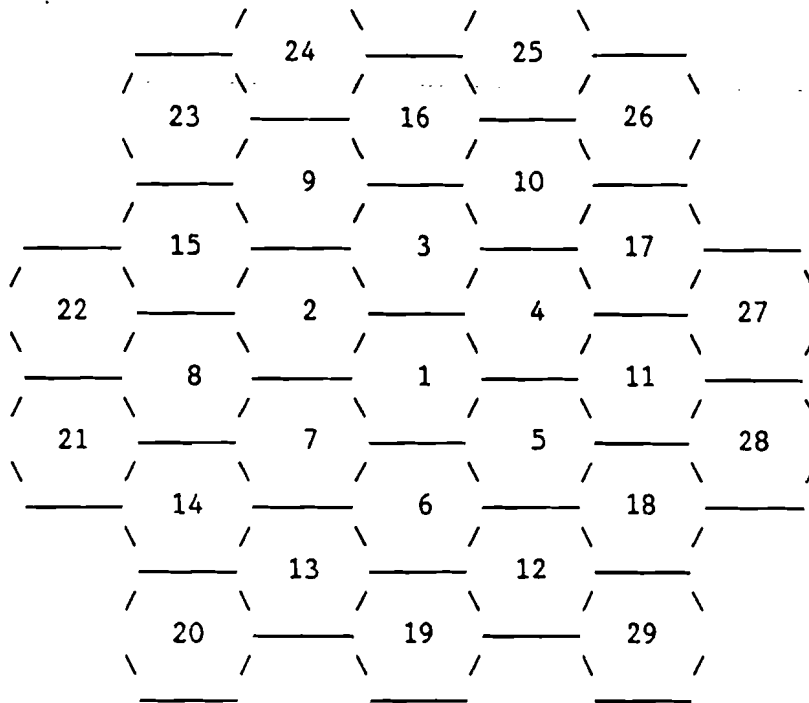


Fig. 13 Samenstelling van MSC-areas uit BTSs.

De hoeveelheid verkeer die hand overs tussen MSCs te weeg brengen kan als volgt geschat worden aan de hand van de inkomende gesprekken in atf-2 gedurende 1988 [16]. Er geldt:

Aantal inkomende gesprekken =

$$\{ P(\text{ab. aanwezig en niet in gesprek}) + P(\text{ab. aanwezig en in gesprek}) + P(\text{ab. afwezig}) \} * \text{Aantal inkomende gesprekken} =$$

Aantal geslaagde inkomende gesprekken + Aantal niet geslaagde inkomende gesprekken

Hieruit volgt, na invulling van de aantallen gesprekken en het verwachte verkeer van een atf-4 abonnee:

$$P(\text{ab. aanwezig en niet in gesprek}) = \text{fractie geslaagde gesprekken} = 0,33$$

$$P(\text{ab. aanwezig en in gesprek}) + P(\text{ab. afwezig}) = \text{fractie niet geslaagde gesprekken} = 0,03 + P(\text{ab. afwezig}) = 0,67$$

Zodat geldt:

$$P(\text{ab. in gesprek} | \text{ab. aanwezig}) = P(\text{ab. in gesprek en aanwezig}) / P(\text{ab. aanwezig}) = P(\text{ab. in gesprek}) / (1 - P(\text{ab. afwezig})) = 0,03 / (1 - 0,03 - 0,67) = 0,1$$

Indien er een border crossing plaatsvindt terwijl de abonnee in gesprek is, geeft dat aanleiding tot $129/3600 = 36$ mE, met 129 s gelijk aan de gemiddelde houdtijd van atf-2, op grond van de "busparadox" [17] bij negatief exponentieel verdeelde houdtijd. De hoeveelheid hand over verkeer tussen twee MSC-areas is gelijk aan het aantal border crossings maal de kans dat een abonnee in gesprek is als hij een grens overschrijdt, maal 36 mE.

Er geldt dus voor 70 en 23 MSC-areas respectievelijk:

$$H_0 = 2,4 * 0,1 * 36 \text{ mE} * 500.000 = 4,3e3 \text{ E}$$

$$H_0 = 1.4 * 0,1 * 36 \text{ mE} * 500.000 = 2,5e3 \text{ E.}$$

De belasting van het inter-evkc-net t.g.v. hand overs is voor beide integratie opties hetzelfde.

Centrale doorgangen:

De laatste kostenpost die niet voor beide opties hetzelfde is, is de doorvoer van verkeer door de centrales. Bij integratie met evkcs bedraagt het totale aantal tvkc doorgangen (rendement 0.75):

$$15.000*x/0.75$$

Bij integratie met tvkcs bedraagt het totale aantal evkc doorgangen:

$$(15.000*(1-x) + 2*H_0)/0.75$$

Resultaat:

De extra kosten van integratie met 23 evkcs in vergelijking met integratie met 70 tvkcs bedragen:

$$\{ 1,2e5 * f 133,- + 15.000*x*1,9e1*f 45,- + 15.000*x/0,75*f 1000,- \} -$$

$$\{ (15.000*(1-x) + 2*4,3e3)*(1,9e1*f 45,- + f 1000,- /0,75) \} =$$

$$6,7e7*(x - 0,54) \quad (0 < x < 1)$$

De extra kosten van integratie met 23 evkcs in vergelijking met integratie met 23 tvkcs bedragen:

$$\{ 15.000*x/0,75*f 1000,- \} -$$

$$\{ (15.000*(1-x) + 2*2,5e3)/0,75*f 1000,- \} =$$

$$4,0e7*(x - 0,67) \quad (0 < x < 1)$$

Dit betekent dat integratie met 70 en 23 tvkcs optimaler is dan integratie met 23 evkcs als minstens 54 respectievelijk 67% van het door de tvkc/MS

afgehandelde mobiele verkeer voor die tvkc bestemd is. Daarbij is voor het geval van 70 MSC-areas afgezien van de vergrote integratie kosten en voor beide gevallen van het feit dat integratie met een aantal evkcs waarschijnlijk optimaler is dan integratie met alle.

In 1985 waren 55 % van de gesprekken in het vaste net lokale gesprekken [18], zodat zonder meer kan worden aangenomen dat de genoemde percentages voor het mobiele net niet gehaald zullen worden en dat integratie op tvkc niveau dus niet wenselijk is.

Routing:

Bij de routing moet onderscheid worden gemaakt in richting van verbindingsofbouw. Voor routing van mobiel ontspringende gesprekken zijn in het mobiele net geen andere functies vereist dan in het vaste net. De MSCs zullen nummer analyse uitvoeren zodat optimaal gerouteerd kan worden. Voor mobiel ontspringende gesprekken kan ten aanzien van de routing altijd van volledige integratie worden gesproken.

De onderscheiden niveaus van integratie gelden volledig voor mobiel eindigende gesprekken. Hier vraagt routing mobiel specifieke functies voor de ondervraging van het HLR. Deze GMSC functie kan in de vaste net centrales worden opgenomen, zodat optimale routing mogelijk is, echter ook in de MSCs, zodat hij niet in de centrales van het vaste net geïmplementeerd hoeft te worden. Het is niet zinvol op GMSCs lager dan evkcs te integreren, omdat MSCs op evkc niveau zullen worden gekoppeld. Indien besloten wordt MSC en GMSC te integreren kunnen in de evkcs twee verschillende strategieën gevolgd worden:

- Routing naar de minst verre MSC.
- Routing naar de "thuis MSC" van het MS op grond van het MS ISDN. Deze functie zal tegen geringe kosten geïmplementeerd kunnen worden. Wel moet bij nummer uitgifte rekening worden gehouden met de indeling van het land in MSC-areas.

Uit mobiliteitsgegevens blijkt dat het gebied waarover MSs zich verplaatsen beperkt is [15], zodat bij een juiste indeling van het land in MSC-areas de naar de "thuis MSC-area" gerouteerde inkomende gesprekken in vele gevallen niet hergerouteerd dienen te worden na HLR ondervraging. Indien aan de evkc waar het MT gesprek binnenkomt geen MSC is gekoppeld (aan de meeste evkcs zal geen MSC gekoppeld zijn), is het aantal centrale doorgangen bij routing naar het dichtstbij zijnde MSC en naar het "thuis MSC" gelijk. Indien aan de evkc wel een MSC is gekoppeld zal dat MSC in veel gevallen ook het "thuis MSC" voor het betrokken MS zijn. Op grond van deze argumenten wordt ervoor gekozen om, indien GMSC en MSC worden geïntegreerd, uit te gaan van routing naar het "thuis MSC" door evkcs.

4.1.1.3 RSS

In deze paragraaf wordt, uitgaande van [12], een schatting gemaakt van het rendement op de verbindingen in het RSS, zie ook Par. 3.2.2. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen gebieden, nl. randstad en niet-randstad om de verschillen in celstraal te verrekenen. De bedekking van het land zoals die in een bepaalde invoeringsfase geldt, wordt geplitst in de twee typen en het aantal cellen wordt in de verhouding van de verkeershoeveelheiden over de twee gebieden verdeeld. In alle cellen wordt op deze wijze evenveel verkeer gegenereerd; er bestaan echter twee celgroottes. Er wordt verondersteld dat de cellen hexagonaal zijn en dat BTSs en BSC zo dicht mogelijk op elkaar zijn gegroepeerd, zie Fig. 14. De BTSs bevinden zich in het centrum van hun cellen en het BSC bevindt zich in het centrum van de centrale cel. De straal r van de cellen (afstand middelpunt - hoekpunt) in een type gebied wordt gevonden door het totale oppervlak van dat gebied te delen door $3\sqrt{3}r^2/2$, het oppervlak van één cel. De afstand tussen de middelpunten van twee cellen is $r\sqrt{3}$.

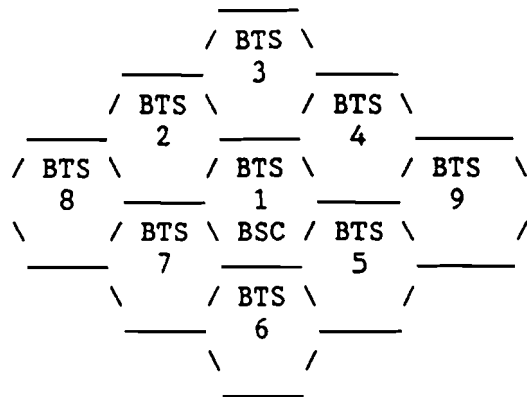


Fig. 14 Schematisch overzicht groepering BTSs en BSC.

In Tab. 3 is aangegeven hoeveel kilometer PCM lijn er per Erlang nodig is voor BTS-BSC links en hoeveel PCM lijnen er per Erlang nodig zijn voor BSC-MSK verbindingen.

Tab. 3 Overzicht benodigde aantal PCM lijnen in RSS

| Fase: | Km PCM lijn per Erlang: (BTS-BSC): | Aantal PCM lijnen per Erlang: (BSC-MS): |
|-------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2 A | $4.9 \cdot 10^{-1} * r$ | $1.0 \cdot 10^{-1}$ |
| B | $3.8 \cdot 10^{-1} * r$ | $6.7 \cdot 10^{-2}$ |
| C | $1.5 \cdot 10^{-1} * r$ | $3.6 \cdot 10^{-2}$ |
| 3 A | $1.3 \cdot 10^{-1} * r$ | $3.0 \cdot 10^{-2}$ |
| B | $1.1 \cdot 10^{-1} * r$ | $2.3 \cdot 10^{-2}$ |
| 4 | $9.6 \cdot 10^{-2} * r$ | $2.7 \cdot 10^{-2}$ |
| 5 | $6.3 \cdot 10^{-2} * r$ | $1.9 \cdot 10^{-2}$ |

4.1.1.4 Scenario's:

Op grond de conclusies uit Par. 4.1.1.2 dat MSCs op evkc niveau in het vaste net geplaatst moeten worden, dat in de evkcs, indien er geen HLR ondervraging plaatsvindt, nummer analyse moet worden gedaan en de vier niveaus van integratie van het mobiele en vaste net komt men tot vier op het gebied van koppeling en routing fundamenteel verschillende scenario's.

Scenario 1:

Ophangen van MSCs aan evkcs.
GMSCs en MSCs integreren; nummer analyse door evkcs.

Scenario 2:

Ophanging van MSCs aan evkcs.
GMSCs en evkcs integreren.

Scenario 3:

Integreren van MSCs met (een aantal) evkcs.
GMSCs en MSCs integreren; nummer analyse in de evkcs waarmee geen MSC geïntegreerd is.

Scenario 4:

Integreren van MSCs met (een aantal) evkcs.
GMSCs en evkcs integreren.

Binnen elk scenario moeten de plaatsing van MSCs, toekenning van gebieden aan MSCs en voor de scenario's 1 en 2 de links tussen MSCs onderling en vaste net centrales nu worden bepaald.

4.1.2 Invoergegevens van het Optimalisatieproces

Het optimalisatieproces bestaat uit de invulling van de uit Par. 4.1.1 resterende parameters: Toekenning van gebieden aan MSCs en het bepalen van de links tussen MSCs onderling en het vaste net voor de scenario's 1 en 2 . Het proces maakt deel uit van een set programma's, die worden beschreven in App. B. Naast de programma's voor het optimalisatieproces zelf, zijn er programma's voor de bewerking van invoergegevens en het lezen van uitvoergegevens. De nauwkeurigheid van de resultaten wordt bepaald door de fouten in de invoergegevens en de aannames die aan de algoritme's ten grondslag liggen. Het proces vereist gegevens over het gedrag van abonnees en de geografische positie van entiteiten.

Het gedrag van de abonnee wordt ontleent aan atf-2, omdat alleen over dat systeem voldoende gegevens beschikbaar zijn. Een overall aanname is dan ook dat de gegevens van atf-2, die het gedrag van de abonnees weergeven, te extrapoleren zijn naar atf-4. Aangezien de beide systemen van elkaar afwijken in de geboden diensten (atf-2: alleen telefonie; data eventueel via modem), aantal abonnees (atf-2: 35.000) en mogelijkheden tot roaming (atf-2: alleen binnen Benelux) moet op dit punt de nodige voorzichtigheid in acht worden genomen. De kleinste geografische eenheid die onderscheiden kan worden is een atf-2 basis station. MSC-areas zullen gevormd worden door atf-2 basis stations samen te nemen.

Berekening van de kosten van atf-4 vereist kennis van de maxima in de verkeersstromen en dimensionering van alle netwerkelementen (centrales en links) op grond van het maximum in het verkeer voor dat element (niet op grond van de som van de maxima van de verschillende deelstromen voor dat element en niet op grond van het maximum in het verkeer over het hele land):

- Dimensionering op grond van het landelijke drukke uur gaat voorbij aan het feit dat, omdat het drukke uur voor een bepaald basis station of MSC daar niet mee hoeft samen te vallen, er op verschillende plaatsen onderdimensionering kan plaatsvinden.
- De spreiding van MSs afkomstig uit een bepaald basis station over de basis stations, nodig voor de berekening van de herrotering van MT calls ten gevolge van het zich niet in de "thuis MSC-area" bevinden van MSs (scenario's 1 en 3), zal niet constant zijn in de tijd.
- De spreiding van het verkeer vanuit een bepaald basis station (verdeling van het door een basis station verwerkte verkeer over de verschillende vaste net centrales) zal niet constant zijn in de tijd.

Dimensionering op de beschreven wijze is echter zeer complex en de benodigde gegevens zijn vaak niet voorhanden. Daarom zal voor het verkeer worden uitgegaan van een landelijk druk uur en, zoals gezegd, 30 mE verkeer per abonnee in het drukke uur. De spreiding van MSs zal gebaseerd worden op een meting gedurende een hele dag. Ter rechtvaardiging van deze wijze van optimaliseren kan verder worden aangevoerd:

- Het doel van deze studie is het vergelijken van de verschillende architecturen, niet het berekenen van de absolute kosten.
- Gezien de overige, gedwongen aannames en onzekerheden ten aanzien van het abonnee-gedrag is het niet zinvol op dit punt zeer grote nauwkeurigheid na te streven.

- Het drukke uur van een groot aantal basis stations valt (ongeveer) samen met het landelijke drukke uur. Bovendien is er geen scherp maximum dat het drukke uur aangeeft. [16]. Doordat verschillende basis stations, 10 á 20% van het totale aantal, samengenomen worden tot één MSC-area, treedt er middeling op, zodat het drukke uur van de betreffende MSC met grotere kans samenvalt met het landelijke drukke uur. Dit argument geldt niet voor de verbindingen in het RSS. De dimensionering van deze verbindingen ligt echter bijna volledig vast, zie Par. 3.2.2.

In het vervolg zal worden ingegaan op de verschillende categorieën gegevens waarop het optimalisatieproces gebaseerd is. De invoergegevens, zoals die uit verschillende bronnen worden verkregen, ondergaan een aantal bewerkingen om het gewenste formaat te bereiken. Daaronder vallen het invoeren van een standaard nummering van basis stations en centrales, zie App. C, en het wegwerken van een aantal atf-2 basis stations (De gegevens hebben niet alle betrekking op hetzelfde aantal basis station, omdat ze gemeten zijn in verschillende fasen van atf-2.)

4.1.2.1 Verkeer

Er kunnen in atf-systemen op grond van richting van verbindingsofbouw drie groepen verkeer worden onderscheiden: Mobile Originating (MO), Mobile Terminating (MT) en Mobile to Mobile (MM) verkeer. De optimalisatie verlangt drie matrices waarin deze verkeerssoorten in de juiste onderlinge verhoudingen zijn gerepresenteerd, uitgesplitst naar het betrokken atf-2 basis station en de vaste net centrale in het hoogste netvlak. Het is niet noodzakelijk de verdeling van het verkeer over lagere netvlakken te kennen, omdat MSCs aan het hoogste vlak zullen worden gekoppeld. Uit de toll ticketing gegevens van atf-2 zijn voor vier opeenvolgende weken in 1989 van maandag tot en met vrijdag van 15.30 u tot 16.30 uur (deze periode stemt ongeveer overeen met het landelijke drukke uur) de volgende gegevens verkregen op grond van het route nummer van de basis stations en het abonnee nummer van de abonnees in het vaste net betreffende alle Nederlandse basis stations:

- Totale opbouw- en gesprekstijd voor MO verkeer, uitgesplitst naar atf-2 basis station en evkc/itnc.
- Totale opbouw- en gesprekstijd voor MT verkeer, uitgesplitst naar atf-2 basis station. Opsplitsing naar broncentrale is slechts voor een beperkte groep van broncentrales mogelijk, zodat daar vanaf is gezien.
- Totale opbouw- en gesprekstijd voor MM verkeer, uitgesplitst naar bron- en bestemmings-basis station.

Om deze gegevens te converteren naar het gewenste formaat zijn verschillende bewerkingen uitgevoerd:

- Een aantal basis stations is weggewerkt door hun verkeer te verdelen over buurstations. Als verdeelsleutel is de afstand tussen het weg te werken station en zijn burens gebruikt.
- De vier metingen zijn gemiddeld en genormeerd.
- Het internationale MO verkeer is verdeeld door het toe te kennen aan de

minst verre van de twee itnacs in Nederland.

- Het MT verkeer is opgesplitst naar broncentrale door aan te nemen dat het op dezelfde wijze verdeeld is als M0 verkeer.

4.1.2.2 Mobiliteit

Voor de routing van MT calls in de scenario's 1 en 3 is het noodzakelijk inzicht te hebben in de positie van MSs, aangegeven door het atf-2 basis station waar het MS zich bevindt, als functie van het atf-2 basis station waar het thuis is en de hoogste netvlak centrale waarvandaan getracht wordt het te bereiken. Ter beschikking staat een overzicht, de mobiliteitsmatrix, van het aantal gesprekken dat gedurende één dag door MSs is gepleegd, opgesplitst naar enerzijds het basis station waarvandaan het gesprek gevoerd is en anderzijds het district waar het MS administratief thuis is. Op grond van het abonnee nummer van het MS is in atf-2 geen verdere opsplitsing naar thuis-gebied mogelijk. In het vervolg wordt ingegaan op de opsplitsing van de districten in basis stations en de bepaling van het MT verkeer.

Splitsing districten:

Op grond van de in atf-2 bijgehouden gegevens is het 'thuis gebied' van een MS bekend op district niveau. Om dit te splitsen in atf-2 basis stations (BSs), hetgeen nodig is omdat de MSC-areas niet gebonden zullen zijn aan districtsgrenzen, wordt het aantal gesprekken dat door MSs afkomstig uit een bepaald district in een BS gevoerd is, verdeeld over de BSs die deel uitmaken van dat district. Uit de gegevens blijkt dat de MSs zich voornamelijk dicht bij het eigen gebied bevinden. De gekozen wijze van verdelen wordt toegelicht in Fig. 15.

DISTRICT \longrightarrow A B C
 splitsen

| | | | | | |
|-------|----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| A: | Sa | Ia | HO_ab* $\langle X \rangle$ b | HO_ab* $\langle X \rangle$ c | BSs binnen district |
| B: | Sb | HO_ab* $\langle X \rangle$ a | I_b | Gc*Sb | |
| C: | Sc | HO_ac* $\langle X \rangle$ a | Gb*Sc | I_c | |
| ----- | | | | | |
| D: | Sd | HO_ad*Xd | Gb*Sd | HO_cd*Xd | BSs grenzend aan district |
| E: | Se | Ga*Se | HO_be*Xe | Gc*Se | |
| ----- | | | | | |
| F: | Sf | Ga*Sf | Gb*Sf | Gc*Sf | BSs niet grenzend aan district |

Fig. 15 Splitsing van het thuis district van MSs in BSs.

Horizontaal staat het 'thuis-gebied' van de MSs uit (in het voorbeeld slechts voor één district). Vertikaal staat het BS waar het gesprek plaatsvindt, verdeeld in drie categorieën. Het figuur heeft betrekking op een district bestaande uit drie BSs: A, B en C. In dit voorbeeld heeft BS A de BSs B, C en D. BS B de BSs A en E en BS C de BSs A en D als buur BS. De gesprekken die door MSs uit dit district worden gevoerd worden verdeeld over de drie BSs. De letter G_i ($i \in \{a,b,c\}$) geeft een evenredigheidsdeel aan. Dit deel is voor ieder BS i uit het district gelijk aan de fractie van het aantal gesprekken dat door MSs uit het district in BS i gevoerd wordt. HO_{ij} ($i \in \{a,b,c\}$, $j \in \{a,b,c,d,e\}$) staat voor het hand over verkeer tussen de cellen i en j , zie Par. 4.1.2.3. I_i ($i \in \{a,b,c\}$) staat voor het aantal gesprekken dat in BS i gevoerd wordt door een MS uit BS i zelf. Het totale aantal gesprekken dat door MSs uit het district in een BS gevoerd wordt, S_i ($i \in \{a,b,c,d,e,f\}$), moet constant blijven. Er is gekozen voor de volgende wijze van opsplitsen:

- Het aantal gesprekken door MSs uit BS i ($i \in \{a,b,c\}$) in een niet aan BS i grenzend BS j ($j \in \{a,b,c,d,e,f\}$) wordt gelijk gesteld aan de factor G_i maal het totale aantal gesprekken in het BS j door MSs uit het district ($=S_j$).
- X_i ($i \in \{d,e\}$) is een factor, behorende bij BS i dat grenst aan het district, die zodanig gekozen wordt dat het totale aantal gesprekken in een BS i ($=S_i$) constant blijft. Het aantal gesprekken in BS i door MSs uit BS j ($j \in \{a,b,c\}$) bedraagt $X_i \cdot HO_{ji}$. $\langle X \rangle_i$ ($i \in \{a,b,c\}$) is het gemiddelde over de factoren X in een kolom.
- Het aantal gesprekken door MSs, die thuishoren in BS i , in een aangrenzend BS j dat deeluitmaakt van hetzelfde district, wordt gelijk verondersteld aan $\langle X \rangle_i$ maal het aantal handovers tussen de cellen, HO_{ij} , echter alleen zola

dit product de grens gegeven door de gewichtsfactor maal het totale aantal, gesprekken in de cel ($=G_i * S_j$), niet overschreidt.

- I_i ($i \in \{a, b, c\}$) volgt uit de eis dat de som over een rij ($=S_i$) gelijk moet zijn aan het totale aantal gesprekken in een BS.

Naast opsplitsing vindt er nog henummering en normering plaats. Er wordt zodanig genormeerd dat de som over alle thuis-BSs voor de MSs in een bepaald BS één is.

Bepaling MT verkeer:

De verdeling van het MT verkeer kan geschat worden op grond van de MT matrix uit Par. 4.1.2.2 (bron centrale * bestemmings basis station) en de mobiliteitsmatrix. De routing voor MT calls zal in de scenario's 1 en 3 als volgt te splitsen zijn in twee delen:

- 1 Routing door de evkc naar de 'thuis-MS' van een MS op grond van het MS ISDN.
- 2 Mogelijke herrouting van het gesprek op grond van de ondervraging van het HLR door de 'thuis-MS'.

Voor het eerste deel van de routing geldt:

$$I_{t \text{ evkc } k \rightarrow \text{BS } i} = \sum_j I_{v \text{ evkc } k \rightarrow \text{BS } j} * P_{\text{BS } j} \text{ (MS hoort in BS } i \text{ thuis | MS wordt gebeld vanuit evkc } k)$$

Voor het tweede deel van de routing geldt:

$$I_{h \text{ BS } i \rightarrow \text{BS } j} = \sum_k I_{v \text{ evkc } k \rightarrow \text{BS } j} * P_{\text{BS } j} \text{ (MS hoort in BS } i \text{ thuis | MS wordt gebeld vanuit evkc } k)$$

I_t : Intensiteit van het verkeer tussen een evkc en een 'thuis-BS'

I_h : Intensiteit van het verkeer tussen een 'thuis-BS' en het BS waar het MS zich bevindt.

I_v : Intensiteit van het verkeer tussen een evkc en het BS waar het MS zich bevindt. Element MT matrix.

$P_{\text{BS } j}$: Kans met betrekking tot MSs die zich in BS j bevinden.

Gegevens over de voorwaardelijke kansen zijn niet beschikbaar. Ze kunnen benaderd worden door de onvoorwaardelijke kansen. De onvoorwaardelijke kansen zijn gelijk aan de elementen van de genormeerde mobiliteitsmatrix. Er wordt dan van uitgegaan dat de evkc van waaruit een MS gebeld wordt of waarnaartoe een MS belt en het BS waar een MS thuis is, onafhankelijke gebeurtenissen zijn indien een MS zich in een bepaald BS bevindt. Anders uitgedrukt: Er wordt van uitgegaan dat, gegeven het BS waar het MS zich bevindt, de kans dat een MS in een bepaald BS thuis hoort met name bepaald wordt door zijn positie en niet door de evkc waarvandaan of waarnaartoe gebeld wordt.

Voor het tweede deel van de routing kan dan de volgende vereenvoudiging worden aangebracht:

$$I_{h_{BS_i \rightarrow BS_j}} = \sum_k I_{v_{k \rightarrow BS_j}} * P_{BS_j}(MS \text{ hoort in } BS_i \text{ thuis}) =$$

$$P_{BS_j}(MS \text{ hoort in } BS_i \text{ thuis}) * \sum_k I_{v_{k \rightarrow BS_j}} =$$

$$P_{BS_j}(MS \text{ hoort in } BS_i \text{ thuis}) * I_{v_{\rightarrow BS_j}}$$

4.1.2.3 Grensoverschreidingen

Indien door een MS de grens tussen twee MSC-areas overschreden wordt terwijl er een verbinding staat, heeft dat tot gevolg dat er een verbinding tussen beide MSCs tot stand gebracht moet worden. Om de intensiteit van dit verkeer te kunnen schatten moet het aantal grensoverschreidingen tussen atf-2 basis stations door MSs bekend zijn.

Om dit te bepalen is gebruik gemaakt van twee data bases van TWS [19]. In één bestand staat voor een verdeling van het land in cellen van één vierkante kilometer de kans dat door een MS een bepaald atf-2 basis station wordt gekozen. In het andere bestand staat het aantal grensoverschreidingen door MSs in het busy hour tussen de cellen.

Er worden een aantal basis stations weggewerkt en de standaard nummering wordt ingevoerd.

4.1.2.4 Geografie

Voor de bepaling van de lengte van verbindingen is het nodig de positie van atf-2 basis stations en hoogste netvlak centrales te kennen. Deze positie zijn bepaald ten opzichte van een orthogonaal coördinaten stelsel en ingevoerd in het programma systeem.

4.1.3 Het Optimalisatieproces

Het optimalisatieproces vormt de kern van het optimalisatiesysteem, dat verder uit programma's voor de bewerking van invoergegevens en het lezen van uitvoergegevens bestaat, zie App. B. Het proces start met de generatie van verdelingen van het land in MSC-areas voor verschillende aantallen MSCs. Voor deze verdelingen worden vervolgens de links en de kosten bepaald voor de vier scenario's. In deze paragraaf worden de verschillende deelprocessen van het optimalisatieproces beschreven.

4.1.3.1 Verdeling van het land in MSC-areas

Deze paragraaf gaat in op de verdeling van het land in MSC-areas. Omdat de gegevens betreffende het verkeer zijn ontleend aan atf-2, is de kleinste te onderscheiden geografische eenheid een atf-2 basis station. MSC-areas worden gevormd door de door atf-2 basis stations bestreken gebieden samen te nemen.

De verdelingen van het land in MSC-areas worden gegenereerd door een recursief algoritme, dat in principe alle mogelijkheden aanmaakt. Omdat het aantal mogelijke verdelingen in MSC-areas echter zeer groot is, worden voordat het algoritme wordt gestart een aantal atf-2 basis stations samengenomen. Om de samen te nemen basis stations te bepalen is de matrix "kental" gedefinieerd, waarin voor ieder paar basis stations de som over alle vaste net centrales van de absolute waarde van het verschil van het op het totale verkeer van een basis station genormeerde verkeer naar de betreffende vaste net centrale staat. Deze som geeft het verschil in de spreiding van het verkeer van de twee basis stations over de centrales aan. Is de som Σ , dan volgt daaruit dat het ene basis station een fractie $\Sigma/2$ van zijn verkeer anders verdeelt dan het andere. Alleen basis stations waarvoor geldt dat ze aan elkaar grenzen, binnen hetzelfde technische district liggen en waarvoor Σ klein genoeg is, worden samengenomen. Het op deze wijze samennemen van basis stations is te verdedigen met de verwachting dat in een optimale architectuur gebieden met dezelfde spreiding van hun verkeer samengenomen zullen zijn, zodat optimaal de voordelen van concentratie van verkeer kunnen worden benut.

Binnen het algoritme wordt getracht ongeschikte verdelingen zo snel mogelijk, d.w.z. nog voordat de generatie van de verdeling voltooid is, te herkennen. Criteria waarop een verdeling wordt afgekeurd zijn dat het in een MSC-area van de verdeling verwerkte verkeer buiten de voor MSCs aangegeven grenzen valt, dat er een MSC is die veel meer verkeer verwerkt dan een andere, wat zou leiden tot een onevenwichtige verdeling van het land, en dat de kans dat een MS zich in zijn eigen MSC-area bevindt te klein is. Het laatste criterium draagt bij aan de optimalisering van de routing van MT calls in de scenario's 1 en 3 en minimalisering van het handover verkeer. Het draagt zorg voor het construeren van gebieden die overeenstemmen met het mobiliteitsgedrag van de gebruiker. Dat deze selectie gerechtvaardigd is blijkt daaruit dat de optimale architecturen bijna zonder uitzondering gebaseerd zijn op verdelingen met een van de kleinste kansen op MSs buiten hun MSC-area.

De mogelijkheid bestaat om alleen met een aantal van de, in de zin van bovengenoemde kans, beste verdelingen het optimalisatieproces voort te zetten, zodat (reken)tijd kan worden gespaard.

Zoals vermeld komen voor de positie van MSCs alleen locaties waar reeds een hoogste netvlak centrale staat in aanmerking. Uit de locaties die binnen een MSC-area liggen wordt de locatie gekozen die aanleiding geeft tot de kortste links in het RSS. De posities waar zich een punt uit het hoogste netvlak van het SS7/ISUP subsysteem bevindt, worden licht bevoordeeld als mogelijke locatie boven andere vanwege het te verwachten voordeel in signalering.

4.1.3.2 Links tussen MSCs onderling en tussen MSCs en het vaste net

Voor de scenario's 3 en 4, waar integratie van MSCs met evkcs plaatsvindt, is het duidelijk dat al het verkeer via het reeds bestaande en eventueel uit te breiden vermaasde net tussen de hoogste netvlak centrales zal lopen. In de scenario's 1 en 2 echter, waar MSCs bij evkcs geplaatst zullen worden, zal bepaald moeten worden naar welke centrales de MSCs een link krijgen. In deze paragraaf wordt ingegaan op het daarvoor ontworpen algoritme.

Het totale verkeer ten bate van atf-4 kan opgesplitst worden naar de betrokken MSCs en evkcs en worden gerepresenteerd in de verkeersmatrix. Het is samengesteld uit de volgende categorieën:

- MT verkeer van de bron-evkc naar de thuis-MSC van een MS. (scenario 1)
- MT verkeer van de thuis-MSC naar de MSC waar het MS zich bevindt. (scenario 1)
- MT verkeer van de bron-evkc naar de MSC waar het MS zich bevindt. (scenario 2)
- MO verkeer van de MSC naar de bestemmings-evkc.
- MM verkeer tussen twee MSCs.
- Hand over verkeer tussen twee MSCs.

De MSCs zijn ieder met minstens één evkc, namelijk de evkc waarbij ze geplaatst zijn, door middel van een link verbonden: de hoofdlink, zie Fig. 16. Het is waarschijnlijk dat het verkeer tussen een MSC en de evkc waarbij hij geplaatst is, groter zal zijn dan het verkeer met ieder van de overige evkcs. Bovendien zal verkeer dat niet via een directe link naar een andere evkc wordt geleid, via de hoofdlink lopen. Er wordt van uitgegaan dat het rendement op de links tussen evks en op de hoofdlinks tussen MSCs en evkc 75% bedraagt.

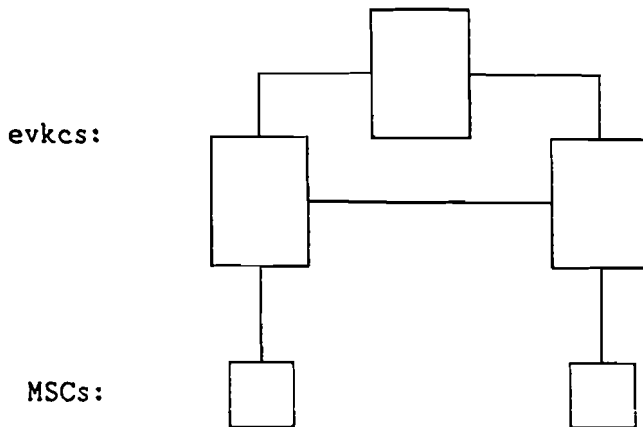


Fig. 16 Basis architectuur plaatsing van MSCs bij evkcs

Routing van het verkeer vindt in principe plaats via de in Fig. 16 aangegeven links. Er kan besloten worden een directe link tussen een evkc en een MSC of tussen twee MSCs aan te leggen indien het verkeersaanbod groot genoeg is. Beslissend zijn daarbij de kosten van de link (deze worden bepaald door de lengte en het rendement), de centrale terminals en de centrale doorgangen.

Routing via een link tussen MSCs kan alleen optimaal zijn indien zowel de bron- als de bestemmingscentrale een MSC is. In de andere gevallen, d.w.z. de combinaties MSC-evkc en evkc-evkc, kan namelijk beter gebruik worden gemaakt van de hoog rendement link tussen de vermaasde evkcs en eventueel de hoofdlink tussen de MSC en de evkc. Voor alle evkc-MSC paren (m.u.v. de paren waaraan reeds een link is toegekend omdat de MSC bij de evkc is geplaatst) wordt aan de hand van de verkeersmatrix bekeken of een directe link rendabel is. Het alternatief, dat een extra centrale doorgang vraagt, is een verbinding via de evkc waarbij de MSC geplaatst is. Afhankelijk van de verdere toekenning van links kan, indien bij de betrokken evkc ook een MSC is geplaatst, later ook verkeer tussen de twee MSCs via de evkc-MSC link worden gerouteerd of er kan alsnog een link aan het evkc-MSC paar worden toegekend.

Het is eenvoudig in te zien dat routing via meer dan twee links tussen MSCs (meer dan één transitie MSC) niet optimaal is. Het is namelijk mogelijk de verbinding tussen de bron- en bestemmings-MSC tot stand te brengen via de hoofdlincs van de MSCs en de link tussen de betrokken evkcs. Daarbij wordt via de in principe kortst mogelijke afstand, hoog rendement links en twee transitie centrales gerouteerd. Het feit dat routing via één transitie MSC wel tot de optimale architectuur kan behoren maakt het optimaliseringsprobleem echter zeer complex. Het is niet mogelijk alle opties te genereren en tegen elkaar af te wegen. Daarom wordt in eerste instantie niet gekeken naar routing via een derde MSC. Er wordt een link aangebracht tussen alle MSC paren waarvoor geldt dat dit na vermenigvuldiging met een door de gebruiker aan te geven factor minder duur is dan de alternatieve routeringen (d.w.z. routing via de hoofdlink van één van de MSCs en een directe link van de evkc naar de andere MSC of routing via de hoofdlincs van beide MSCs en de link tussen beide betrokken evkcs), die minstens één extra centrale doorgang vragen. Daarna worden alle niet

verbonden MSC paren bekeken en wordt beslist of routing via een derde MSC en de bestaande MSC-MSC links of via het vaste net moet plaatsvinden.

4.1.3.3 Bepaling van de kosten

Nadat het gehele netwerk gedimensioneerd is, kan de optimale architectuur variant gekozen worden. Daartoe wordt de omvang van de kostenposten bepaald. Het is alleen noodzakelijk de kosten in beschouwing te nemen voor zover die voor de mogelijke architecturen en scenario's verschillen. In het vervolg wordt een opsomming gegeven van de relevante kostenposten:

- De lengte van de verbindingen in het RSS.
- De lengte van de verbindingen tussen MSCs (scenario's 1 en 2).
- De lengte van de verbindingen tussen MSCs en evkcs (scenario's 1 en 2).
- De lengte van de verbindingen tussen evkcs.
- Het aantal doorgangen door centrales in het hoogste netvlak (inclusief de centrale terminals). In de scenario's 3 en 4 wordt een verbinding via een evkc met geïntegreerde MSC niet meegeteld als centrale doorgang, maar in de capaciteit van MSCs en bij de centrale terminals.
- Het aantal terminals aan MSCs. De terminals aan de RSS kant van een centrale worden niet meegeteld, omdat het aantal over het hele land gemeten constant is.
- Het aantal terminals aan centrales in het hoogste netvlak. (scenario's 3 en 4)
- De kosten van MSCs. (scenario's 1 en 2)
- De kosten van integratie van MSCs. (scenario's 3 en 4)
- De kosten van de implementatie van SS7/MAP in de centrales in het hoogste netvlak t.b.v. HLR ondervraging zijn niet meegenomen. (scenario's 2 en 4)

In App. D is een overzicht gegeven van de kosten die voor de netwerkelementen in deze studie zijn aangenomen.

4.1.4 Resultaten

In deze paragraaf zullen de resultaten van de optimalisatie van het SSS gepresenteerd worden. Er wordt ingegaan op de optimale architecturen voor de eindfase, op de evolutie gedurende de invoeringsfasen en de invloed van prijsveranderingen op de resultaten.

4.1.4.1 Optimale architecturen voor de eindfase

De optimaliteit van een architectuur wordt bepaald door de eraan verbonden kosten, zie Par. 4.1.3.3. In Fig. 17 worden de genormeerde totale kosten van de optimale architecturen voor de vier scenario's weergegeven als functie van het aantal MSC-areas waarin het land is verdeeld. Uit deze figuur alleen kan het optimale aantal MSC-areas niet worden afgeleid, omdat ook de kosten van het SS7/MAP subsysteem afhankelijk zijn van het aantal MSCs. In Fig. 18 wordt het aandeel van de kostenposten in de totale kosten voor de optimale architecturen weergegeven.

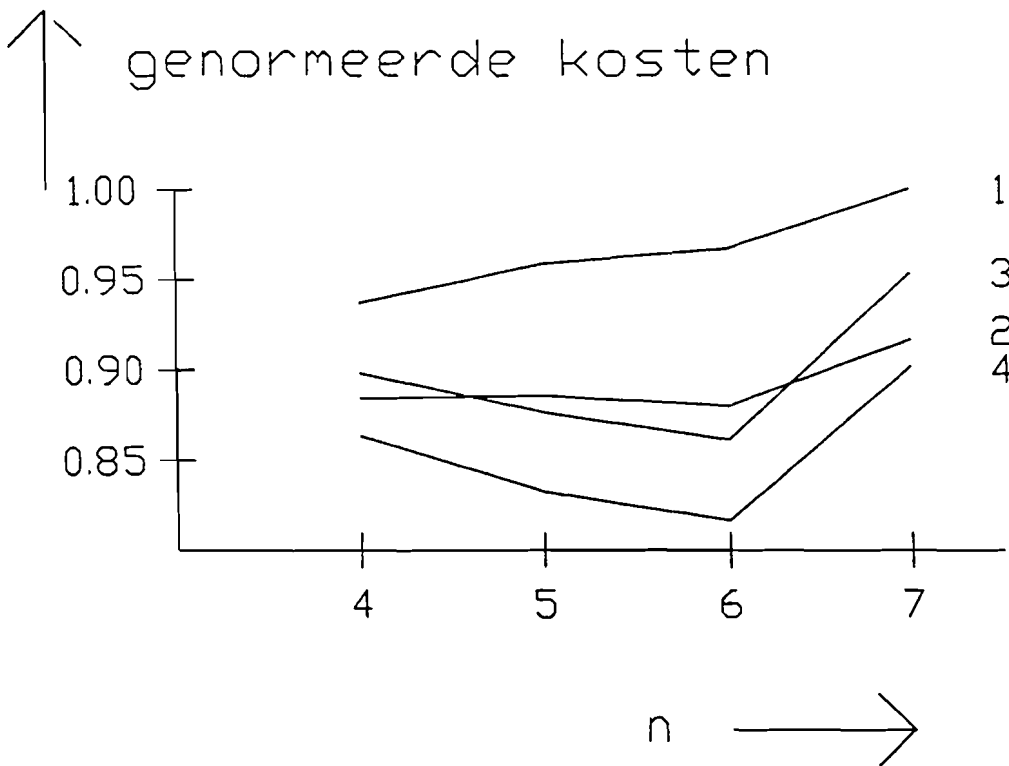
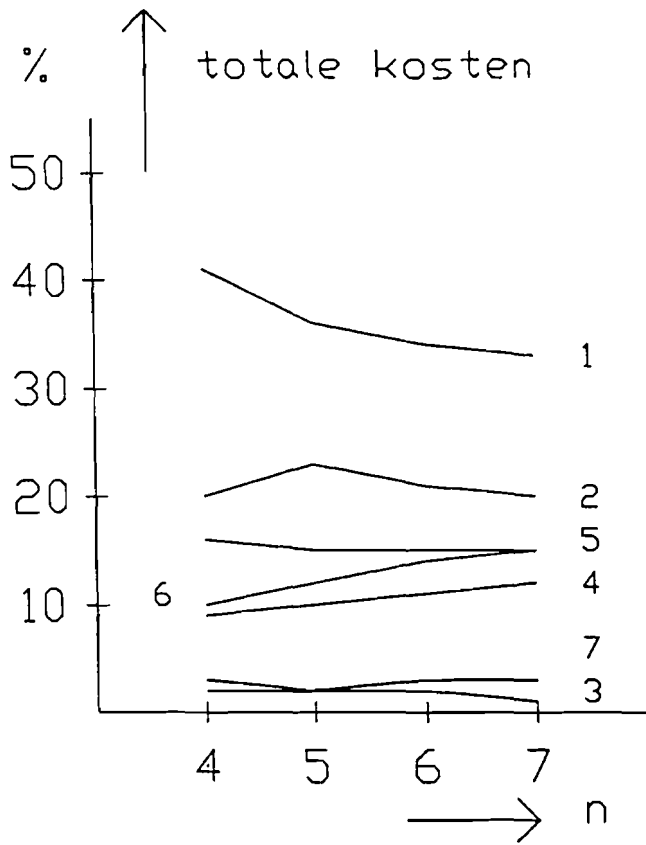
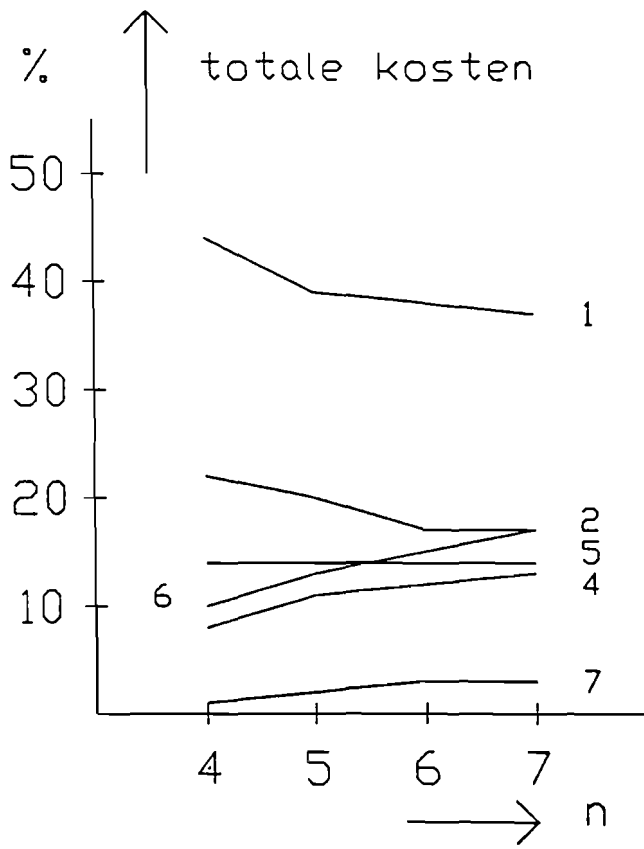


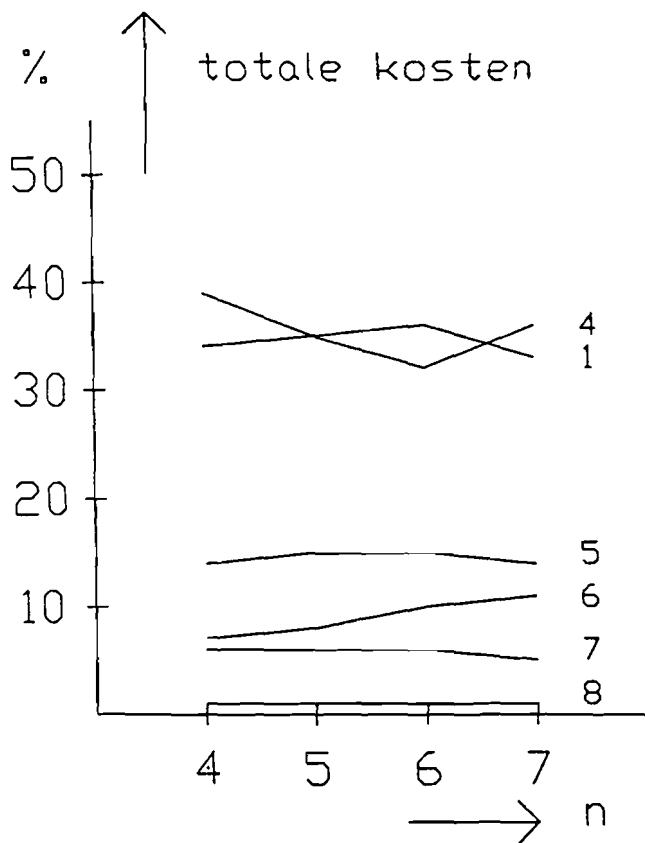
Fig. 17 Genormeerde totale kosten voor de optimale architecturen als functie van het aantal MSC-areas. Het nummer verwijst naar een scenario. (1 = 219.52 mln.)



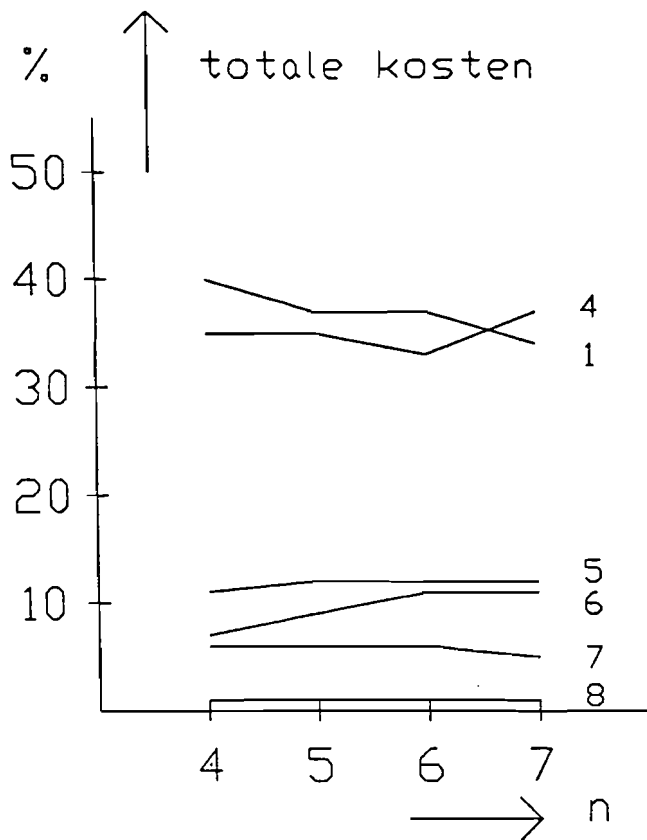
scenario 1



scenario 2



scenario 3



scenario 4

Fig. 18 Overzicht van het belang van de verschillende kostenposten voor de vier scenario's.

1. Verbindingen in het RSS
2. Verbindingen tussen MSC en evkc
3. Verbindingen tussen MSCs
4. Verbindingen tussen evkcs
5. MSC terminals
6. MSCs
7. evkc doorgangen (voor de scenario's 1 en 2 zijn de doorgangen door de eerste of laatste evkc niet opgenomen, omdat deze post een vast bedrag vormt.)
8. evkc terminals

Fig. 17 geeft de totale kosten weer. De optimale architectuur in een scenario kent het juiste evenwicht tussen verbindingen (dalende kosten bij toename aantal centrales) en centrales (stijgende kosten bij toename aantal centrales). Uit Fig. 18 blijkt dat de kosten van de architecturen met name (voor ongeveer 70%) bepaald worden door de links, waarbij aan de links in het RSS en het SSS ongeveer een evengroot gewicht moet worden toegekend. Stijging van het aantal centrales maakt afname van de verbindingskosten mogelijk: vergroting van het aantal MSC-areas geeft, doordat de gemiddelde oppervlakte van een MSC-area daalt, een afname van de lengte aan links in het RSS.

De scenario's waarin geïntegreerd wordt kennen een minimum in hun kosten bij zes MSCs. Ook scenario 2 heeft een, zeer vlak, optimum bij zes MSCs. Het minimum voor scenario 1 ligt bij vier centrales. Het feit dat de kosten voor de scenario's 1 en 2 in tegenstelling tot voor de scenario's 3 en 4 niet dalen bij toename van het aantal MSCs van vier naar zes, kan verklaard worden uit het verschil tussen beide paren van scenario's. Het aantal evkcs waaraan een MSC is opgehangen in de scenario's 1 en 2 daalt sterk bij toename van het aantal MSCs, zie Fig. 19. Het verkeer van deze links wordt overgenomen door de verbindingen tussen evkcs (links en evkc doorgangen), zie Fig. 18. Doordat in de scenario's 1 en 2 steeds een optimaal aantal evkcs wordt gekozen om een MSC aan op te hangen bestaat de mogelijkheid om bij verlaging van het aantal MSC-areas rendabele links tussen MSC en evkc aan te leggen en centrale doorgangen uit te sparen. Juist bij een klein aantal MSCs biedt het voordeel veel links tussen MSCs en evkcs te realiseren, omdat er dan relatief veel verkeer met evkcs wordt uitgewisseld.

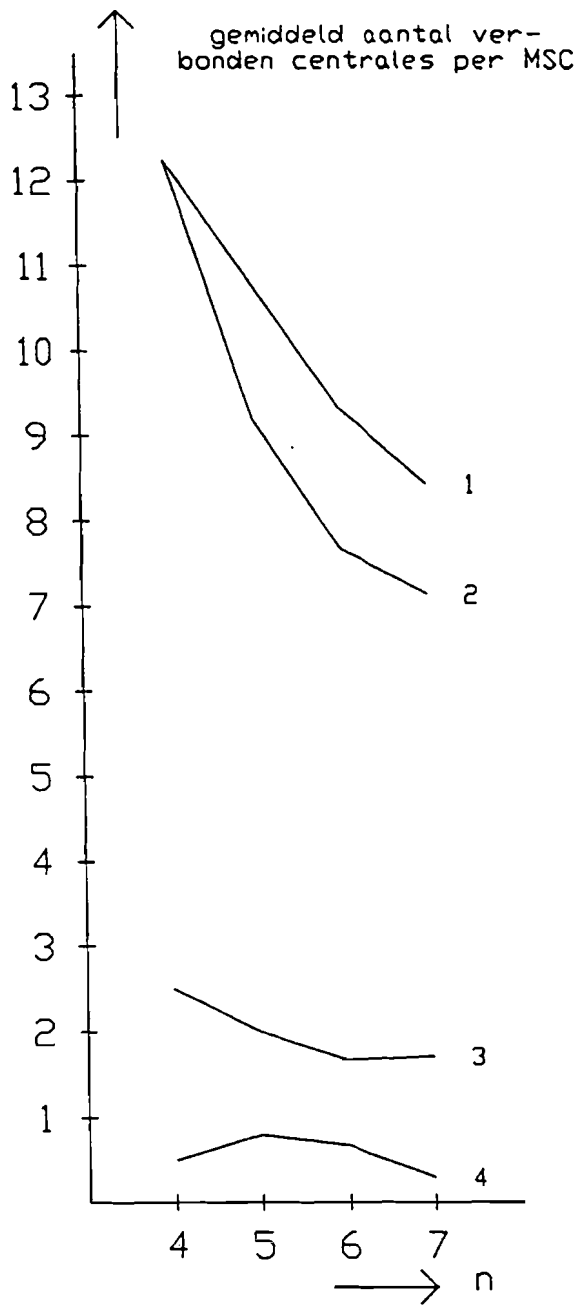


Fig. 19 Het aantal rechtstreeks met MSCs verbonden evkcs (1 resp. 2) en MSCs (3 resp. 4) in de scenario's 1 en 2.

Links tussen MSCs blijken slechts beperkt rendabel en hun aantal neemt af bij toename van het aantal MSCs. Er komen meer inter MSC links voor in scenario 1 dan in scenario 2 t.g.v. extra verkeer door het herrouteren van MT calls.

De verschillen in kosten tussen de scenario's 1 en 2 respectievelijk 3 en 4 bedragen, afhankelijk van het aantal MSC-areas, 11 tot 19 en 7 tot 11 mln. Deze besparing wordt behaald door het uitsparen van links door optimale routing van MT calls. In de kosten voor de scenario's 2 en 4 zijn de kosten van implementatie van MAP in de evkcs voor HLR ondervraging niet meegenomen. Het te behalen voordeel van implementatie van de GMSC functie in evkcs zal derhalve slechts zeer klein zijn. Wordt daar tegenover de vergroting van de complexiteit van het SS7/MAP subsysteem gesteld, dan volgt dat de scenario's 2 en 4 niet gevolgd moeten worden.

De verschillen in kosten tussen de scenario's 1 en 3 respectievelijk 2 en 4 bedragen, afhankelijk van het aantal MSC-areas, 8 tot 23 en 3 tot 14 mln. Het verschil tussen het minimum in de kosten voor scenario 1 (4 MSCs) en voor scenario 3 (6 MSCs) is ongeveer 17 mln. De besparing wordt met name veroorzaakt door het uitsparen van de evkc doorgangen van de evkcs waarbij de MSCs geplaatst zijn in de scenario's 1 en 2.

In Tab. 4 worden, gesplitst naar het aantal MSC-areas en naar scenario, de drie meest optimale, verschillende sets van MSC posities weergegeven. In de tabel zijn eveneens de genormeerde kosten van een binnen de aangegeven set van MSC posities optimale architectuur aangegeven.

Tab. 4 Overzicht van de optimale posities van MSCs.

| Scenario: 1 | Genormeerde Kosten: | Centrale Posities: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------|--------------------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | | A m r | A s d | A h | B d | D v | E h v | G s | G v | G n | H l m | H g | H t l | L w | M t | N m | R t | U t | V l | Z |
| 4 | 1.00 | | x | | | | x | | | | | | | | | | | x | x | |
| 4 | 1.04 | | x | | | x | | | | | | | x | | | | | x | | |
| 4 | 1.05 | | | | | | | | x | | | | x | | | | | x | | |
| 5 | 1.00 | | | | | | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 5 | 1.02 | | | | | x | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 5 | 1.02 | | | x | | | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 6 | 1.00 | | | x | | | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 6 | 1.00 | | | | | x | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 6 | 1.01 | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | x | x | |
| 7 | 1.00 | | | x | x | | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 7 | 1.01 | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | x | x | |
| 7 | 1.02 | | | x | | | x | x | | | | | x | | | | | x | x | |

| Scenario: 2 | | Centrale Posities: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aantal MSC-areas: | Genor- meerde Kosten: | A | A | A | B | D | E | G | G | G | H | H | H | L | M | N | R | U | V | Z |
| | | m | s | h | d | v | h | s | v | n | l | g | t | w | t | m | t | t | l | l |
| 4 | 1.00 | | x | | | | x | | | | | | | | | | x | x | | |
| 4 | 1.03 | | | | | | | | | x | | | x | | | | x | | | x |
| 4 | 1.04 | | x | | | x | | | | | | | x | | | | x | | | |
| 5 | 1.00 | | | | | | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 5 | 1.01 | | | | | x | x | | x | | | | | | | | x | x | | |
| 5 | 1.03 | | | x | | | x | | x | | | | | | | | x | x | | |
| 6 | 1.00 | | | | | x | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 6 | 1.01 | | | | | x | x | | x | | | | x | | | | x | x | | |
| 6 | 1.01 | | | x | | | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 7 | 1.00 | | | | x | x | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 7 | 1.00 | | | x | x | | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 7 | 1.01 | | | | x | x | x | | x | x | | | | | | | x | x | | |

| Scenario: 3 | | Centrale Posities: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aantal MSC-areas: | Genor- meerde Kosten: | A | A | A | B | D | E | G | G | G | H | H | H | L | M | N | R | U | V | Z |
| | | m | s | h | d | v | h | s | v | n | l | g | t | w | t | m | t | t | l | l |
| 4 | 1.00 | | x | | | | x | | | | | | | | | | x | x | | |
| 4 | 1.02 | | | | | | x | | x | | | | | | | | x | x | | |
| 4 | 1.02 | | | | | | | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 5 | 1.00 | | | | | | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 5 | 1.01 | | | | | x | x | | x | | | | | | | | x | x | | |
| 5 | 1.02 | | | | | | x | | x | | | | x | | | | x | x | | |
| 6 | 1.00 | | | | | x | x | | x | x | | | | | | | x | x | | |
| 6 | 1.00 | | | | | x | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 6 | 1.00 | | | x | | | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 7 | 1.00 | | | | x | x | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 7 | 1.00 | | | x | x | | x | | x | | | | | | | | x | x | | x |
| 7 | 1.01 | | | | x | x | x | | x | | | | x | | | | x | x | | |

| Scenario: 4 | | Centrale Posities: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aantal MSC-areas: | Genor- meerde. Kosten: | A | A | A | B | D | E | G | G | G | H | H | H | L | M | N | R | U | V | Z |
| | | m | s | h | d | v | h | s | v | n | l | g | t | w | t | m | t | t | l | l |
| 4 | 1.00 | | x | | | | x | | | | | | | | | | | x | x | |
| 4 | 1.01 | | | | | | | | x | | | | | | | | | x | x | x |
| 4 | 1.01 | | | x | | | | | x | | | | | | | | | x | x | |
| 5 | 1.00 | | | | | | x | x | x | | | | | | | | | x | x | x |
| 5 | 1.02 | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | x | x | |
| 5 | 1.03 | | | | | | x | x | x | | | | x | | | | | x | x | |
| 6 | 1.00 | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | x | x | x |
| 6 | 1.00 | | | | | x | x | x | x | x | | | | | | | | x | x | |
| 6 | 1.00 | | | x | | | x | x | x | | | | | | | | | x | x | x |
| 7 | 1.00 | | | | x | x | x | x | x | | | | | | | | | x | x | x |
| 7 | 1.00 | | | x | x | | x | x | x | | | | | | | | | x | x | x |
| 7 | 1.01 | | | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | x | x | |

Uit de tabel blijkt dat bij een vast aantal MSC-areas architecturen met verschillende MSC posities mogelijk zijn, tegen een slechts geringe toename van de kosten. De optimale posities voor een vast aantal MSC-areas en scenario volgt uit de tabel. Een aantal locaties komt echter in alle scenario's en voor verschillende aantallen MSC-areas steeds weer terug:

Eindhoven
's-Gravenhage
Rotterdam
Utrecht

Naar mate het aantal MSC-areas toeneemt komen Zwolle en, in mindere mate, Deventer, meer voor als optimale positie.

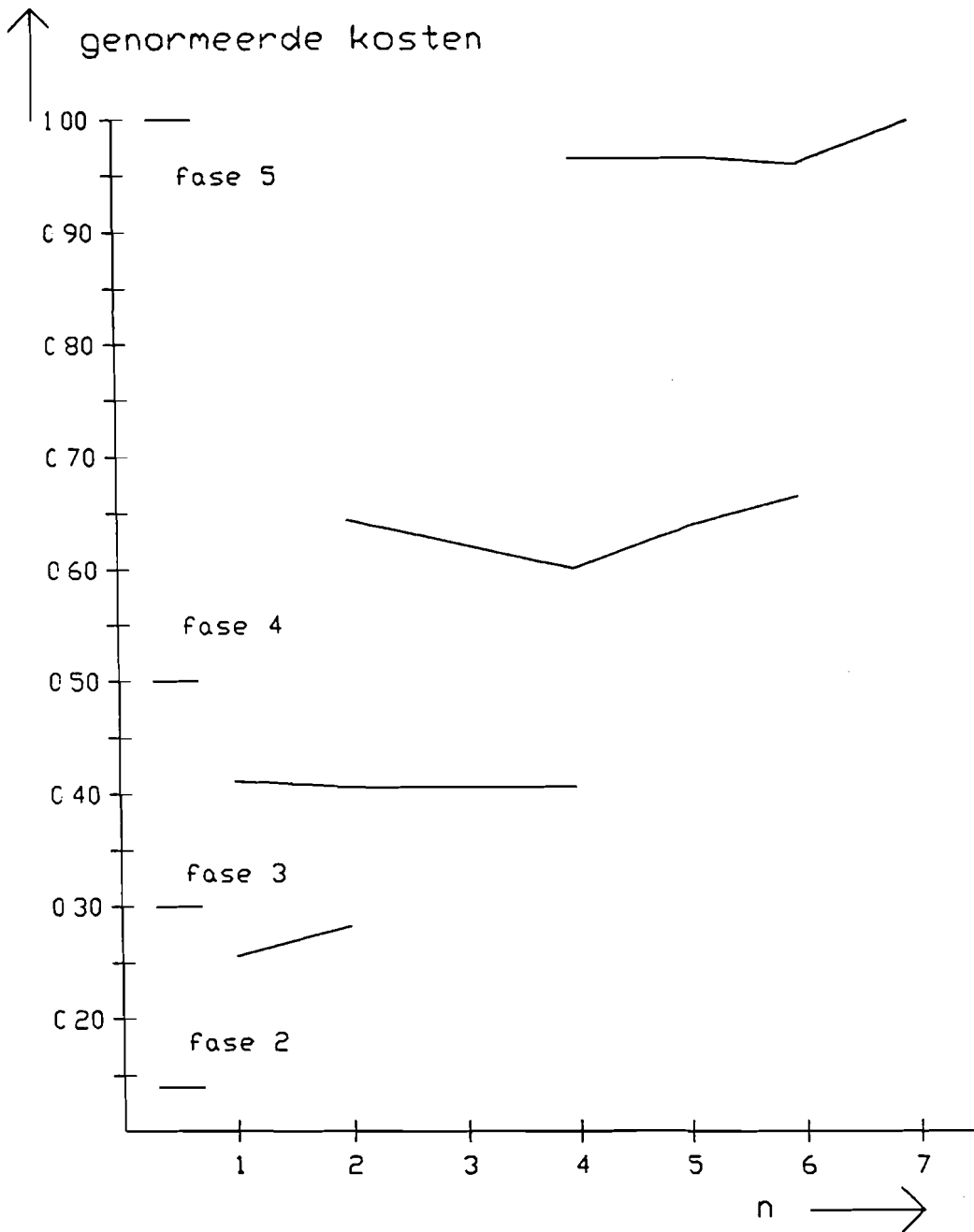
In App. E zijn de toekenningen van atf-2 basis stations aan MSCs voor de optimale architecturen weergegeven.

4.1.4.2 Evolutie gedurende de invoeringsfasen

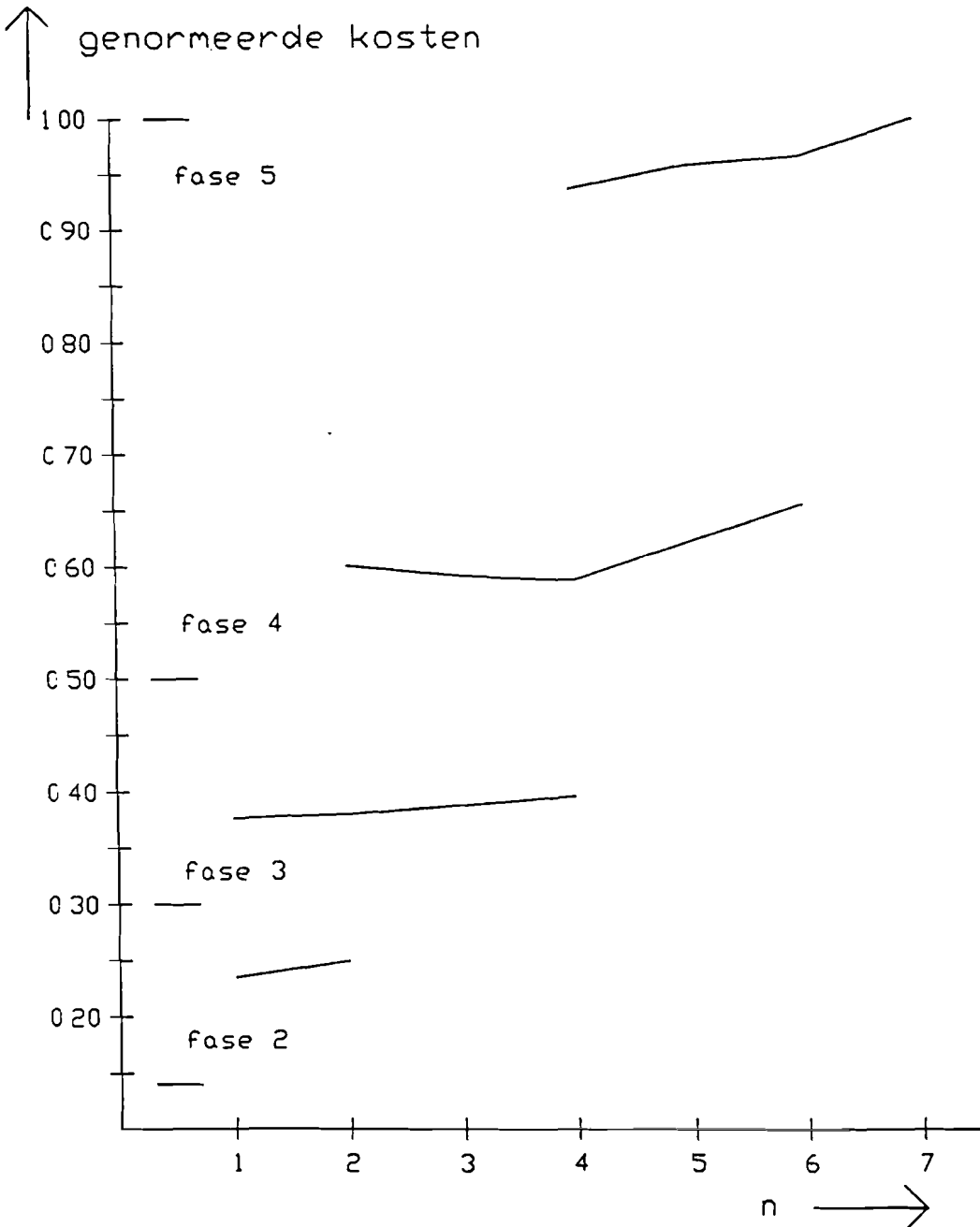
Deze paragraaf beschrijft de resultaten die zijn verkregen voor de invoeringsfasen 2C, 3B en 4 van atf-4.

In App. F is een overzicht opgenomen van de optimale posities voor MSCs in de verschillende fasen en scenario's. Eveneens zijn de genormeerde kosten aangegeven. Het beeld is hetzelfde als voor fase 5. Na de keuze van het optimale scenario en de optimale architectuur voor fase 5 kan aan de hand van de appendix het ideale evolutiepad worden bepaald door, binnen een scenario, uitgaande van de MSC posities in een fase de optimale architectuur te kiezen uit de voorafgaande fase waarvoor geldt dat de MSC posities een subset vormen van de posities in de latere fase.

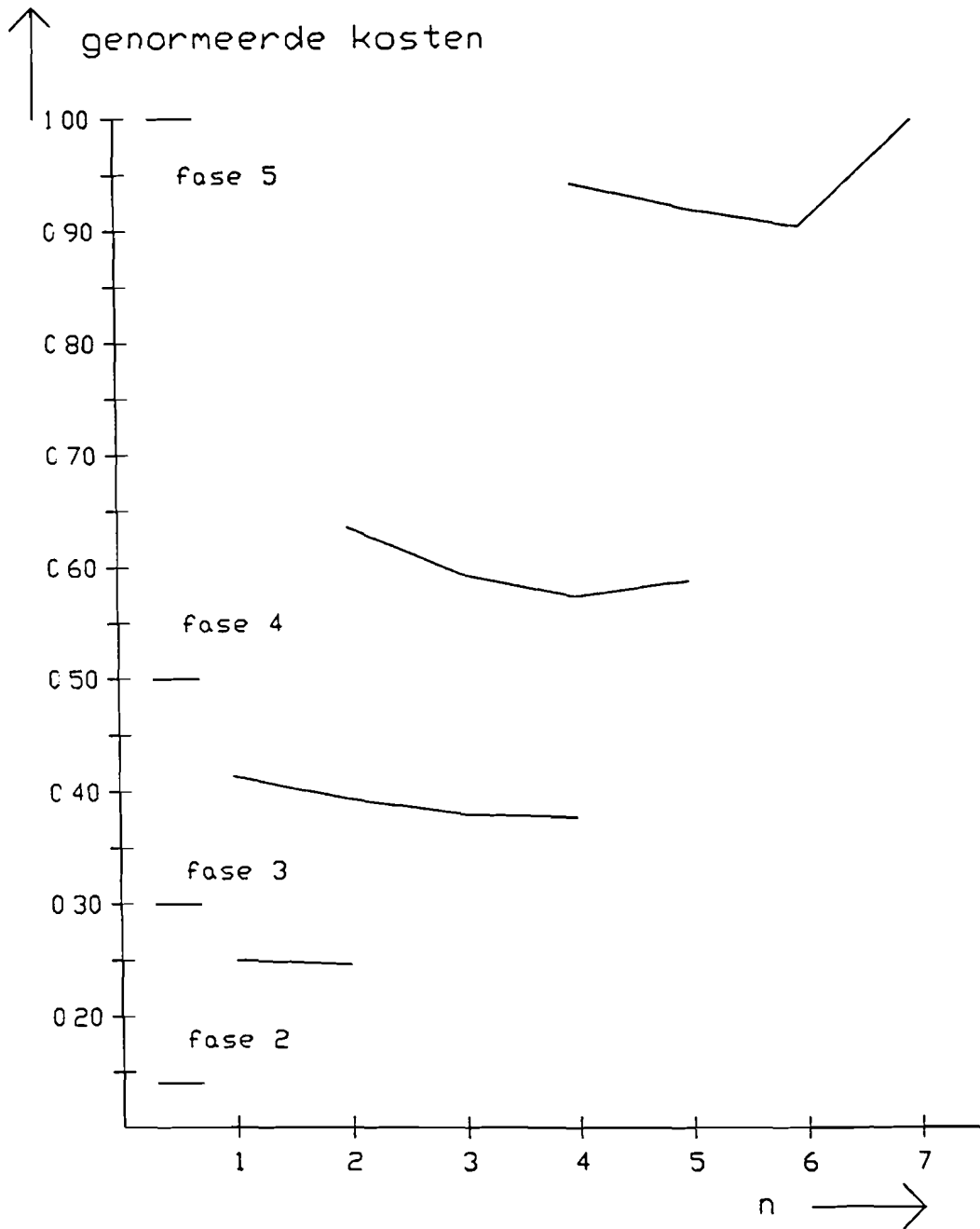
In Fig. 20 wordt per scenario een overzicht gegeven van het verloop van de genormeerde kosten van de optimale architectuur over de fasen als functie van het aantal MSCs. In de figuren is eveneens de daling van het verkeer over de fasen aangegeven. Deze daling is, ten gevolge van schaalvoordelen bij veel verkeer, groter dan de daling in de kosten.



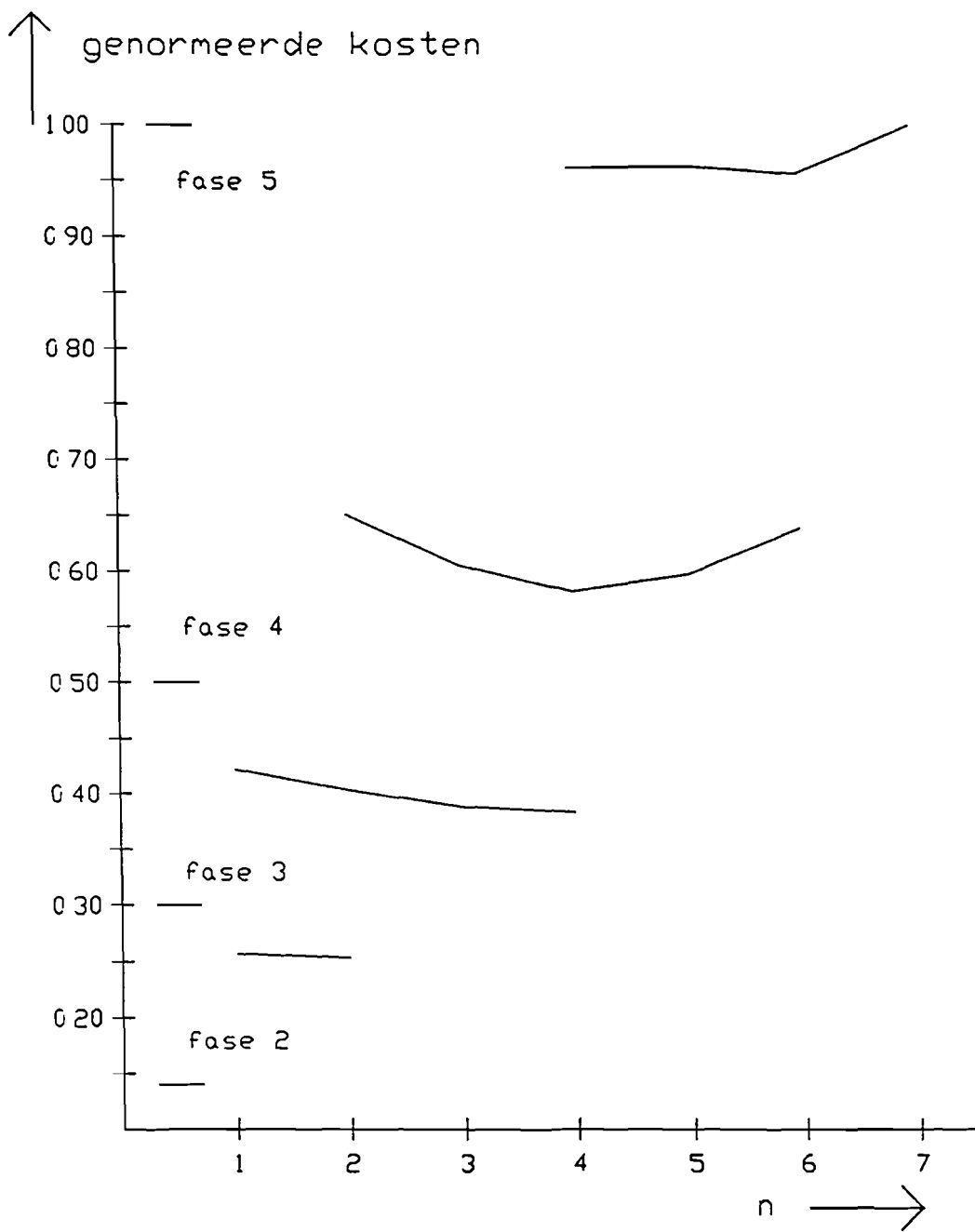
scenario 1



scenario 2



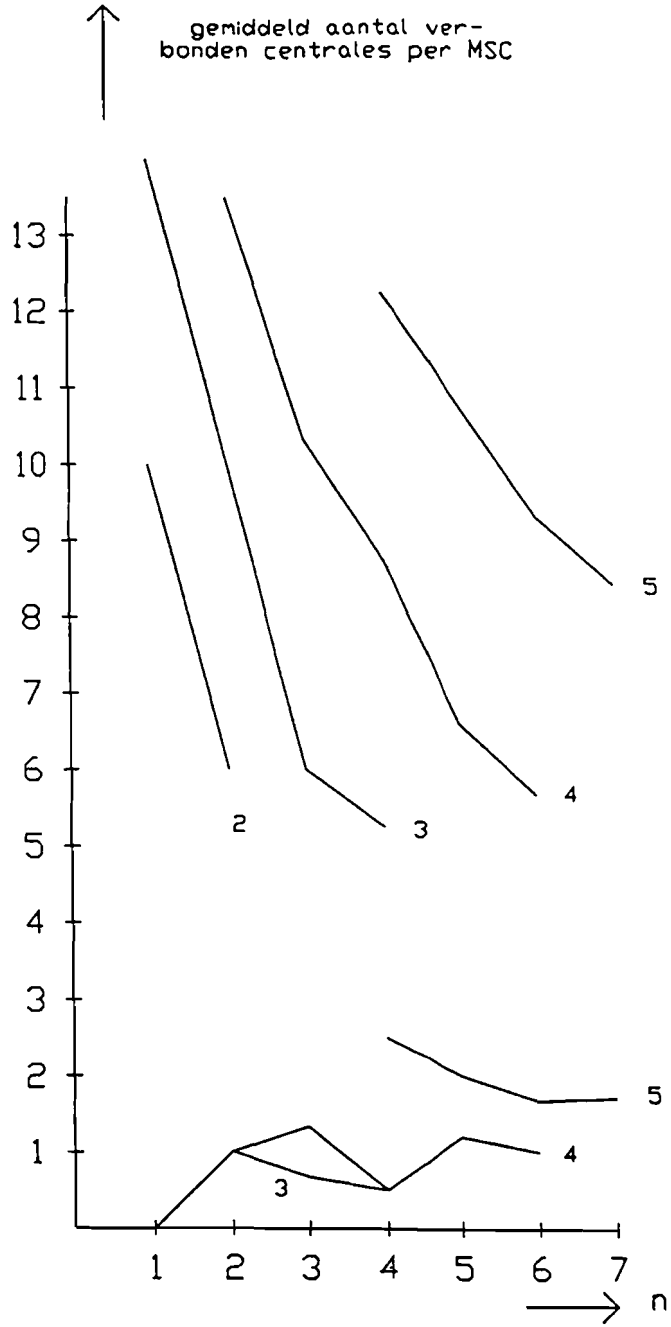
scenario 3



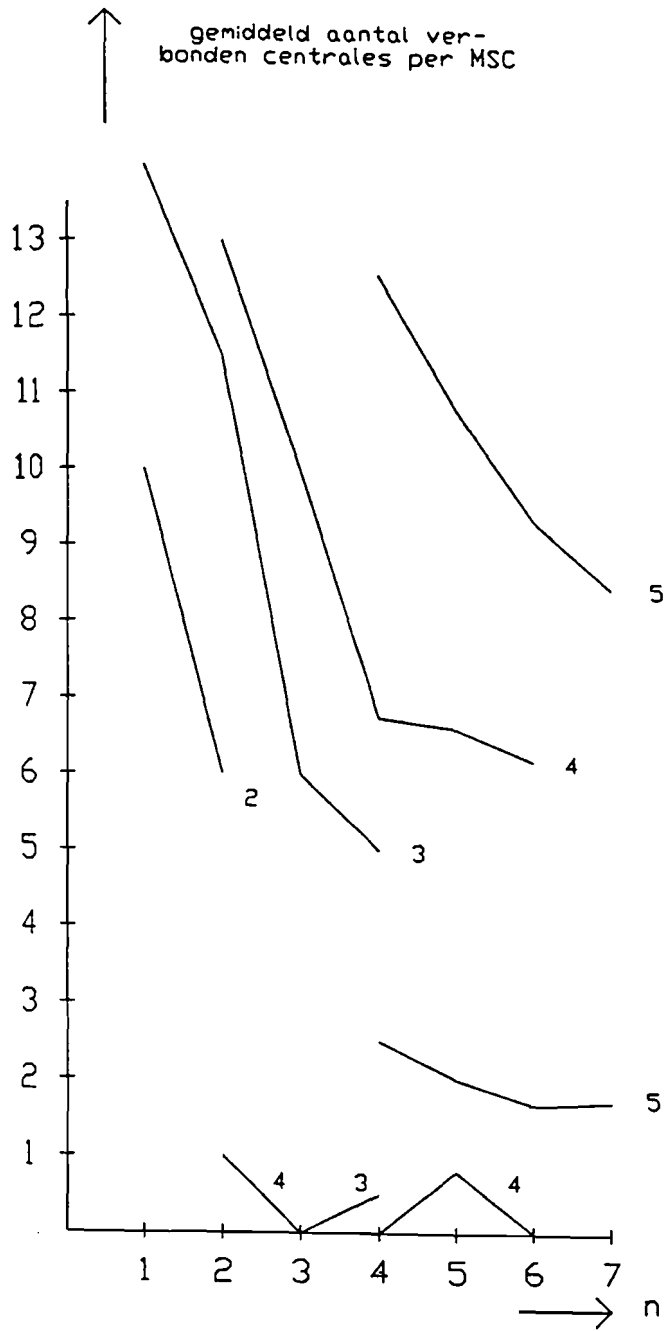
scenario 4

Fig. 20 De genormeerde kosten voor de invoeringsfasen van atf-4 uitgesplitst naar scenario.

In Fig. 21 wordt de ophanging van centrales in de scenario's 1 en 2 voor de fasen met elkaar vergeleken. Ten gevolge van een afname van het verkeer is het een een eerdere fase minder snel rendabel een link tussen een MSC en een evkc of een andere MSC aan te leggen:



scenario 1



scenario 2

Fig. 21 Ophanging van MSCs aan evkcs en MSCs voor de scenario's 1 en 2 in de verschillende fasen.

4.1.4.3 Prijsafhankelijkheid van de resultaten

Er moeten bij de bepaling van het aantal MSC areas drie keuzes gemaakt worden: het scenario, het aantal MSCs en de architectuur bij dat aantal MSCs. In deze paragraaf wordt nagegaan in hoeverre prijsveranderingen van invloed op die keuzes.

Het verschil in de kosten van de scenario's 1 en 2 respectievelijk 3 en 4 bevindt zich met name in de kosten van links in het LAAN, zie Fig. 18 nrs 2, 3 en 4, t.g.v. de verschillen in optimaliteit van de routing van MT calls. Het verschil bedraagt echter slechts enkele procenten van de totale kosten, zodat slechts een grote stijging van de link kosten in het LAAN of de mogelijkheid tot goedkope implementatie van de GMSC functie in de evkcs alsnog de scenario's 2 respectievelijk 4 aantrekkelijk kan maken.

Het verschil in de kosten van de scenario's 1 en 3 respectievelijk 2 en 4 bevindt zich met name in de kosten van MSCs (solitaire tegenover geïntegreerde MSCs), de doorgangen door de centrales waarbij MSCs geplaatst zijn in de scenario's 1 en 2 en links in het LAAN t.g.v. de optimale routing van MT calls door geïntegreerde MSCs/evkcs. De centrale doorgangen en het verschil in links vormen slechts een zeer klein deel van de totale kosten, zodat alleen grote prijsveranderingen van invloed zijn. T.a.v. de MSCs is sprake van verschillende entiteiten, zodat prijsveranderingen doorwerken met het totale aandeel dat MSCs in de kosten hebben. MSCs bepalen afhankelijk van het aantal en het scenario 5 tot 15% van de kosten van een architectuur. De verschil in totale kosten tussen de scenario's met en zonder integratie bedraagt nooit meer dan 10%, zodat (substantiële) wijzigingen in de verhouding van de kosten van geïntegreerde t.o.v. zelfstandige MSCs de keuze tussen de scenario's sterk kan beïnvloeden.

Er kan geconcludeerd worden dat alleen een (aanzienlijke) wijziging in de verhouding van de kosten van solitaire en geïntegreerde MSCs aanleiding kan zijn een ander scenario te kiezen.

Uit Fig. 18 blijkt de verandering van het aandeel van de kostenposten in de totale kosten bij wijziging van het aantal MSC-areas. De posten 2, 3 en 4 uit figuur geven alle verbindingen in het LAAN aan en moeten dus worden opgeteld. grootste gradiënten worden gevonden bij de links in het RSS en de MSCs, een kleinere bij de centrale doorgangen. De verschillen in het belang van een grootte voor verschillende aantallen MSCs zijn nergens groter dan 5% over het volledige spectrum. Aangezien de optima in de kosten, zie Fig. 17, echter relatief vlak zijn, kan een prijswijziging keuze voor een ander aantal MSCs noodzakelijk maken.

De derde keuze bij de bepaling van de optimale architectuur betreft de keuze van een verdeling van het land binnen een scenario en bij een vast aantal MSC-areas. In Tab. 5 zijn de verhoudingen van de totale kosten weergegeven van de meest optimale architecturen voor en na prijsverandering voor de scenario's 1 en 4 en een vast aantal MSC-areas n . De verandering van de prijzen van de verschillende grootheden wordt aangegeven met de factor f . De architecturen, aangegeven door een nummer, worden in deze tabel als verschillend beschouwd, indien de positie van MSCs verschillen. Er wordt dus geen rekening gehouden met verschillen in toekenning van gebieden (atf-2 basis stations) aan MSCs. Prijsveranderingen van

MSCs worden buiten beschouwing gelaten omdat bij een vast aantal MSC-areas de MSC kosten nagenoeg onafhankelijk zijn van de verdeling.

Tab. 5 Invloed van prijsveranderingen op de keuze van een architectuur bij vast scenario en vast aantal MSC-areas.

Scenario: 1

| | f | n=4 | n=5 | n=6 | n=7 |
|------------------------------|-----|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| basis prijzen (App. D) | | 12 158 1.042 51 1.045 | 26 77 1.021 45 1.024 | 2 15 1.004 13 1.010 | 2 34 1.008 6 1.021 |
| verb. RSS | 3/2 | 12 51 1.039 | 26 36 1.029 | 2 15 1.004 | 2 13 1.007 |
| verb. RSS | 2/3 | 12 158 1.044 | *2 77 1.016 | 2 15 1.005 | 2 34 1.006 |
| verb. LAAN | 3/2 | 12 106 1.052 | *2 3 1.008 | 4 *17 1.002 | 2 34 1.008 |
| verb. LAAN | 2/3 | 12 47 1.032 | *21 36 1.027 | 2 15 1.011 | *7 13 1.006 |
| evkc doorg. | 3/2 | 12 47 1.042 | *21 36 1.021 | 2 102 1.013 | *7 34 1.005 |
| evkc doorg. | 2/3 | 12 106 1.043 | 26 36 1.014 | *17 4 1.005 | 2 34 1.007 |
| MSC term. | 3/2 | 12 158 1.039 | 26 36 1.012 | 13 15 1.001 2 1.002 | 2 34 1.014 |
| MSC term. | 2/3 | 12 158 1.045 | *2 77 1.019 | 2 15 1.004 | 2 34 1.008 |

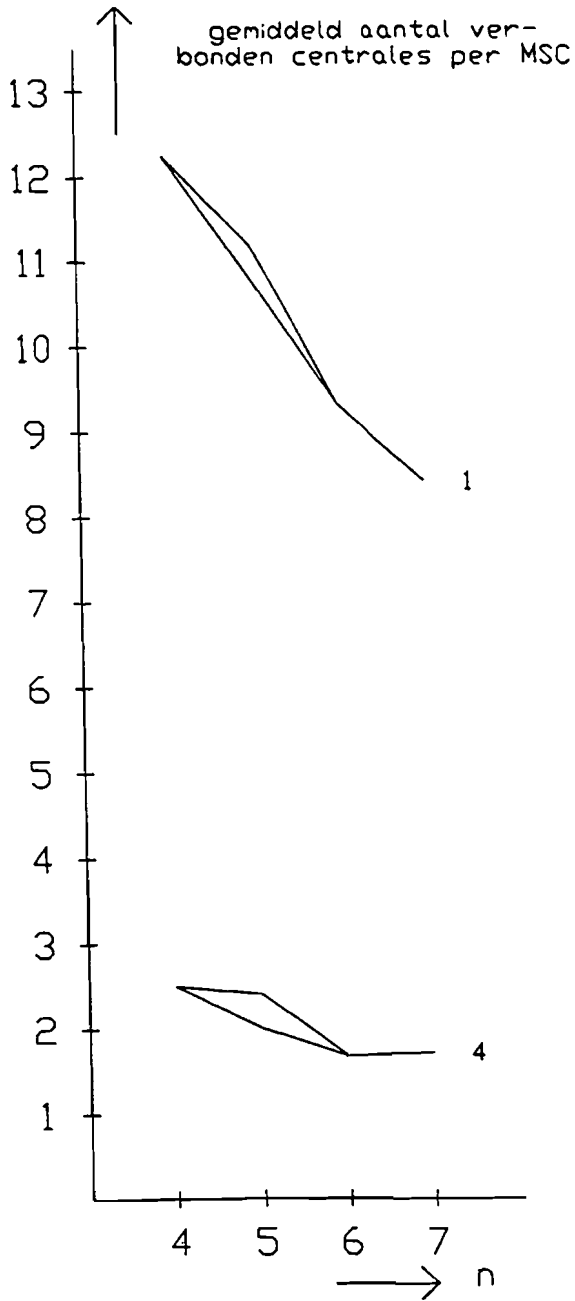
Scenario: 4

| | f | n=4 | n=5 | n=6 | n=7 |
|------------------|-----|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| basis prijzen | | 12 23 1.009 32 1.011 | 21 4 1.018 0 1.027 | 15 13 1.000 197 1.005 | 34 9 1.003 0 1.008 |
| verb. RSS | 3/2 | 12 23 1.018 | 21 27 1.027 | 15 126 1.004 | *13 9 1.000 |
| verb. RSS | 2/3 | 32 12 1.000 | *35 4 1.010 | 13 15 1.005 | *46 78 1.006 |
| verb. LAAN | 3/2 | 32 23 1.000 12 1.004 | *35 4 1.011 | 13 15 1.005 | *46 78 1.006 |
| verb. LAAN | 2/3 | 12 23 1.020 | 21 27 1.025 | 15 126 1.003 | 9 *13 1.001 |
| evkc doorg. | 3/2 | 12 23 1.010 | 21 4 1.018 | 13 15 1.000 | 34 9 1.002 |
| evkc doorg. | 2/3 | 12 23 1.007 | 21 4 1.018 | 15 13 1.000 | 34 9 1.004 |
| MSC term. | 3/2 | 12 23 1.011 | 21 4 1.017 | 13 15 1.000 | 34 9 1.002 |
| MSC term. | 2/3 | 12 23 1.007 | 21 27 1.018 | 15 13 1.000 | 34 9 1.004 |
| evkc term. | 3/2 | 12 23 1.008 | 21 4 1.018 | 15 13 1.000 | 34 9 1.003 |
| evkc term. | 2/3 | 12 23 1.009 | 21 4 1.018 | 13 15 1.000 | 34 9 1.003 |

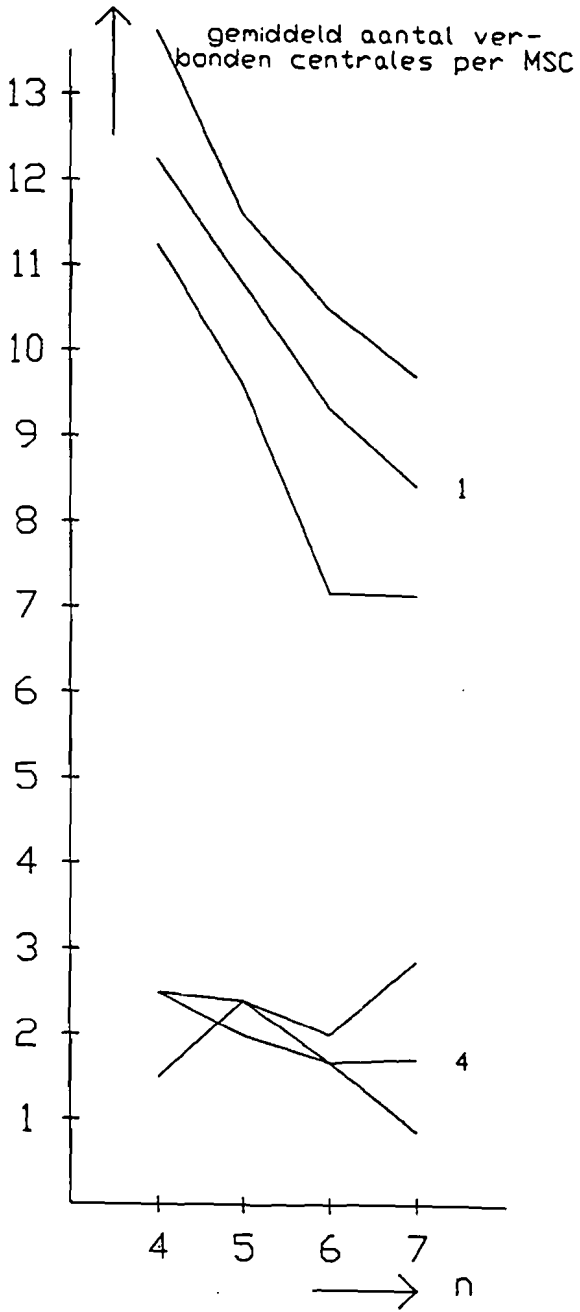
*: Verdeling met dezelfde MSC-posities als de optimale verdeling voor prijsverandering.

Hoewel de tabel slechts betrekking heeft op de scenario's 1 en 4 kan aangenomen worden dat de conclusies voor de andere scenario's gelijkloidend zijn.

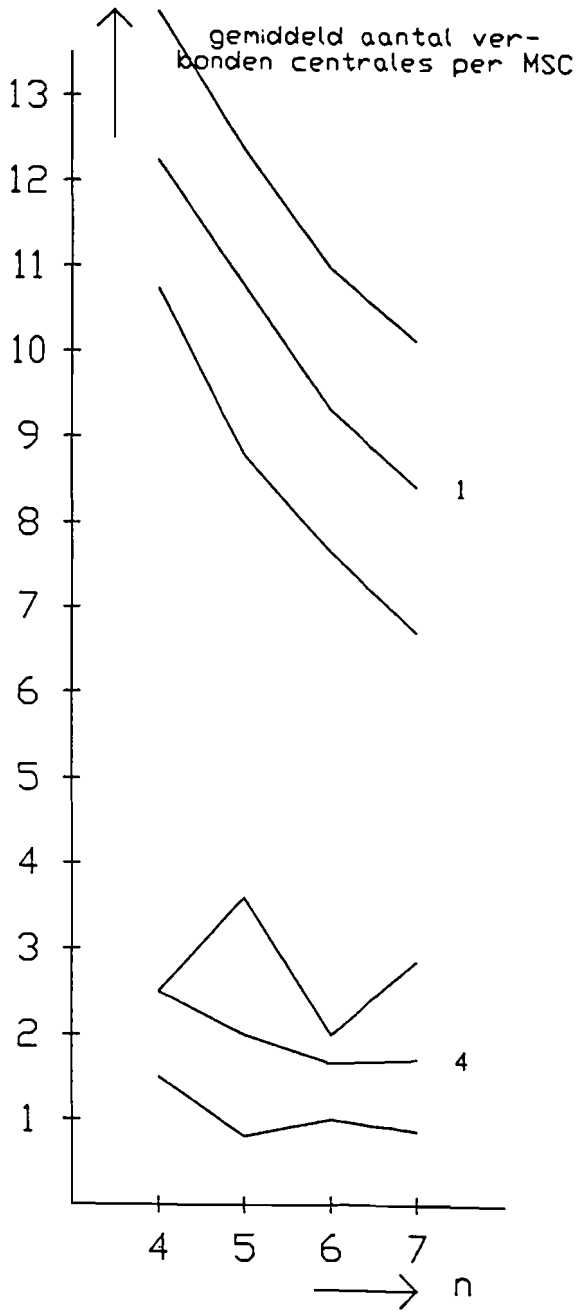
In Fig. 22 is de invloed van prijsveranderingen met een factor $2/3$ en $3/2$ op de ophanging van MSCs in scenario 1 weergegeven.



verbindingen in het RSS



verbindingen in het LAAN



evkc doorgangen

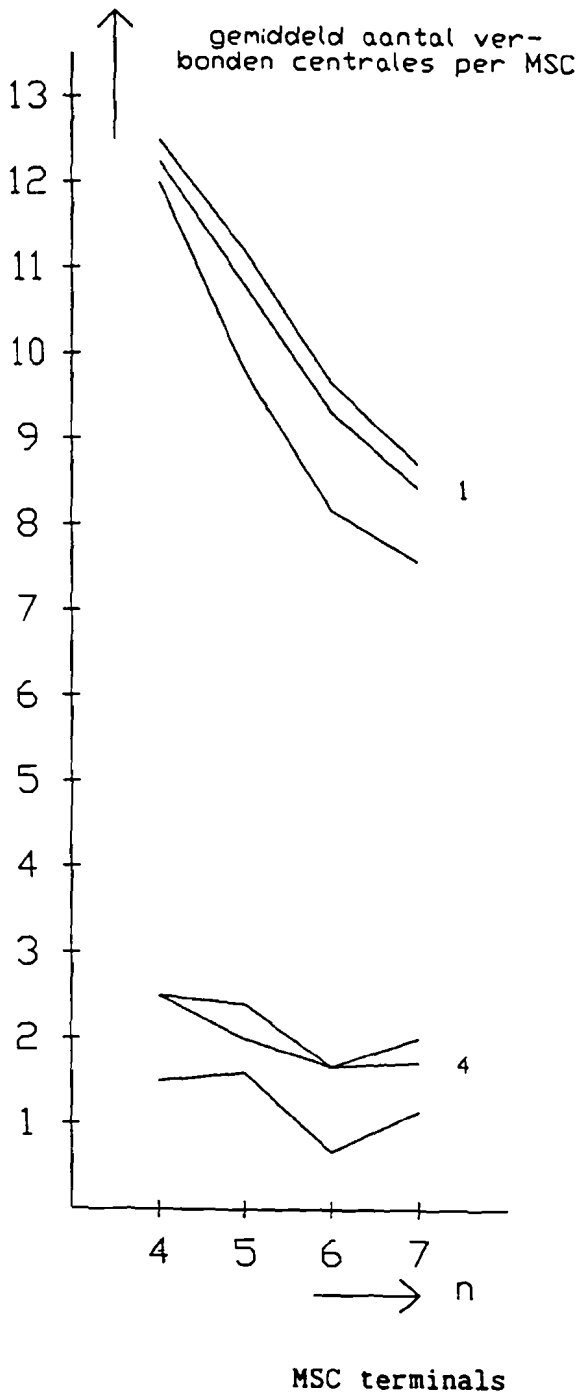


Fig. 22 Invloed van prijsverandering met een factor $2/3$ en $3/2$ op de ophanging van MSCs in scenario 1 t.o.v. de standaardprijzen.

Uit de figuur blijkt dat het aantal verbonden centrales onder invloed van prijsverandering in overeenstemming met de verwachting, namelijk zodanig dat de totale kosten minimaal zijn, verandert. De verbindingen in het RSS blijken hier geen rol van betekenis te spelen. In het algemeen is de verandering gering; nooit meer dan één centrale.

Concluderend kan worden gesteld dat de derde keuze slechts in zeer geringe mate beïnvloed wordt door aanzienlijke prijsveranderingen.

4.2 Optimalisatie MAP signalering

In deze paragraaf wordt ingegaan op de optimalisatie van het SS7/MAP subsysteem. Dit subsysteem wordt voor een groot deel ingevuld door de verkeersnet-architectuur, die aantal en plaats van de geïntegreerde entiteiten MSC, VLR en EIR en de indeling van het land in MSC-areas vastlegt, en de randvoorwaarden die aan het SS7 netwerk gesteld worden. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de mogelijke variaties in architectuur, het optimalisatieproces en de resultaten.

4.2.1 Scenario's voor het SS7/MAP subsysteem

De belangrijkste eisen die aan het SS7 systeem gesteld worden zijn betrouwbaarheid, snelheid en lage kosten [13]. De Signalling Points (SPs) in het SS7 net worden verdeeld in Signalling End Points (SEPs), die alleen bron- en bestemmingsverkeer verwerken, en Signalling Transfer Points (STPs), die ook verkeer doorvoeren. Komen in een signaleringsverbinding geen STPs voor, dan wordt de verbinding geassocieerd genoemd, in het andere geval quasi geassocieerd. Een geassocieerde verbinding bestaat uit een linkset, die weer is opgebouwd uit links. De te stellen eisen kunnen worden vertaald in een aantal randvoorwaarden voor de architectuur:

- Tussen SPs in het LAAN zijn minstens drie transmissietechnisch onafhankelijke verbindingen vereist.
- Een SEP is met minimaal twee STPs verbonden.
- Het aantal STPs in een verbinding moet zo klein mogelijk zijn (maximaal 5).

In het LAAN kan de onafhankelijkheid van links tussen twee transmissiepunten, A en B, gegarandeerd worden, echter niet tussen twee paren van transmissiepunten, A en B en A en C. In [13] wordt aangetoond dat met zeer grote waarschijnlijkheid voldaan wordt aan de eerste randvoorwaarde indien er tussen SPs drie signaleringsroutes zijn, waarbij de SS7 linksets tussen twee SPs bestaan uit twee signaleringslinks.

Een geassocieerde verbinding is altijd optimaler dan een quasi geassocieerde indien er voldoende verkeer is om de geassocieerde verbinding volledig te bezetten. Op grond van de randvoorwaarden moet, indien tussen twee SPs alleen geassocieerde verbindingen bestaan, de betreffende linkset minstens drie transmissie technisch onafhankelijk links herbergen.

In geval van integratie van MSCs met evkcs (scenario's 3 en 4) zal de signalering voor ISUP via de t.b.v. het vaste net ontworpen structuur verlopen. In geval van het plaatsen van MSCs bij evkcs (scenario's 1 en 2) is er geen reden van het patroon dat voor het vaste net geldt af te wijken en zullen de MSCs dus twee- of zesvoudig aan evkcs, itncs of de btcd worden opgehangen, in overeenstemming met de verkeerstechnische ophanging en afhankelijk van het verkeersaanbod. Dit komt overeen met plaatsing van MSCs op een van de twee middelste niveaus van het SS7 net.

Ten aanzien van het SS7/MAP subsysteem dienen twee fundamentele keuzes gemaakt te worden. Er kan besloten worden voor MAP gebruik te maken van de aanwezige "ISUP" links, die t.b.v de betrouwbaarheid in veel gevallen overgedimensioneerd zijn zodat een hoger rendement bereikt kan worden, of van speciaal tussen de MSCs aan te leggen links, met een eenvoudige structuur en snelheid als voordelen.

Een tweede keuze betreft het aantal HLRs. Integratie van een HLR met elk MSC biedt het voordeel van een interne interface tussen een MSC en zijn HLR. Keuze voor één HLR biedt het voordeel met één implementatie in het hele systeem te kunnen volstaan. Een beperkt aantal HLRs als derde mogelijkheid wordt niet in overweging genomen, omdat dan t.o.v. één HLR een aantal extra implementaties gevraagd wordt, terwijl de te behalen winst, kortere links, slechts gering is. Het HLR moet goed bereikbaar zijn vanuit de MSCs en in de scenario's 2 en 4, waarin de GMSC functie aan evkcs is toegekend, ook vanuit de evkcs. De optimale ophanging van het HLR is afhankelijk van de hoeveelheid verkeer. Er is een uitwisseling mogelijk tussen een kleiner rendement op links en STP doorgangen.

De invulling van de parameter koppeling in het SSS (plaatsen van MSCs bij evkcs of integratie met evkcs) heeft geen invloed op de bovenstaande overwegingen.

Er kunnen een viertal scenario's geformuleerd worden voor het SS7/MAP subsysteem die verschillen in link architectuur en aantal HLRs:

Scenario a:

Integratie van een HLR met elk MSC. MAP signalering volgens de bestaande SS7 architectuur.

Scenario b:

Één HLR voor het totale systeem. MAP signalering volgens de bestaande SS7 architectuur.

Scenario c:

Integratie van een HLR met elk MSC. MAP signalering via inter MSC links.

Scenario d:

Één HLR voor het totale systeem. MAP signalering via inter MSC links.

Het vervolg vergelijkt de vier SS7/MAP scenario's uitgaande van de optimale SSS architecturen voor vier tot en met zeven MSC-areas in scenario 1 voor fase 5. Bijna alle MSCs (alle behalve een MSC bij de evkc Breda voor de architectuur met zeven MSC-areas) worden in die architecturen geplaatst bij een evkc die in het SS7/ISUP subsysteem deel uitmaakt van niveau 4. MSCs worden in overeenstemming met de architectuur voor de signalering in het vaste net t.b.v. SS7/ISUP in principe opgehangen aan de zes evkcs waarmee zij het meeste verkeer hebben.

In de scenario's a en b zal het signaleringsverkeer tussen MSCs t.b.v. MAP via een evkc-STP over de kortste, bestaande weg lopen. In scenario b zal het HLR met in acht neming van de betrouwbaarheidsregels aan minstens drie evkc-STPs

gekoppeld worden, behalve indien er zoveel verkeer tussen de MSCs/VLRs/EIRs en het HLR is, dat directe ophanging aan de MSCs optimaler is. In de scenario's c en d wordt als inter MSC net een aan het SS7/ISUP subsysteem, zie Par. 3.2.1, gelijkvormige architectuur gekozen. Er wordt uitgegaan van het minimaal benodigde aantal van drie vermaasde MSCs als ruggegraat net. Om de vereiste betrouwbaarheid van de signalering te halen vindt tussen dit vermaasde drietal alleen geassocieerde routing plaats, hetgeen minstens drie onafhankelijke links tussen deze MSCs nodig maakt. Om rondlopende berichten in foutsituaties te voorkomen zijn maatregelen in de routing en dimensionering vereist. Er wordt geëist dat, bij uitval van de link tussen één van de vermaasde MSCs en een niet vermaasde MSCs, het signaleringsverkeer altijd gerouteerd wordt via een aan de niet vermaasde MSC toegekende vermaasde MSC. Omdat het aantal signaleringsroutes hierdoor beperkt wordt, moet de bijbehorende linkset uit minstens drie onafhankelijke links bestaan. Elke vierde en volgende MSC wordt in principe door middel van een linkset bestaande uit minstens twee links opgehangen aan twee vermaasde MSCs en met een minstens uit drie links bestaande linkset aan de derde vermaasde MSC. Het HLR zal geplaatst worden bij een van de drie vermaasde MSCs en met minstens twee links per linkset worden opgehangen aan de overige vermaasde MSCs. Indien er voldoende verkeer is, kan het HLR met alle MSCs worden gekoppeld.

Bij de keuze van de MSCs die het ruggegraat net vormen moet gestreefd worden naar een minimum kosten aan verbindingen, hetgeen overeenkomt met centrale ligging binnen de totale set van MSCs, en een maximum in de hoeveelheid geassocieerde signalering.

In het vervolg wordt geen rekening gehouden met de MAP signalering die met het buitenland wordt uitgewisseld. Afhankelijk van de hoeveelheid verkeer kan het wenselijk zijn de itncs volgens de betrouwbaarheidsregels te koppelen aan de MSCs en het HLR.

4.2.2 Optimalisatieproces

Het optimalisatie proces wordt ondersteund door een programma systeem [20 aangepaste versie] dat op basis van een door de gebruiker ingevoerde architectuur het signaleringsverkeer tussen signaleringspunten berekent. Het systeem is gebaseerd op gegevens van atf-2 [19]. Het kent tekortkomingen in het feit dat location areas beschreven moeten worden in termen van atf-2 basis station en dat het signaleringsverkeer met het buitenland niet in beschouwing wordt genomen. De bepaling van het signaleringsverkeer is gebaseerd op een groot aantal architectuur onafhankelijke en architectuur afhankelijke parameters, die het gedrag van de abonnee beschrijven.

Als waarden voor de architectuur onafhankelijke parameters zijn de default waarden van het systeem genomen. In Tab. 6 zijn de architectuur afhankelijke parameters opgenomen en is aangegeven hoe hun waarden kunnen worden afgeleid uit het optimalisatie systeem voor het SSS.

Tab. 6 Overzicht van de architectuur afhankelijke parameters van het systeem voor de berekening van het signaleringsverkeer tussen MAP entiteiten.

| Parameter: | Betekenis: | Bron: |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RHLR | De fractie van de MSs in een MSC-area die afkomstig is van een bepaald HLR. | Programma's FACTHLR en FACTGEENHLR. Zie App. B. |
| RHLRB | De fractie van de grensoverschreidingen tussen MSC-areas door MSCS uit een bepaald HLR. | RHLRB wordt gelijk verondersteld aan RHLR van de MSC-area waar het MS vandaankomt. |
| RMSIN | De fractie van het totale aantal grensoverschreidingen dat de betreffende MSC-area uit is gericht. | 0.5 |
| RHO | De fractie van de verbindingen die door een MSC worden doorgegeven aan een andere MSC. | Deze fractie wordt gelijk verondersteld aan de verhouding van het aantal interne en externe grensoverschreidingen. [20, programma "LISTFIG"] |
| RMTGMSC | De fractie van het totale aantal MT set ups dat door een GMSC wordt verwerkt. | Programma's FACTHLR en FACTGEENHLR. |
| RCRGMSC | De fractie van het totale aantal door een GMSC verwerkte MT set ups dat voor een MSC bestemd is. | Programma's FACTHLR en FACTGEENHLR. |

De kosten in het SS7/MAP subsysteem worden bepaald door de GSM entiteiten VLR, HLR en EIR, links en SS7 terminals.

Op grond van de bepaalde signaleringsstromen en de regels voor de architecturen zoals die zijn opgesteld in Par. 4.2.1 kunnen vervolgens handmatig de kosten van een architectuur bepaald worden.

4.2.3 Resultaten

In Tab. 7 is een overzicht opgenomen van de resultaten van de berekening van het signaleringsverkeer voor de optimale architecturen in scenario 1. Naast het verkeer wordt ook het aantal links vermeld dat bij een maximaal rendement van 20% voor het verkeer nodig is.

Tab. 7 Hoeveelheden signaleringsverkeer in kbit/s t.b.v. MAP voor de optimale architectuur in scenario 1.

4 MSCs

Scenario a en c:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|--------------|----------|---------------|
| Asd <--> Rt | 45.33 | 4 |
| Asd <--> Ut | 99.24 | 8 |
| Asd <--> Ehv | 10.72 | 1 |
| Rt <--> Ut | 68.43 | 6 |
| Rt <--> Ehv | 62.89 | 5 |
| Ut <--> Ehv | 70.83 | 6 |

Scenario b en d:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|--------------|----------|---------------|
| Asd <--> Rt | 17.93 | 2 |
| Asd <--> Ut | 25.17 | 2 |
| Asd <--> Ehv | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Ut | 5.53 | 1 |
| Rt <--> Ehv | 9.44 | 1 |
| Ut <--> Ehv | 15.40 | 2 |
| Asd <--> HLR | 141.09 | 11 |
| Rt <--> HLR | 256.95 | 20 |
| Ut <--> HLR | 164.83 | 13 |
| Ehv <--> HLR | 228.81 | 18 |

5 MSCs

Scenario a en c:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|-------------|----------|---------------|
| Gv <--> Rt | 59.61 | 5 |
| Gv <--> Ehv | 17.05 | 2 |
| Gv <--> Zl | 39.16 | 3 |
| Gv <--> Ut | 72.65 | 6 |
| Rt <--> Ehv | 60.60 | 5 |
| Rt <--> Zl | 23.67 | 2 |
| Rt <--> Ut | 51.71 | 4 |
| Ehv <--> Zl | 63.83 | 5 |
| Ehv <--> Ut | 70.78 | 6 |
| Zl <--> Ut | 98.57 | 8 |

Scenario b en d:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|--------------|----------|---------------|
| Gv <--> Rt | 29.40 | 3 |
| Gv <--> Ehv | 0.00 | 0 |
| Gv <--> Zl | 5.31 | 1 |
| Gv <--> Ut | 16.03 | 2 |
| Rt <--> Ehv | 9.63 | 1 |
| Rt <--> Zl | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Ut | 6.08 | 1 |
| Ehv <--> Zl | 9.56 | 1 |
| Ehv <--> Ut | 13.05 | 1 |
| Zl <--> Ut | 8.27 | 1 |
| Gv <--> HLR | 162.51 | 13 |
| Rt <--> HLR | 255.95 | 20 |
| Ehv <--> HLR | 300.46 | 24 |
| Zl <--> HLR | 408.82 | 32 |
| Ut <--> HLR | 310.10 | 25 |

6 MSCs

Scenario a en c:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|-------------|----------|---------------|
| Gv <--> Rt | 62.81 | 5 |
| Gv <--> Ehv | 16.18 | 2 |
| Gv <--> Ah | 19.50 | 2 |
| Gv <--> Zl | 38.58 | 3 |
| Gv <--> Ut | 95.29 | 8 |
| Rt <--> Ehv | 63.44 | 5 |
| Rt <--> Ah | 20.07 | 2 |
| Rt <--> Zl | 15.73 | 2 |
| Rt <--> Ut | 78.67 | 7 |
| Ehv <--> Ah | 57.65 | 5 |
| Ehv <--> Zl | 14.96 | 2 |
| Ehv <--> Ut | 22.52 | 2 |
| Ah <--> Zl | 80.86 | 7 |
| Ah <--> Ut | 64.81 | 5 |
| Zl <--> Ut | 82.57 | 7 |

Scenario b en d:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|--------------|----------|---------------|
| Gv <--> Rt | 29.40 | 3 |
| Gv <--> Ehv | 0.00 | 0 |
| Gv <--> Ah | 0.00 | 0 |
| Gv <--> Zl | 5.49 | 1 |
| Gv <--> Ut | 15.49 | 2 |
| Rt <--> Ehv | 9.62 | 1 |
| Rt <--> Ah | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Zl | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Ut | 5.79 | 1 |
| Ehv <--> Ah | 11.29 | 1 |
| Ehv <--> Zl | 0.00 | 0 |
| Ehv <--> Ut | 4.19 | 1 |
| Ah <--> Zl | 11.76 | 1 |
| Ah <--> Ut | 12.55 | 1 |
| Zl <--> Ut | 6.23 | 1 |
| Gv <--> HLR | 205.42 | 16 |
| Rt <--> HLR | 308.44 | 24 |
| Ehv <--> HLR | 310.04 | 25 |
| Ah <--> HLR | 294.57 | 23 |
| Zl <--> HLR | 363.04 | 29 |
| Ut <--> HLR | 333.27 | 26 |

7 MSCs

Scenario a en c:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|-------------|----------|---------------|
| Gv <--> Rt | 60.07 | 5 |
| Gv <--> Bd | 16.63 | 2 |
| Gv <--> Ehv | 22.02 | 2 |
| Gv <--> Ah | 19.16 | 2 |
| Gv <--> Zl | 51.41 | 4 |
| Gv <--> Ut | 123.47 | 10 |
| Rt <--> Bd | 63.51 | 5 |
| Rt <--> Ehv | 25.58 | 2 |
| Rt <--> Ah | 17.57 | 2 |
| Rt <--> Zl | 26.60 | 2 |
| Rt <--> Ut | 104.45 | 9 |
| Bd <--> Ehv | 78.19 | 7 |
| Bd <--> Ah | 26.58 | 2 |
| Bd <--> Zl | 11.35 | 1 |
| Bd <--> Ut | 63.70 | 5 |
| Ehv <--> Ah | 67.55 | 6 |
| Ehv <--> Zl | 23.77 | 2 |
| Ehv <--> Ut | 40.43 | 4 |
| Ah <--> Zl | 94.81 | 8 |
| Ah <--> Ut | 69.61 | 6 |
| Zl <--> Ut | 111.74 | 9 |

Scenario b en d:

| Entiteiten: | Verkeer: | Aantal links: |
|-------------|----------|---------------|
| Gv <--> Rt | 28.89 | 3 |
| Gv <--> Bd | 0.00 | 0 |
| Gv <--> Ehv | 0.00 | 0 |
| Gv <--> Ah | 0.00 | 0 |
| Gv <--> Zl | 5.49 | 1 |
| Gv <--> Ut | 15.49 | 2 |
| Rt <--> Bd | 16.12 | 2 |
| Rt <--> Ehv | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Ah | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Zl | 0.00 | 0 |
| Rt <--> Ut | 5.68 | 1 |
| Bd <--> Ehv | 18.43 | 2 |
| Bd <--> Ah | 4.86 | 1 |
| Bd <--> Zl | 0.00 | 0 |
| Bd <--> Ut | 4.42 | 1 |
| Ehv <--> Ah | 10.33 | 1 |
| Ehv <--> Zl | 0.00 | 0 |
| Ehv <--> Ut | 0.00 | 0 |
| Ah <--> Zl | 10.84 | 2 |
| Ah <--> Ut | 11.74 | 1 |
| Zl <--> Ut | 6.23 | 1 |

| | | |
|--------------|--------|----|
| Gv <--> HLR | 266.17 | 21 |
| Rt <--> HLR | 333.43 | 26 |
| Bd <--> HLR | 312.55 | 25 |
| Ehv <--> HLR | 318.22 | 25 |
| Ah <--> HLR | 339.12 | 27 |
| Zl <--> HLR | 492.21 | 39 |
| Ut <--> HLR | 472.61 | 37 |

Op grond van deze resultaten kunnen de scenario's a en d als met zekerheid niet optimaal worden afgedaan. In de scenario's a en c is het signaleringsverkeer tussen de MSCs/VLRs/HLRs/EIRs zo groot dat routing van verkeer via evkc-STPs veel te veel extra SS7 terminals vraagt ten opzichte van (zo veel mogelijke) geassocieerde signalering tussen de MSCs. In de scenario's b en d echter is het signaleringsverkeer tussen de MSCs/VLRs/EIRs zo klein dat routing van het verkeer tussen de MSCs via een inter-MSc net ten gevolge van de te eisen betrouwbaarheid op alle punten aanleiding zal geven tot sterke overdimensionering. Het is optimaler gebruik te maken van het eveneens overgedimensioneerde SS7/ISUP net. Het verkeer tussen de MSC en het HLR is in deze scenario's zo groot dat een geassocieerde verbinding tussen MSC en HLR altijd gerechtvaardigd is.

Voor de scenario's b en c zijn de variabele kosten van het SS7/MAP subsysteem bepaald, zie Tab. 8. Er kan gesteld worden dat de te maken kosten voor de VLRs ongeveer constant zijn bij een vast aantal abonnees. Het VLR wordt geïmplementeerd als een aantal uitbreidingseenheden bij de MSC met een capaciteit van 25.000 abonnees per stuk. Toename van het aantal MSCs zal een lichte stijging van van het totale aantal uitbreidingseenheden vragen t.g.v. de benodigde reserve capaciteit in elke MSC (de kosten van een VLR uitbreidingseenheid zijn relatief gering). Eenzelfde redenering geldt m.m. voor het HLR. Er is geen volledige duidelijkheid over de kosten van een geïntegreerd HLR, zie App. D. Er wordt hier van uitgegaan dat deze van dezelfde orde zijn als de VLR kosten. Blijken ze hoger te zijn, dan winnen de getrokken conclusies aan kracht. Er is uitgegaan van één EIR uitbreidingseenheid per MSC.

In scenario c zijn de drie te vermazen MSCs zodanig gekozen dat een maximum aan verkeer gassocieerd wordt afgehandeld, zie Tab. 9. In scenario c is er van uitgegaan dat een signaleringslink aanwezig is indien er een verkeerlink tussen een MSC en een evkc bestaat. Bij de bepaling van de totale kosten is uitgegaan van het aantal links dat in Tab. 7 vermeld is. Dit aantal is in het algemeen niet voldoende om de vereiste betrouwbaarheid te halen. Er wordt aangenomen dat die "extra" links worden gevuld met ISUP signalering, zodat de kosten ook aan ISUP moeten worden toegekend. Deze berekeningswijze gaat voorbij aan het feit dat ook in scenario c de ISUP links aanwezig zijn, maar slecht worden benut. Naast de op boven aangeduide wijze berekende totale variabele kosten in scenario b worden daarom de kosten vermeld met weglating van de MAP signalering door het "SS7/ISUP net". Deze wijze van berekenen gaat uit van de veronderstelling dat het ISUP net zodanig is overgedimensioneerd dat er voor het MAP verkeer geen extra kosten hoeven te worden gemaakt. De plaatsing van het HLR (bij een van de MSCs), zie Tab. 9, is zodanig dat de kosten van links en terminals minimaal zijn.

Tab. 8 Overzicht van de genormeerde variabele kosten van het SS7/MAP subsysteem (1 = 9,6422 mln.).

| Aantal MSCs, Scenario | Links: | Term.: | HLR: | EIR: | Totaal: |
|--------------------------|--------|--------|------|------|-------------|
| 4, b | 0.02 | 0.13 | 0.21 | 0.19 | 0.54 (0.50) |
| 4, c | 0.01 | 0.08 | 0.31 | 0.19 | 0.59 |
| 5, b | 0.04 | 0.21 | 0.21 | 0.24 | 0.70 (0.64) |
| 5, c | 0.02 | 0.13 | 0.31 | 0.24 | 0.70 |
| 6, b | 0.05 | 0.26 | 0.21 | 0.28 | 0.81 (0.74) |
| 6, c | 0.03 | 0.20 | 0.31 | 0.28 | 0.82 |
| 7, b | 0.07 | 0.37 | 0.21 | 0.33 | 0.98 (0.88) |
| 7, c | 0.04 | 0.32 | 0.31 | 0.33 | 1.00 |

Tab. 9 Invulling architectuur SS7/MAP subsysteem in de scenario's b en c.

Scenario b:

| MSCs: | Plaats HLR: |
|-----------------------------|-------------|
| Rt, Ut, Ehv, Asd | Ut |
| Rt, Ut, Ehv, Gv, Zl | Ut |
| Rt, Ut, Ehv, GV, Zl, Ah | Ut |
| Rt, Ut, Ehv, GV, Zl, Ah, Bd | Ut |

Scenario c:

| MSCs: | Vermaasde MSCs: |
|-----------------------------|-----------------|
| Rt, Ut, Ehv, Asd | Rt, Ut, Ehv |
| Rt, Ut, Ehv, GV, Zl | Ut, Ehv, GV |
| Rt, Ut, Ehv, GV, Zl, Ah | Ut, Ah, Rt |
| Rt, Ut, Ehv, GV, Zl, Ah, Bd | Ut, Ah, Rt |

De kosten in het SS7/MAP subsysteem worden met name bepaald door de vaste posten EIR en HLR. Naarmate het aantal MSCs toeneemt stijgt het belang van de terminals. Hoewel scenario b duidelijk optimaler is dan c, zijn de verschillen, zeker ten opzichte van de kosten voor het SSS, klein. Indien de kosten van integratie van HLRs te laag zijn ingeschat, worden de verschillen tussen beide scenario's groter. Duidelijk is de sterke stijging van de kosten van het signaleringsnet bij toename van het aantal MSCs.

4.3 Totaal resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van de optimalisatie van het SSS en het SS7/MAP subsysteem opgeteld. Daarbij wordt aangenomen dat de kosten voor het SS7/MAP subsysteem in combinatie met scenario 3 gelijk zullen zijn aan de kosten in combinatie met scenario 1. (De centrale posities stemmen in grote mate overeen, zie Par. 4.1.4.1, en het al dan niet integreren van een MSC heeft geen invloed) In Tab. 10 zijn de genormeerde totale variabele kosten weergegeven als functie van het aantal MSC-areas voor de scenario's 1 en b respectievelijk 3 en b.

Tab. 10 Genormeerde variabele kosten.

Scenario 1 en 3: kosten SSS

Scenario 1, b en 3, b: kosten SSS plus SS7/MAP volgens de eerste respectievelijk tweede berekeningswijze, zie Par. 4.2.3

| Aantal MSCs: | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|------|------|------|------|
| Scenario's: | | | | |
| 1 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 1.00 |
| 1, b | 0.92 | 0.95 | 0.96 | 1.00 |
| 1, b | 0.92 | 0.95 | 0.96 | 1.00 |
| 3 | 0.89 | 0.88 | 0.86 | 0.95 |
| 3, b | 0.88 | 0.87 | 0.86 | 0.96 |
| 3, b | 0.89 | 0.87 | 0.86 | 0.96 |

Uit de tabel blijkt dat het SS7/MAP subsysteem geen beslissende invloed heeft op de keuze van het scenario en het aantal MSC-areas. Het verschil in de resultaten bij de verschillende berekeningswijzen van de signaleringskosten (verbindingen in het "ISUP net" t.b.v. MAP wel of niet meerekenen) is zeer klein.

De combinatie van scenario's 1 en b kent een minimum in de kosten bij 4 MSC-areas; de combinatie van de scenario's 3 en b bij 6 MSC-areas.

In dit rapport is aangegeven hoe de netwerkarchitectuur van het vierde autotelefoon systeem in Nederland geoptimaliseerd kan worden en wat de resultaten van het optimalisatieproces zijn. Er is eerst aannemelijk gemaakt en later aangetoond dat de optimalisatie in twee stappen kan geschieden. De eerste stap betreft de optimalisatie van het schakel subsysteem, de tweede de optimalisatie van het signaleringssubstelsysteem ten bate van MAP.

Bij de optimalisatie van het SSS moeten een drietal fundamentele keuzes worden gemaakt betreffende de wijze van koppeling van MSCs aan het vaste net, de hoogte in het vaste net van deze koppeling en het punt waar in de verbindingsoopbouw van mobiel eindigende gesprekken het HLR moet worden geraadpleegd. Er is aangetoond dat MSCs op het hoogste netvlak aan het vaste net moeten worden gekoppeld. Beide andere keuzes zijn gevat in vier scenario's.

Er is een programma systeem ontwikkeld dat voor de vier scenario's en de invoeringsfasen twee tot en met vijf van atf-4 de kosten bepaald. De gegevens over het gedrag van abonnees die ten grondslag liggen aan het optimalisatieproces zijn ontleend aan atf-2. Daarbij zijn enige, in het kader van het doel van deze studie aanvaardbare, concessies gedaan aan de nauwkeurigheid. De gevoeligheid van de resultaten voor veranderingen in gehanteerde prijzen is geanalyseerd. De keuze van het gewenste scenario blijkt alleen gevoelig voor veranderingen in de verhouding tussen kosten van geïntegreerde en solitaire centrales. De keuze van het aantal MSCs kan zeker beïnvloed worden door prijsveranderingen. De gevoeligheden zijn in beeld gebracht. De optimale architectuur bij vast scenario en aantal MSC-areas is bijna onveranderlijk onder prijswijziging.

Het blijkt dat toekenning van de GMSC functie aan evkcs niet optimaal is. Het verschil in kosten tussen integratie van MSC met evkcs en het ophangen van MSCs aan evkcs is aangegeven. Er zal bekeken moeten worden of het aangegeven kostenvoordeel van integratie de toename in de complexiteit en belasting van de centrales in het hoogste netvlak rechtvaardigt.

De optimalisatie van het SS7/MAP subsysteem is gebaseerd op de door de SSS optimalisatie aangegeven architecturen. Vroegtijdig kon de keuze worden gemaakt om het VLR en het EIR te integreren met de MSCs. De voor een signaleringssysteem te eisen betrouwbaarheid beperkt als derde factor de keuze vrijheid bij de optimalisatie. Ook hier zijn een viertal scenario's onderscheiden betreffende het aantal HLRs (één of integratie met ieder MSC) en de routing van verkeer (via evkc-STPs of via een eigen net). Twee scenario's, één aan de MSCs gekoppeld HLR en routing van het verkeer tussen MSC via evkc-STPs respectievelijk integratie van een HLR met ieder MSC en routing van het verkeer tussen MSCs via een apart netwerk, blijken het meest optimaal, met een licht voordeel in kosten voor het eerste.

De uiteindelijk te kiezen architectuur voor atf-4 wordt slechts in geringe mate bepaald door het SS7/MAP subsysteem. Indien gekozen wordt voor ophanging van MSCs aan evkcs is een aantal van vier MSCs optimaal, indien gekozen wordt voor integratie een aantal van zes. Van de meest optimale SSS architecturen zijn de MSC posities weergegeven.

Literatuurlijst

- [1] GSM 01.02, General Description of a GSM PLMN, version 3.0.0, 15 Nov. 1988, CEPT/CCH/GSM
- [2] GSM 03.02, Network Architecture, version 3.1.2, 15 Nov. 1988, CEPT/CCH/MAP
- [3] GSM 12.00, Objectives and Structure of Network Management, version 3.0.3, April 1988, CEP/CCH/GSM
- [4] GSM 03.03, Numbering, Addressing and Identification, version 3.2.1, 15 Nov 1988, CEPT/CCH/GSM
- [5] T/S 43-10, CCITT SSN07 MAP, provisional version - revision 1, SPS/SIG, Edinburgh, Feb. 1989
- [6] Q700, C7 General, CCITT, SG XI, IXth Plenary Assembly, Melbourne 1988
- [7] Q701-4, MTP, CCITT, SG XI, IXth Plenary Assembly, Melbourne 1988
- [8] Q711-4,6, SCCP, CCITT, SG XI, IXth Plenary Assembly, Melbourne 1988
- [9] T/SPS43-03, CCITT SS No 7 Signalling Connection Control Part (SCCP), Draft: 1987-10-16, CEPT, SPS
- [10] Q771-5, TCAP, CCITT, SG XI, IXth Plenary Assembly, Melbourne 1988
- [11] TD N90, CEPT Exceptions and Clarifications to the CCITT Recommendations Q.771-775, CEPT, SPS/SIG, Aviero October 1988
- [12] Het atf-4 plan, 9^d concept, PTT Telecom, projectgroep atf-4, 18 April 1989
- [13] Aanvangsstructuur C7 signaleringsnet, PTT Telecommunicatie, DIS SN, J. Peet, Juli 1988
- [14] Agreement for First Phase Deliveries atf-4, sixth draft, PTT Telecom, 31 May 1989, The Hague, The Netherlands
- [15] Switched Network Interfacing of Mobile Automatic Telephone Systems, R. Simon, TE KA DE Fernmeldeanlagen, Division of Philips Kommunikations Industrie AG, Federal Republic of Germany
- [16] Maandrapportage autotelefoon 2, PTT Telecommunicatie, I&A telecommunicatie statistiek, Dec. 1988
- [17] Wachtijd- en Stagnatieproblemen, Dictaat Technische Hogeschool Eindhoven, 4^d uitgave, A. Heetman, 1 Dec. 1979
- [18] Statistisch overzicht PTT, PTT Telecommunicatie, 1985

- [19] Documentatie van het verkeersmodel en de ontwikkelde programmatuur, PTT DNL, TWS, F. Brocken, 11 Feb. 1988
- [20] GSM Traffic Evaluatie, PTT RNL, A. Wilhelmus, 1 Feb. 1989