

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 73 (1995)

**Heft:** 2

**Artikel:** Planung, Bau und Betrieb

**Autor:** Stadelmann, Toni / Eggenberger, Walter / Schenk, Richard

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875921>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Planung, Bau und Betrieb

Toni STADELMANN, Walter EGGENBERGER, Richard SCHENK, Jean-Paul DE WECK und Alfred FRANK, Bern

## Strategie Netzrealisierung Europa und Schweiz

Im Memorandum of Understanding (MoU) haben sich die europäischen GSM-Partner ganz zu Beginn auf folgenden minimalen Ausbauplan in Europa geeinigt:

- 1991: Inbetriebnahme eines GSM-Pilotnetzes in jedem Land
- 1993: Versorgung der Hauptstädte inkl. internationale Flughäfen
- 1995: Versorgung aller Hauptverkehrsachsen und der grossen Städte.

Dieser Plan wurde aber mit dem raschen Erfolg von GSM in den meisten Ländern sehr rasch übertroffen. *Figur 1* zeigt den Ausbaustand in Europa. Damit werden bereits über 50 % des besiedelten Gebietes mit GSM versorgt.

In Anlehnung an diesen raschen Netzausbau, insbesondere in Deutschland, Frankreich und Italien, hat die Swiss Telecom PTT ihre Ausbaupläne mehrmals angepasst und beschleunigt. Da Natel D GSM zu Beginn vor allem für die international ausgerichteten Kunden von grossem Interesse ist (in der Schweiz steht mit Natel C ein hochqualitatives, gut ausgebautes und kostengünstiges Mobilnetz mit ausreichender Kapazität zur Verfügung), wurde deshalb der GSM-Netzausbau in den ersten Phasen vor allem auf diese ausgerichtet. Prioritär wurden in den ersten Phasen Transitachsen, grosse Städte sowie internationale Bu-

siness- und Ferienorte erschlossen. Bis Ende 1995 wird Natel D GSM bereits eine etwa gleichwertige Versorgung wie Natel C aufweisen (*Fig. 11*).

## Netzkonzept

Für einen wirtschaftlichen, dem Teilnehmerwachstum und dem geplanten Versorgungsgrad angepassten Netzaufbau braucht es eine weitsichtige Netzkonzeption. Für die Planung sind folgende Faktoren von Bedeutung:

- Leistungs- und Ausbaufähigkeit der eingesetzten und technischen Infrastruktur (MSC, OMC, BSC, BTS)
- Teilnehmerverteilung und -zuwachs bezogen auf die einzelnen Städte, Agglomerationen und ländliche Gebiete
- Verkehrsanfall und Verkehrsfluss Mobilnetz-Mobilnetz, Mobilnetz-Fixnetz, Fixnetz-Mobilnetz auf die einzelnen Städte und Regionen bezogen. Der Verkehrsanfall im Mobilnetz verhält sich völlig unterschiedlich und weit dynamischer als im Fixnetz. Beispielsweise konzentriert sich der Verkehrsanfall am Morgen und am Abend auf die Strassen oder in Stauzonen, in der Geschäftszeit auf Businessorte, zur Mittagszeit auf Restaurantgegenden, in der Freizeit auf Freizeitgebiete usw.
- Topographie des Landes
- Struktur des vorhandenen öffentlichen Fernmelde-netzes

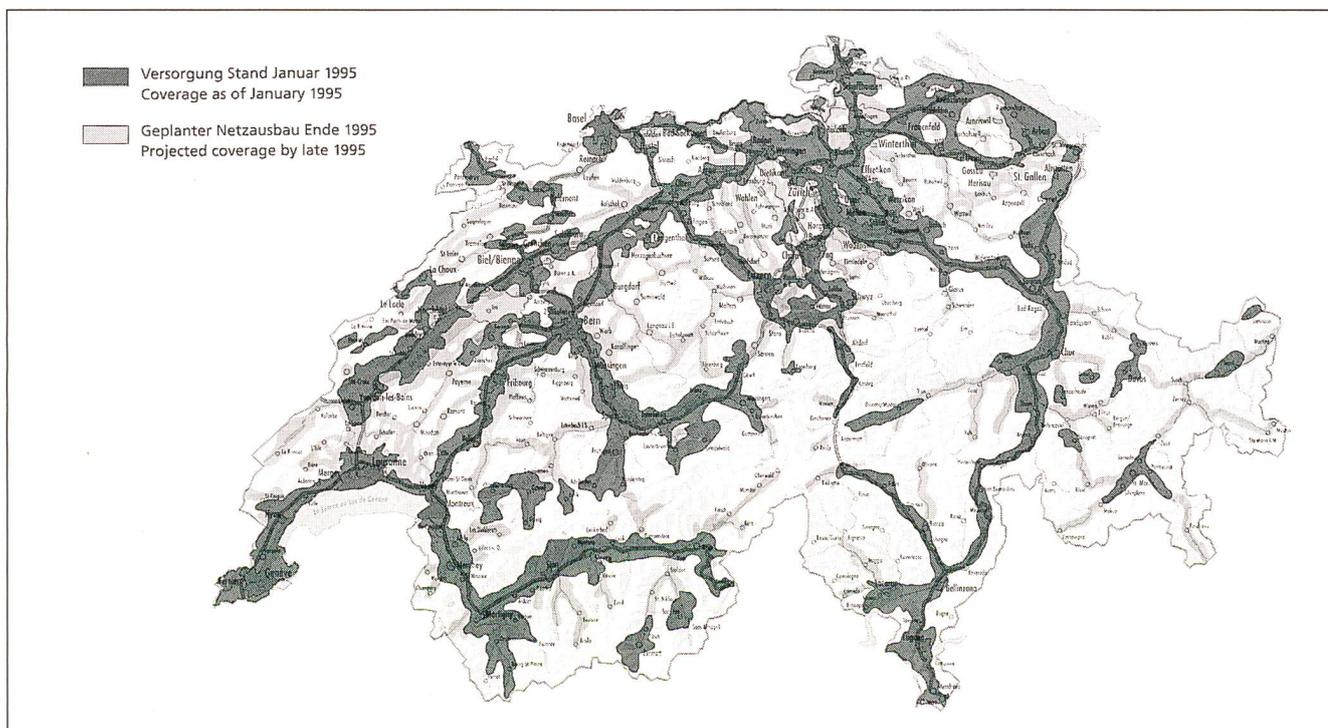


Fig. 11 Ausbauplan Natel D GSM bis Ende 1995

- vorhandene Leitungen und Richtstrahleinrichtungen, Kosten für die Übertragungseinrichtungen
- Anbindung des Mobilnetzes an das Fixnetz
- Festlegung der Qualitätsparameter wie Verlustwahrscheinlichkeit (Überlast) und Ausfallwahrscheinlichkeit.

Nach umfangreichen Berechnungen und Optimierungen wurde für das Natel D GSM das Netzkonzept gemäss *Figur 12*, das einen schrittweisen Ausbau ohne dauernde, die Netzqualität beeinträchtigende Umschaltungen vor allem von Basisstationen nötig macht, gewählt.

## Funknetzplanung

### Allgemeines

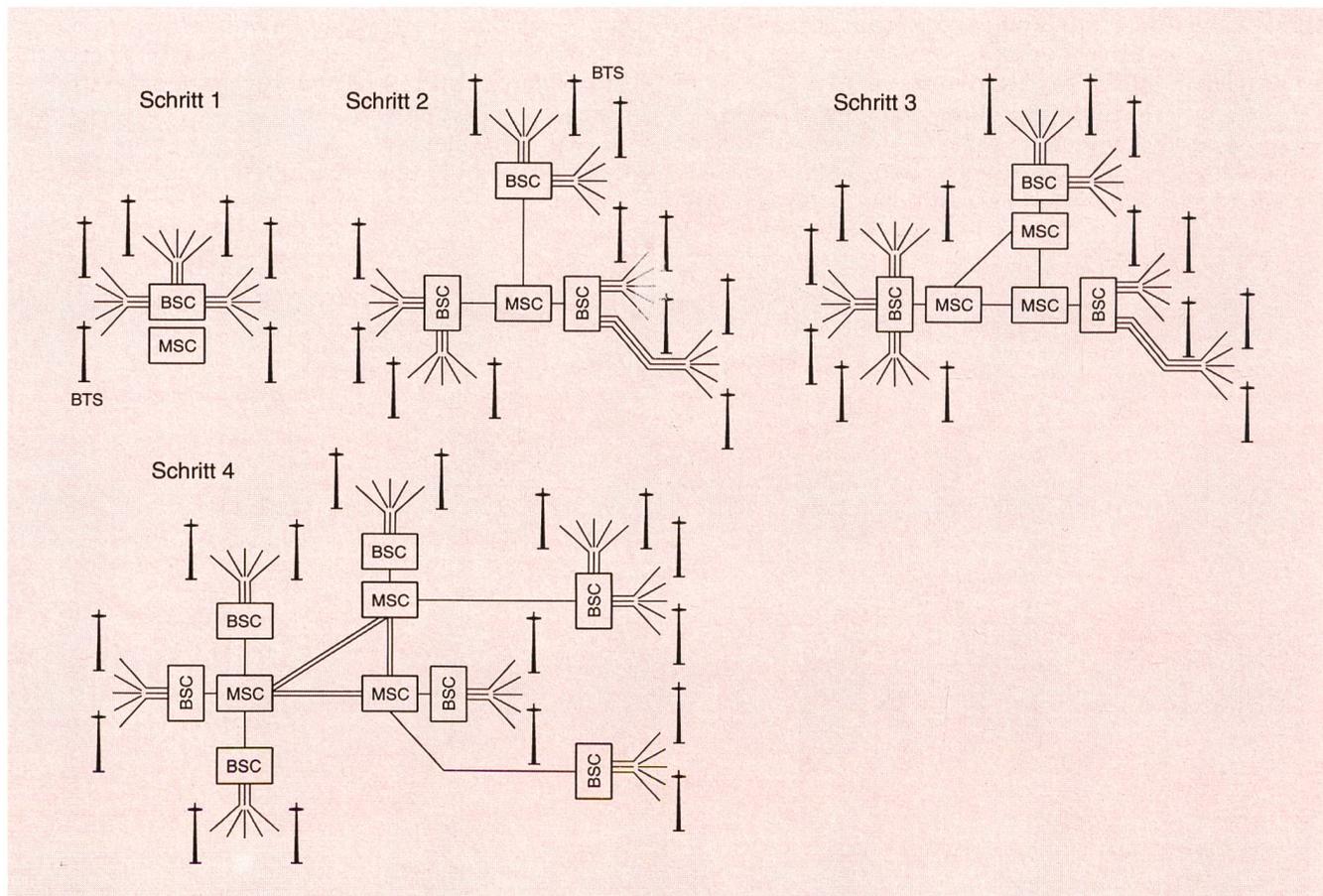
Neben einem optimalen Netzkonzept ist eine ausgefeilte Funknetz- und Zellenplanung der Schlüssel für eine hohe Qualität und ein kostengünstiges Netz. Die Planungsarbeiten sind sehr aufwendig und anspruchsvoll; jedoch sind die Aufwendungen in jedem Fall lohnend, denn falsch oder zuviel gebaute Basisstationen würden in der Endabrechnung wesentlich mehr Kosten verursachen.

Bei der Funknetzplanung geht es darum, die Funkzellen so aneinanderzureihen und zu optimieren, damit

- das geplante Gebiet mit der angestrebten Qualität versorgt wird
- keine unakzeptablen Funklöcher und Funkschatten entstehen
- genügend Übertragungskapazität für den dynamisch anfallenden Verkehr im betreffenden Versorgungsbereich vorhanden ist
- möglichst wenig Störungen infolge Signalreflexion, Interferenzen (Frequenzstörungen) usw. auftreten
- die wirtschaftlichste Lösung bezüglich Anzahl Funk-sender, Bau- und Leitungskosten gefunden wird
- möglichst ökologische und umweltschonende Bauten realisiert werden können.

### Versorgungsqualität

In einem Mobilkommunikationsnetz ist es unverhältnismässig, den Versorgungsgrad oder die Verfügbarkeit des Netzes auf gegen 100 % festzulegen. Es müssten hierfür so viele Basisstationen gebaut, zu hohe Feldstärken vorgeschrieben werden, dass die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gewährleistet wäre oder die Preise für den Benutzer viel zu hoch würden. Die Funkausbreitung ist praktisch mit der Lichtausbreitung vergleichbar, d. h. hinter natürlichen Hindernissen wie Hügeln ist das Funksignal häufig nicht mehr empfangbar oder hinter Wänden, Häusern, Wäldern ist es stark geschwächt.



**Fig. 12 Netzkonzept «Schrittweiser Ausbau»**

Schritt 5: Drei weitere MSC

Stand Ende 1994: 3 MSC, 10 BSC, 460 BTS

Vorgesehener Endausbau: 12 MSC, 14 BSC und 1000 BTS

MSC: Mobile Services Switching Center

BSC: Base Station Controller

BTS: Base Transceiver Station

Dazu kommt das Problem der Interferenzen: Um eine ausreichende Kapazität des Netzes sicherzustellen, müssen, bedingt durch die Knappheit des nutzbaren Spektrums, die Frequenzen wiederholt werden. Eine Frequenzwiederholung vor allem in Städten, Flachgebieten und Hügelzonen hat gewisse Interferenzwahrscheinlichkeiten zur Folge, die sich auf die Qualität auswirken können.

Festzulegen sind folgende Grössen:

- Versorgungsgrad im zu versorgenden Gebiet
- zulässiger Interferenzgrad
- Verkehrsverlustwahrscheinlichkeit, d. h. Grad der tolerierten Überlastfälle.

### **Sendeleistung, Leistungsrechnung**

Vorgegeben durch den GSM-Standard, die anzustrebende Versorgungsqualität, die Abstände der Basisstationen und die eingesetzten Mobilgeräte (8 Watt, 2 Watt) wird das Leistungsbudget zwischen Basis- und Mobilstationen berechnet.

Anhand dieses Leistungsbudgets werden die folgenden Grössen hergeleitet:

- maximale zulässige Dämpfung auf der Funkstrecke
- minimal notwendige Empfangsfeldstärke
- nötige Sendeleistung und Antennengewinn bei der Basisstation.

Die Telecom PTT plant das Funknetz konsequent für eine Handgeräteversorgung und beschränkt die Sendeleistung der Mobilstationen aus Stör- und Umwelteinflüssen bewusst auf max. 2 Watt. Deshalb werden die Leistungsbudgets für Handgeräte als Basis für die Dimensionierung genommen.

Ferner wird in der Schweiz die Sendeleistung der Basisstationen auf 25 W ERP begrenzt. Somit werden die elektromagnetischen Aussendungen des Natel D GSM in der Schweiz in engeren Grenzen gehalten als allgemein im Ausland.

### **Charakterisierung der Ausbreitung**

Die Funkausbreitung ist eine wichtige Kenngrösse zur Festlegung des Zellenlayouts.

Es werden zuerst typische Ausbreitungsmodelle für die verschiedenen Betriebsumgebungen (Stadt, Wohngebiet, Land) bestimmt. Diese Ausbreitungsmodelle basieren auf relevanten Grundlagen (Okumura-Hata-Model, COST231-Hata-Model usw.) und werden anhand von systematischen Feldmessungen verfeinert. Wichtig ist vor allem das Gesetz, wonach die Feldstärke mit der Distanz zum Sender abnimmt.

Beim digitalen System Natel D GSM muss zudem die Zeitdispersion des Funkkanals charakterisiert werden. Beim Empfänger treffen viele reflektierte und unterschiedlich verzögerte Versionen des Sendesignals ein. Wenn das reflektierte Signal den Empfänger mit einer Verzögerung über 16  $\mu$ s (d. h. über einen Umweg von etwa 4,8 km) erreicht, wird der GSM-Empfänger diese «Mischung» nicht mehr sortieren können. Dies führt zu hohen Fehlerraten und zum Verbindungsabbruch. Bei der Telecom PTT wurde eine spezielle Messtechnik entwickelt, um die Zeitdispersion einfach verifizieren zu können.

Ferner werden wichtige Parameter wie die Eindringdämpfung für Häuser, Motorfahrzeuge und Eisenbahnwagen sowie die Absorption des Körpers bei der Anwendung von Handgeräten ermittelt und festgelegt. Diese Werte sind sehr wichtig, um die Versorgung für Handgeräte bestimmen zu können.

### **Bestimmung des Zellenlayouts**

Von der Charakterisierung der Ausbreitung und von der Leistungsrechnung kann das typische Zellenlayout für einen gegebenen Versorgungsgrad bestimmt werden. Wichtig bei dieser Bestimmung ist die Abhängigkeit der grundlegenden Kenngrössen. Die Beherrschung und richtige Kombination dieser Abhängigkeiten bildet die «Kunst» der Funknetzplanung. Die wichtigsten Grössen sind:

- *Der typische Zellenradius* für die verschiedenen zu versorgenden Gebiete. Im Natel-D-GSM-Netz haben die Zellen einen Radius von einigen 100 m für Mikrozellen in Stadtzentren und einigen Kilometern auf dem Land.
- *Die Wiederholdistanz der Frequenzen* und das «Cluster Size», d. h. die minimale Anzahl von Zellen, mit andern Frequenzgruppen zwischen zwei Zellen mit gleichen Frequenzen. Im Natel-D-GSM-Netz wurde ein Cluster Size von zwölf Zellen gewählt, d. h. zwischen einer Frequenzwiederholung liegen mindestens drei Zellen mit anderen Frequenzen (Fig. 7).

### **Zellenplanung, Planungsschritte**

Wenn die Dimensionierung des Funknetzes abgeschlossen ist, kann die Zellenplanung beginnen. In der Regel sind für die Zellenplanung folgende Planungsschritte notwendig.

#### *Netzkonzept*

gemäss Kapitel «Netzkonzept»

#### *Festlegen der theoretischen Zellenstruktur*

- grobe Anzahl Senderstandorte und Zellen bestimmen
- theoretische Frequenzuteilung zu den Zellen vornehmen
- grobe Verkehrsaufkommen und Leitungsverläufe ermitteln.

#### *Erstellen der Prediktionen, erste Standortsuche*

- mögliche Standorte aufgrund von Kartenmaterial und erster Geländebegehung suchen
- Bauerschliessungsmöglichkeiten der theoretischen Standorte (Leitungen, Richtstrahl, vorhandene Gebäude usw.) vorabklären
- Prediktionen der einzelnen theoretischen Standorte erstellen (Fig. 13)
- geplante Zellen für den vorgesehenen Versorgungsbereich zusammenfügen.

#### *Messungen im Feld*

- Durchführung von Versorgungs- und Reflexionsmessungen mit Versuchssendern von den vorgesehenen Standorten aus. Dies ist vor allem notwendig bei Unsicherheiten bezüglich der effektiven Funk-

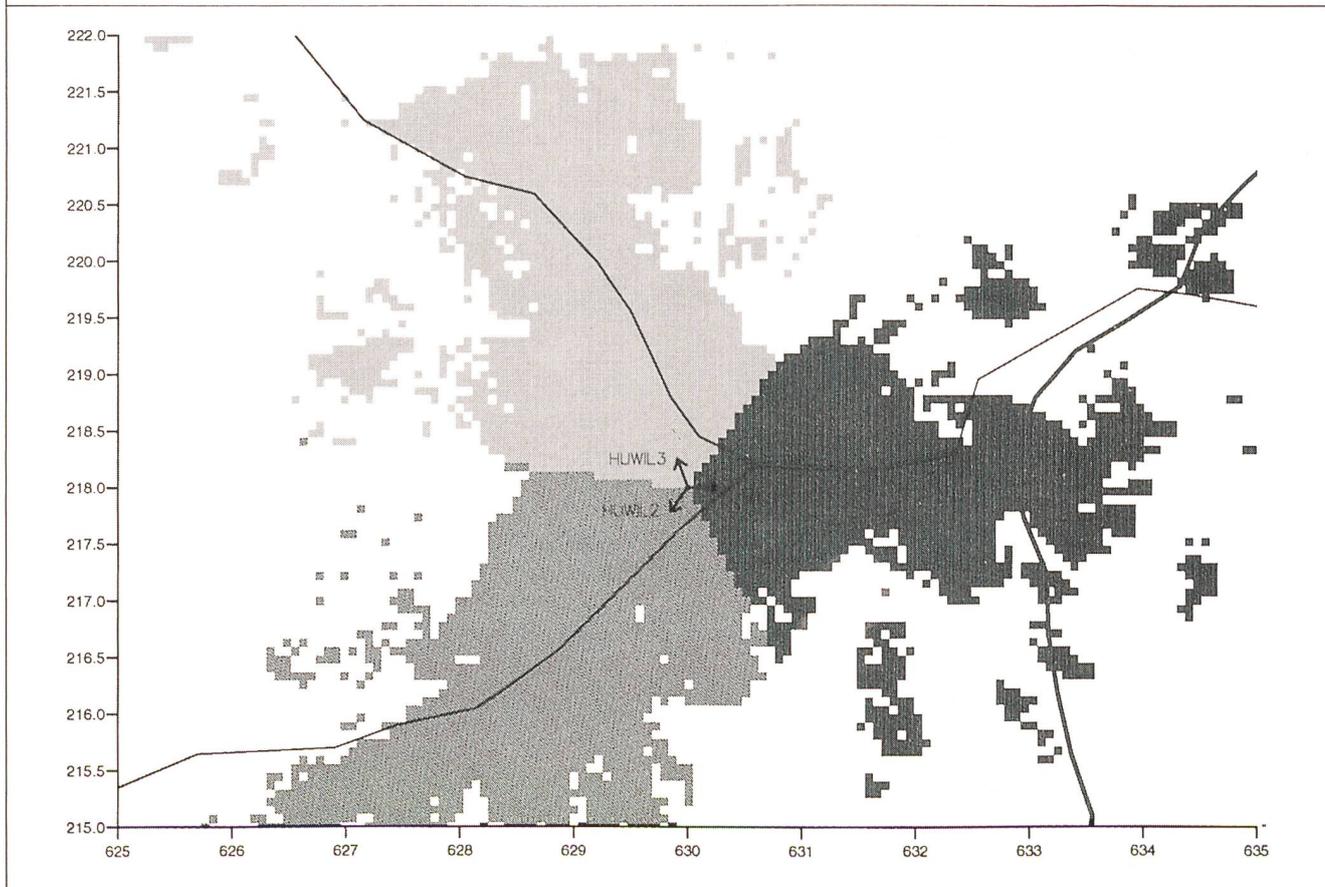
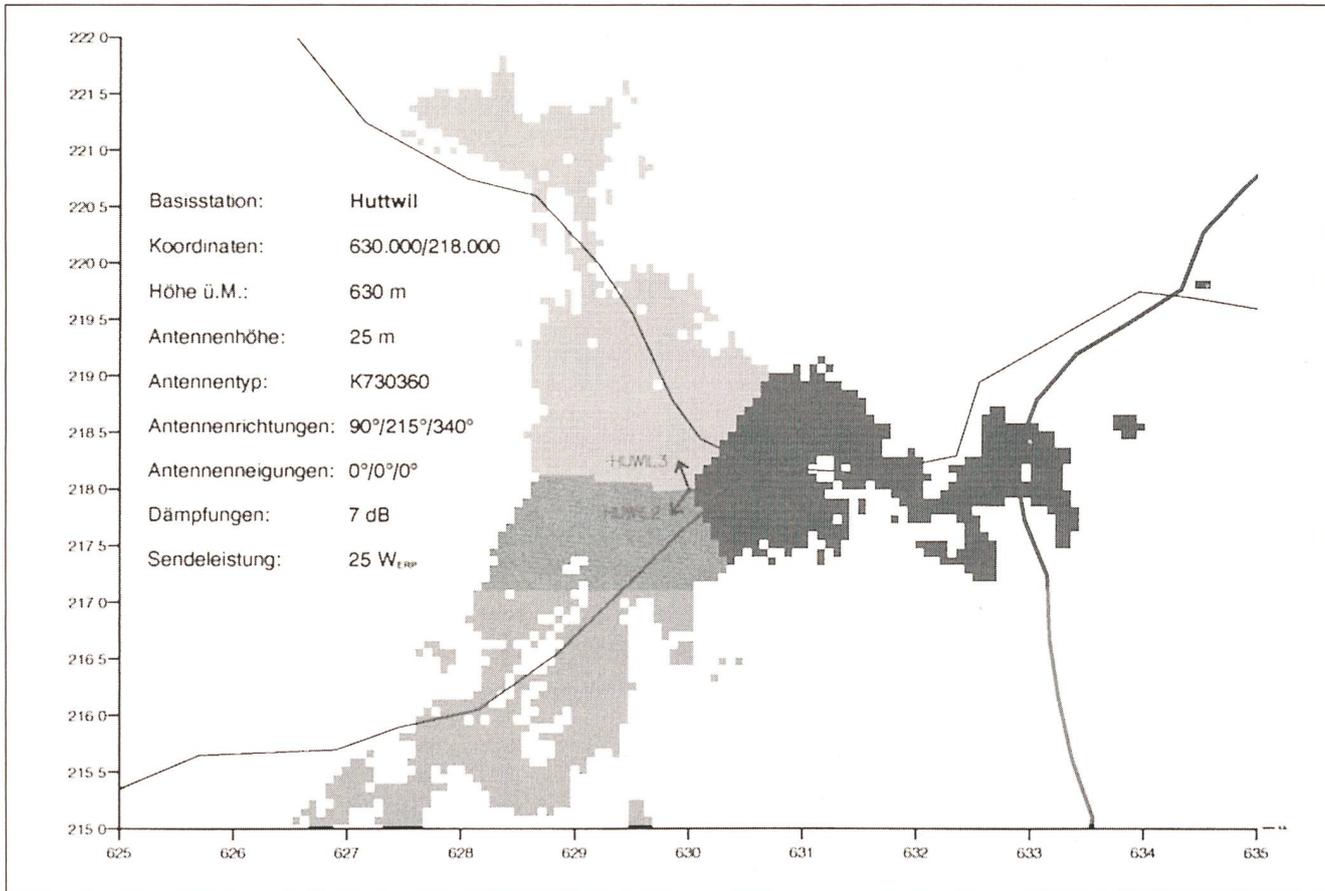


Fig. 13 *Prediktion, Funkausbreitung einer Basisstation (BS)*

Aussenversorgung:  $\geq 45 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

Handgeräte und Innenversorgung:  $\geq 60 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

ausbreitung bei schwierigem Gelände, wie Städten, Hügellandschaften, Bergtälern usw.

#### *Festlegen der definitiven Zellenstruktur*

- Auswertung dieser Messungen und eventuell Korrekturen der Zellen
- mögliche Standorte vor Ort suchen
- Nahgelände einbeziehen (nicht hinter Hügel, Haus oder Wald)
- definitive Prediktionen erstellen
- Festlegen der Standorts-, Antennen- und Ausbaudaten (Koordinaten, Masthöhe, Antennenrichtung, Anzahl Kanäle usw.)
- Frequenzuteilung und -koordination
- Verbindungsnetz (Leitungen) vorabklären.

Nach Abschluss dieser Planungsarbeiten können die Erschliessungskosten pro Standort für eine Region oder eine Ausbauphase ermittelt werden. Aufgrund der strategischen und wirtschaftlichen Vorgaben wird über die effektive Baufreigabe oder über eine allfällige Neuplanung entschieden werden.

### *Projektierung, Bau und Inbetriebnahme von Basisstationen*

#### **Einleitung**

Die Telecom PTT realisiert und betreibt die Mobiltelefonnetze in der Schweiz; nebst den Netzen A und B (160-MHz-Band) das Netz Natel C im 900-MHz-Band. Natel C ist mit über 800 im Betrieb stehenden Basisstationen (BTS) weitgehend aufgebaut; lediglich BS der Phase 4 sowie zur besseren Versorgung werden noch realisiert, wobei die Ausbauten bis Mitte 1995 abgeschlossen sein müssen.

Die Betriebsfrequenzen von Natel D GSM liegen im oberen Bereich des für zellulare Netze zugeteilten 900-MHz-Bereiches (*Fig. 6*). Dank ähnlichen Planungsvorgaben ist es möglich, weitgehend die BS-Standorte des Natel C für Natel D GSM mitzubenützen. Obwohl die BS Natel C mit gewissen Reserven geplant und teilweise für die Aufnahme von Natel D realisiert wurden, sind trotzdem umfangreiche Um- und Ausbauten notwendig, da

- die Ausbaureserven aus finanziellen Gründen begrenzt werden mussten
- der hohe Teilnehmerzuwachs bereits im Natel C umfangreiche Um- und Ausbauarbeiten erforderte (Kapazitätsausbauten, Zellsplittung usw.)

Die Ausbauarbeiten umfassen, nebst der Bereitstellung von Platz für die technischen Ausrüstungen, auch die Antennenträger. Diese müssen in vielen Fällen ersetzt werden, was ein Baugenehmigungsverfahren erfordert. Die Zeit bis zum Erhalt einer Baubewilligung hängt von den örtlichen Verhältnissen ab und ist dementsprechend sehr verschieden. Dadurch entstehen Realisierungsverzögerungen einzelner BTS, was zu unangenehmen Bedienungslücken in versorgten Gebieten führt.

Im gesetzten Realisierungsablauf für die BS sind eine Anzahl Organisationsbereiche der Telecom PTT (GD und TD) sowie mehrere Privatfirmen involviert. Die

Projektführung und -überwachung, das Bereitstellen des Materials sowie der Dienstleistungen ist sehr komplex und aufwendig, sind doch jährlich 250 bis 300 BS zu realisieren. Anpassungen an die Anforderungen des Marktes erfordern oft rasche Änderungen der Termine und Prioritäten; dank Flexibilität und Engagement aller Beteiligten können die jährlichen Vorgaben eingehalten werden.

#### **Projektierung**

Die Realisierungsaufträge erfolgen in der Regel für ganze Gebiete oder Ausbauphasen in Form von Standorthalterlisten.

Diese enthalten pro Standort

- Bezeichnung (Standortname)
- Abkürzung (4-Buchstaben-Code)
- Gebäudetyp (Tel.-Zentrale, Privatgebäude usw.)
- Prov. Koordinaten/Höhe ü. M.
- Antennenanlage
  - Antennentyp
  - Hauptstrahlrichtungen (Azimut/Elevation)
  - Antennenhöhe über Grund

Wie in der Einleitung erwähnt, werden weitgehend die BTS des Natel C für den Aufbau des Natel D GSM mitbenützt, wodurch die Auswahl geeigneter Standorte vereinfacht wird.

Nach Erteilung der Realisierungsaufträge wird pro Standort ein Vorprojekt erstellt. Dieses bildet die Basis für die Mitbenützungsanfrage bei den Liegenschaftsbesitzern, wobei man versucht, deren Wünsche in der laufenden Projektierung möglichst zu berücksichtigen.

Nach erfolgter Zusage durch den Eigentümer wird das Vorprojekt den öffentlichen Ämtern vorgestellt. Dies sind die Gemeindebehörden innerhalb der Bauzonen und zusätzlich die Kantonsbehörden bei Bauvorhaben ausserhalb der Gemeindebauzonen.

Selbstverständlich werden alle einschlägigen Behördenvorschriften beachtet sowie deren Wünsche bei der Auslegung der BTS soweit als möglich berücksichtigt. Beim Erstellen der Baueingabedokumente achtet man besonders darauf, die Bauwerke möglichst gut in die Umgebung zu integrieren.

Die sehr unterschiedlichen Wartefristen im Baubewilligungsverfahren beeinflussen die Bauplanung erheblich; eine definitive Terminplanung für die Realisierung ist erst nach Erhalt der Baubewilligung möglich.

Die Genehmigung zum Bau der BTS bildet den Übergang von der Projektierungs- in die Bauphase.

#### *Projektierung von Tunnel- und Inhouseversorgungen*

Bei solchen Objekten gilt es, in sich geschlossene Räume zu versorgen, wobei die Integration ins Zellenetz besonders betrachtet werden muss. Die Projektierung ist stark objektbezogen, wobei für die eigentliche Funknetzplanung bereits ein definitives Projekt vorliegen muss. Auch sind, je nach Objekt, mehr oder weniger umfangreiche Messungen notwendig. Bei der Versorgung von Tunnels sind die Standorte für die Ausrüstungen und Antennen durch die vorhande-

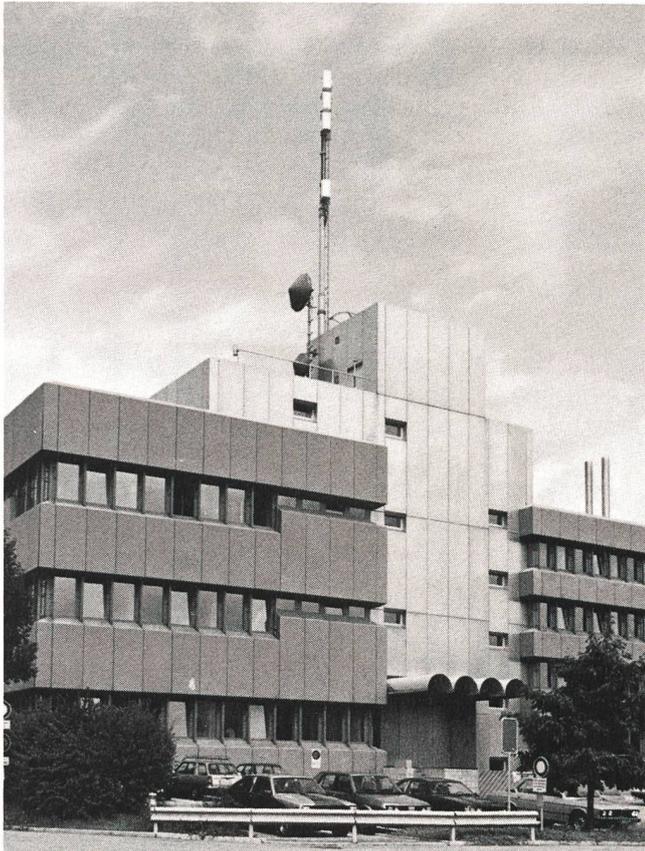


Fig. 14 Standorte von neuen Basisstationen (BTS) bei PTT-Gebäuden (Ittigen)

ne Infrastruktur (Nischen, Lüftungen usw.) zwingend gegeben. Es gilt, die Versorgungsvorgaben mit den erzielten Resultaten zu vergleichen, um wirtschaftliche Lösungen zu realisieren.

Für die Versorgung solcher Objekte gelangen sowohl normale HF-Ausrüstungen als auch geeignete Repeater (Breitband-/Kanalselektive-/Glasfasergespiesene Systeme) zum Einsatz.

### Bau der Basisstationen

Sind keine speziellen Auflagen mit der Baubewilligung verbunden, kann die Realisierung umgehend erfolgen.

Gestartet werden die Bauaktivitäten mit einer Detailbegehung vor Ort, wo die Aktivitäten, Termine usw. mit allen Beteiligten festgelegt werden. Die festgelegten Termine sind verbindlich und dienen zur Terminüberwachung der Bautätigkeiten, zur Koordination mit dem Leitungsbau sowie zur Initialisierung der Inbetriebnahmetätigkeiten. Nicht zuletzt sind die Baufortschritte für die Budgetüberwachung sehr wichtig, da Terminverzögerungen auch Zahlungsverzögerungen nach sich ziehen.

Die Realisierung der BTS umfasst folgende Hauptaktivitäten:

- Gebäudeinfrastruktur
- Stahlkonstruktion (Antennenmast)
- Antennenanlage
- Leitungsnetz

### Gebäudeinfrastruktur

Der Betriebsraum für die Aufnahme der HF-Ausrüstungen muss mit der notwendigen Infrastruktur wie Starkstrom, Notstromversorgung, Klimagerät, Multiplexer-Ausrüstungen usw. ausgerüstet sein.

Wo in den bestehenden Natel-C-BTS die notwendige Reserve für die Installation der Natel-D-GSM-Ausrüstungen fehlt, bestehen folgende Möglichkeiten:

- Erweiterung oder Ersatz der Betriebsräume in den bestehenden Gebäuden
- Realisierung neuer Standorte, wobei die Ortsabhängigkeit beachtet werden muss
- Ersatz der vorhandenen 8-Kanal-Ausrüstungen durch neue, welche auf gleichem Raum 16 bis 32 Kanäle enthalten. Die Wiederverwendung der ersetzten Ausrüstungen ist teilweise in neu zu realisierenden BTS möglich.

Sind neue Standorte erforderlich, erfolgt deren Auswahl nach folgenden Prioritäten:

1. PTT-Gebäude (Telefonzentralen, Postgebäude, UKW/TV-Umsetzer usw.)  
Beispiel: *Figur 14*
2. Öffentliche Gebäude (Gemeindehäuser, Werkhöfe usw.)  
Beispiel: *Figur 15*
3. Neubauten (vorwiegend Normstationen)  
Beispiele: *Figur 16*

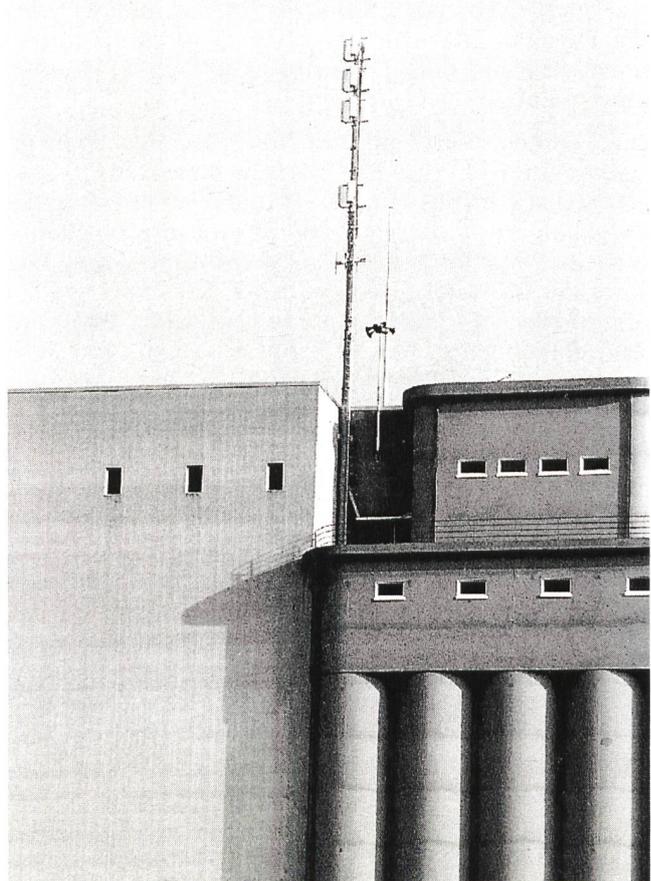


Fig. 15 Standorte von neuen Basisstationen (BTS) bei öffentlichen Gebäuden (Silo in Burgdorf)



Fig. 16 Standorte von neuen Basisstationen (BTS) bei Neubauten mit Normstationen (Smallberg am Simplon)

Die Wahl der Standorte hat grossen Einfluss auf die Netzqualität, die Realisierungskosten und Termine. Der Standortwahl ist deshalb besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Als weitere kostengünstige Alternative kommen in nächster Zeit sogenannte Outdoor-Basisstationen auf den Markt. Es handelt sich dabei um kompakte Schränke mit Klimatisierung, welche die gesamte Infrastruktur für einen Mobiltelefondienst enthalten und im Freien aufgestellt werden können. Dadurch ergeben sich komplett neue Perspektiven in der Realisierung von BTS.

#### Stahlkonstruktion (Antennenmast usw.)

Im Hinblick auf die Netzsicherheit sowie zur unabhängigen Netzoptimierung (Tuning) werden für Natel D GSM separate Antennensysteme installiert. Sind jedoch Probleme mit Baubewilligungen zu erwarten, besteht die Möglichkeit, temporär die Sender- oder Empfänger von Natel C und Natel D GSM über geeignete Koppelnetzwerke auf die bestehende Natel-C-Antenne zu schalten. Benötigt wird für Natel D GSM der Montageplatz von minimal drei Antennensystemen, je ein Sender-, ein Empfangs- und ein Empfangs-Diversity-System.

Trotz Ausnützung der minimalen Entkoppelungsabstände und optimaler Anordnung der Antennensysteme muss der bestehende Antennenträger sehr oft ersetzt werden, was ein neues Baueingabeverfahren bedingt.

Die gesamten Um- und Neubauten der Antennenträger sind selbstverständlich ohne Unterbruch der installierten Anlagen durchzuführen; dazu müssen vorgängig vollständige Ersatz-Antennenanlagen installiert werden.

#### Antennenanlage

Die Wahl des verwendeten Antennensystems hängt von der gewünschten Abstrahlcharakteristik ab. In der Regel gelangen die gleichen Systeme zum Einsatz wie für Natel C, wobei zur Reduktion von Reflexionen eventuell abweichende Abstrahlrichtungen erforderlich sein können.

Pro Zelle wird mindestens je ein Sender-, Empfangs- und Empfangs-Diversity-Antennensystem benötigt.

Angewendet wird, je nach örtlichen Verhältnissen, Horizontal- oder Vertikaldiversity (Fig. 17).

Die Wahl der Diversity-Ausführung ermöglicht in gewissem Mass, die Antennenanlagen dem Gebäude oder dem Ortsbild anzupassen. Besondere Beachtung wird dem Schutz von Gebäuden und Anlagen vor Blitzschlägen geschenkt; dank der konsequenten Anwendung der Vorschriften sind bisher keine nennenswerten Schäden aufgetreten.

Der Aufwand für die Antennenmontage und den HF-Kabelzug sind standortabhängig. Damit das umfangreiche Bauprogramm termingerecht abgewickelt werden kann, sind an der Ausführung mehrere autorisierte Privatfirmen beteiligt.

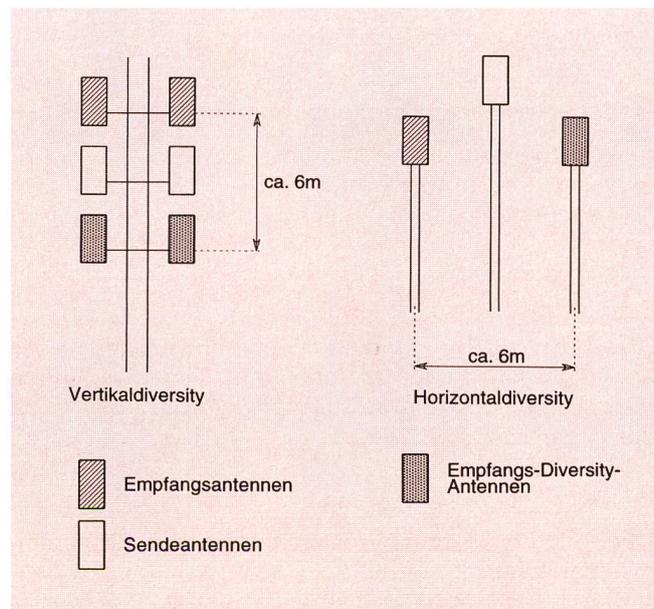


Fig. 17 Bei der Wahl des Antennensystems wird entsprechend den örtlichen Verhältnissen eine Horizontal- oder Vertikaldiversity angewendet

## Leitungsnetz

Zwischen den BSC und den BTS sind, je nach installierter Verkehrsleitung (Zellen, HF-Träger) eine oder mehrere 2-Mbit-Verbindungen erforderlich (Fig. 8).

Für die leitungsmässige Erschliessung wurden ab etwa 1991 die meisten Natel-C-Neubauten mit Glasfaserverbindungen realisiert, so dass heute etwa 70 % aller BTS über solche Verbindungen verfügen. Die restlichen BS sind mit Kupfer- oder Richtstrahlverbindungen erschlossen.

Alle mit Glasfaser- oder Richtstrahlverbindungen ausgerüsteten BTS sind für digitale Übertragung geeignet und können problemlos durch Natel D GSM mitbenutzt werden. Sind die Kupferleitungen nicht länger als 4 km, genügen je drei Kupferpaare, um mit Hilfe von HDSL-Ausrüstungen (High digital subscriber loop) 2 Mbit/s übertragen zu können.

Für BS, wo diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind, muss die bestehende Leitungskapazität ausgebaut werden; bei Terminproblemen kommen oft Richtfunkverbindungen zum Einsatz.

Die Abläufe zur Realisierung des Leitungsnetzes haben sich gut bewährt; so ist es möglich, dass die geforderten Termine in der Regel eingehalten werden können.

Zur Reduktion der Leitungen BSC-BTS bestehen folgende Möglichkeiten:

- Zusammenschaltung Natel C / Natel D GSM auf eine 2-Mbit-Verbindung
- Kaskadierung der BS, d. h., eine 2-Mbit-Verbindung wird für mehrere BTS mit kleiner Kapazität verwendet.

Von diesen Möglichkeiten wird, wo immer möglich, Gebrauch gemacht, um die Kosten im Leitungsnetz möglichst gering zu halten.

## Inbetriebnahme

### Abnahme, Qualitätssicherung

Während der Bauphase werden die einzelnen Baustufen kontrolliert und abgenommen:

- Gebäude oder Betriebsraum
- Antennenturm mit Fundament
- Antennenanlage mit Abgabe detaillierter Messprotokolle
- Ausrüstungen, beispielsweise Stand-alone-Test der HF-Anlagen.

Diese Kontrollarbeiten dienen sowohl als Basis für die Zahlungsfreigabe für Material und Dienstleistungen als auch zur Gewährleistung der geforderten Qualität der gesamten BTS.

### Inbetriebnahme

Folgende Bedingungen müssen vor der Inbetriebnahme erfüllt sein:

- Stand-alone-Tests abgeschlossen (Leitungen sind dazu nicht notwendig)
- Leitungen durchgeschaltet und gemessen (Loop-Tests BSC-BTS)
- Alle erforderlichen Daten vorhanden und geprüft.

Sind alle Bedingungen erfüllt, wird die BTS von der MSC aus in Betrieb gesetzt und anschliessend getestet. Mit dem anschliessend durchgeführten «Tuning» werden die Parameter definitiv eingestellt und damit die BTS optimal ins Netz integriert.

## Projektleitung

Der kommerzielle Erfolg eines Mobiltelefonnetzes hängt nicht zuletzt von einer raschen Flächenversorgung ab. Deshalb wird Natel D GSM beschleunigt aufgebaut, so dass Ende 1995 die Schweiz mit über 800 BTS weitgehend versorgt sein wird. Dies bedeutet, dass pro Jahr 250 bis 300 BS für Natel D GSM realisiert werden müssen.

Dieses hohe Realisierungsvolumen sowie kurzfristige Umdispositionen von Prioritäten infolge sich ändernder Anforderungen des Marktes stellen hohe Anforderungen an die Projektleiter bezüglich

- Erstellen von Projekten
- Erteilen und Überwachen der Bauaufträge
- Koordinieren und Überwachen der Termine
- Überwachen der Budgets, Rechnungsfreigaben
- Beschaffung von Material und Dienstleistungen.

Nebst diesen Aufgaben muss sichergestellt sein, dass im Bereich Projektierung und Bau stets

- die neuesten und kostengünstigsten Anlagen und Ausrüstungen
- neue Techniken und Verfahren geprüft und in die laufende Realisierung einbezogen werden (Beispiel Outdoor-BTS).

Eine gute und flexible Projektleitung ist ein wesentlicher Faktor für den kommerziellen Erfolg des Mobiltelefonnetzes Natel D GSM.

## Netztuning

Bei der Inbetriebnahme einer Basisstation werden vorerst die bei der Planung theoretisch festgelegten Parameter eingestellt.

Die Praxis zeigt jedoch, dass mit dieser Einstellung das Mobilnetz oft nicht optimal auf die Umgebung angepasst ist oder unvorhergesehene Probleme wie Interferenzen, Überreichweiten, Reflexionen usw. auftreten können.

Deshalb wird nach Inbetriebnahme das Funknetz überprüft. In vielen Fällen lassen sich Qualitätsmängel durch eine Parameter-, Frequenz- oder Antennenkorrektur beheben. Bei schwerwiegenden Qualitätsmängeln muss unter Umständen eine Netzkorrektur vorgenommen werden, beispielsweise Bau einer zusätzlichen Basisstation, einer erhöhten Antenne usw.

## Einführung und Tests von neuen Leistungsmerkmalen und Funktionen

### Einleitung

Neue Leistungsmerkmale und Funktionen werden durch definierte Ausbauschritte im Natel D GSM eingeführt. Diese Ausbauschritte werden Releases genannt. Da die Evolution des Systems schneller voran-

schreitet, als sie mit Systemreleases abgedeckt werden kann, gibt es weitere kleinere Ausbauschritte, die sogenannten CN-A und AC-A (Fig. 18).

Eine CN-A (Correction Note for Application System) enthält normalerweise funktionelle Erweiterungen sowie bei Bedarf auch Korrekturen. Die CN-As haben demnach meistens gewisse funktionelle Erweiterungen der existierenden Software zur Folge. Es kann sich dabei um Nachlieferungen zum vorhergehenden Release oder Vorauslieferungen zum nächsten Release handeln.

Eine AC-A (Approved Correction for Application System) enthält meistens nur Software-Modifikationen. Es kann sich dabei um Fehlerbehebungen oder um Verbesserungen der Systemperformance handeln.

### Programm, Zeitplan

Vom Lieferanten wird ein Modifikationsplan geführt, wann welcher Release, CN-As oder AC-As zur Verfügung steht und wann sie im System eingebracht werden sollten. Dieser Modifikationsplan wird periodisch aufdatiert und der Telecom PTT unterbreitet. So kann eine ungefähre Planung für rund ein Jahr im voraus erstellt werden. Drei bis sechs Monate vor der Einführung ins Netz wird die Telecom PTT vom Lieferanten über den genauen Inhalt einer bevorstehenden Software-Modifikation informiert. Pro Jahr wird der Telecom PTT etwa ein Releasewechsel geliefert. Von einem Releasewechsel sind immer alle Netzelemente, Netzmanagement OMSS, MSC, BSC und BTS betroffen. Pro MSC und BSC kommen im Durchschnitt zusätzlich noch je zwei CN-As und/oder AC-As dazu.

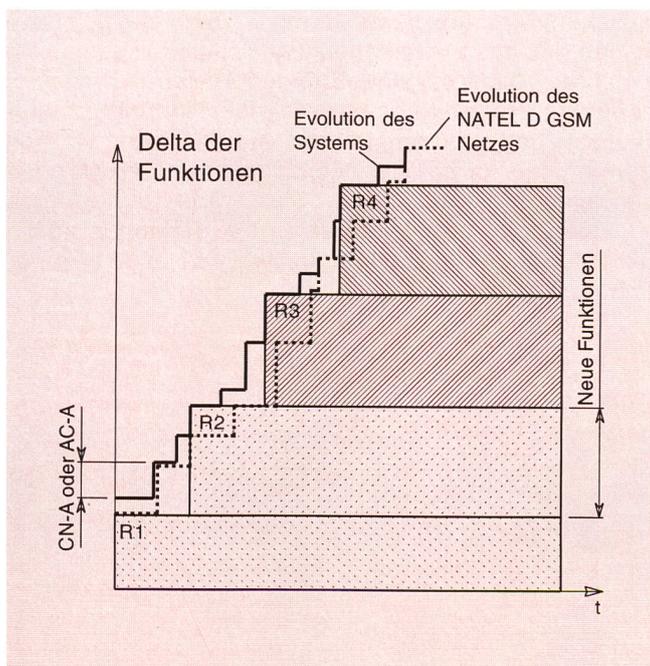


Fig. 18 Ausbauschritte der Software

- R Releases – Softwareausgaben
- CN-A Correction Note for Application System – Korrekturmeldung für Anwendungssystem
- AC-A Approved Correction for Application System – Geprüfte Korrektur für Anwendungssystem

### Test

Jede Softwareänderung wird vor der Einführung gründlich getestet. Für diese Tests verfügen die Telecom PTT über ein separates Testnetz, bestehend aus drei MSC, drei BSC und mehreren BTS. Je zwei MSC und BSC haben ihren Standort bei den Telecom, die dritte Anlage steht beim Lieferanten. Mit diesem Testnetz können beinahe alle im Echtnetz auftretenden Verkehrsfälle simuliert werden. Eine Typenprüfung einer neuen Software beansprucht je nach Umfang zwischen zwei Wochen und zwei Monaten. In einer ersten Priorität werden die neuen Funktionen überprüft. Jedoch auch alle «alten» Funktionen müssen mit der neuen Software getestet werden. Aufgrund dieser Typenprüfung wird entschieden, ob die neue Software im Netz geladen werden kann.

### Einführung

Nach bestandener Typenprüfung wird ein Betriebsversuch durchgeführt. Hier können noch Fehler entdeckt werden, welche unter den Laborbedingungen im Testnetz nicht auftraten. Vor allem eine höhere Verkehrsbelastung kann im Testnetz nicht simuliert werden. Die Betriebsversuche werden in einer sogenannten Pilotanlage durchgeführt. Die neue Software wird während mindestens zwei Wochen im Echtnetz unter Betriebsbedingungen beobachtet. Wenn beim Betriebsversuch keine Verkehrsstörungen auftreten, wird die neue Software auch in den übrigen Betriebsanlagen geladen.

## Betrieb

### Betriebskonzept

#### Allgemeines

Das Natel-D-GSM-System verfügt über die in Figur 19 dargestellten Betriebsschnittstellen.

Über die SIM-Programmierung werden die Teilnehmerdaten via OMC im HLR (Home Location Register) der betreffenden MSC mutiert (Teilnehmeranschlüsse und Zusatzdienste freigeben oder sperren).

Über fixe oder mobile Bediengeräte kann das Bedienpersonal via OMC Statusabfragen im System vornehmen, Störungen eingrenzen und Befehle zu den einzelnen Netzelementen (MSC, BSC, BTS) senden.

Auf den Druckern können Informationen über die Netzelemente ausgedruckt werden.

Über den normierten Rechneranschluss (NORA) werden die Taxdaten auf elektronischem Weg zum ERZ übertragen und dort zu Fernmelderechnungen verarbeitet.

#### Network Management

Das OMC Olten ist der Knoten für den Betrieb des gesamten Natel-D-GSM-Netzes. Es ermöglicht ein zentralisiertes oder regionalisiertes Network Management (Alarmmanagement, Statusüberwachung der Netzelemente MSC, BSC, BTS, Steuerung der Netzelemente, Betriebs- und Verkehrsdatenerfassung ab MSC, BSC, erstellen von Betriebsstatistiken usw.)

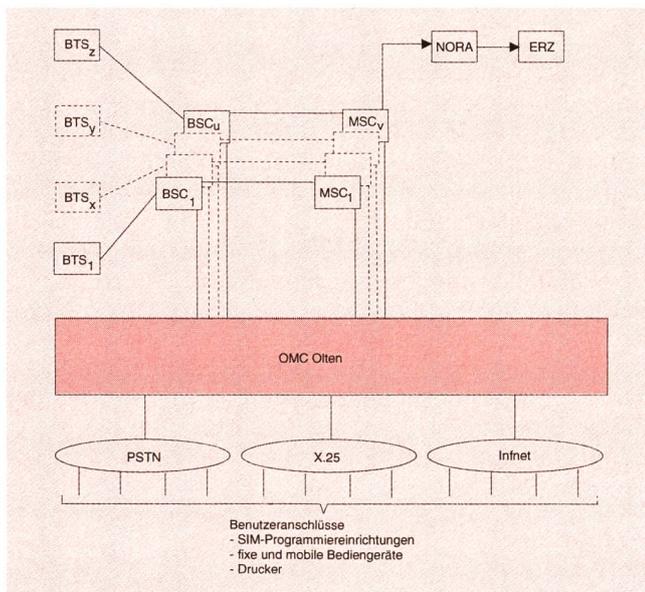


Fig. 19 Betriebsschnittstellen Natel D GSM

Das OMC kann so konfiguriert werden, dass bei den einzelnen Benutzeranschlüssen nur die für den betreffenden Benutzer wichtigen Informationen empfangen oder Befehle zu den einzelnen Netzelementen gesendet werden können. Der Fernzugriff zum OMC wird durch spezielle Mechanismen mehrstufig gesichert.

#### Betrieb Vermittlungsanlagen

Vermittlungsanlagen (MSC, BSC) werden nach heutiger Planung bis zum Endausbau bei elf verschiedenen TDs installiert sein (Fig. 20). Dabei werden die Anlagen, die bei TDs ohne Natel-C-Vermittlungsanlagen aufgebaut sind, weitgehend durch eine Nachbar-TD über abgesetzte Bedienplätze betrieben (Bedienung, Überwachung, Alarmierung, Störungen eingrenzen und beheben). Die lokale TD ist lediglich für den Betrieb der Infrastruktur (Stromversorgung, Klimaanlage usw.) zuständig und nimmt im Auftrag der Nachbar-TD Routinearbeiten oder Wechsel defekter Baugruppen vor.

Der Betrieb wird in drei Regionen organisiert (Fig. 21): In der Region 1 koordiniert die TD Lausanne, in der Region 2 die TD Olten und in der Region 3 die TD Chur die Betriebsbelange. Die drei Regionalzentren koordinieren den regionalen Bereitschaftsdienst, die gegenseitige technische Unterstützung bei Personalengpässen und von der GD erhaltene Spezialaufgaben.

Bei komplexen Problemen haben die TDs die Möglichkeit, das nationale Betriebsunterstützungszentrum (NBZ) in Bern beizuziehen. Dieses setzt sich personell aus Mitarbeitern des Lieferanten und der TD Olten zusammen. Es stellt die Betriebsunterstützung rund um die Uhr sicher.

Die TD Olten verwaltet die Ersatzbaugruppen zentral. Sie stellt den Natel-Vermittlungsdiensten – im Notfall auch ausserhalb der normalen Arbeitszeit – Baugruppen (BG) zu. Sie sorgt für die Reparatur defekter BG durch den Lieferanten und überwacht die BG-Qualität.

Der Lieferant bildet das Betriebspersonal fachspezifisch aus.

#### Betrieb Funknetzanlagen

Alle 17 TDs betreiben die Funknetzanlagen (BTS) autonom. Sie überwachen das Funknetz in ihrem Gebiet und beheben Störungen, bei Bedarf mit Unterstützung des NBZ.

Das Kompetenzzentrum Bellinzona verwaltet die Ersatzbaugruppen zentral. Diese Stelle sorgt für die Reparatur defekter BG durch den Lieferanten und überwacht die BG-Qualität.

Ein PTT-Mitarbeiter des NBZ bildet das Betriebspersonal fachspezifisch aus.

Jede TD wurde mit den für die Störungsbehebung und die Funknetzüberwachung nötigen Messgeräten ausgerüstet.

#### Qualitätsüberwachung (QÜ)

Die QÜ hat zum Ziel, Systemmängel sofort nach dem Entstehen zu erkennen und zu alarmieren, damit sie nach Möglichkeit behoben werden können, bevor die Kunden eine Qualitätsverschlechterung feststellen.

Die Netzelemente liefern eine grosse Menge von QÜ-Daten, die zentral erfasst, zusammengestellt und analysiert werden müssen. Die notwendigen Verarbeitungsprogramme für eine weitgehend automatisierte QÜ werden demnächst erstellt, so dass Qualitätsverschlechterungen, die keine Systemalarme auslösen, künftig automatisch eine Systemmeldung mit entsprechender Massnahmenbeschreibung auslösen.

Eine regelmässige Überwachung des Funknetzes aus Kundensicht ist gegenwärtig im Aufbau. Dabei ist vorgesehen, eine Messeinrichtung in Fahrzeugen einzubauen, die das Strassennetz der Schweiz regelmässig befahren. Die Messeinrichtungen stellen – von einer zentralen Stelle aus gesteuert – Verbindungen automatisch her oder empfangen Anrufe. Dabei werden eine grosse Anzahl QÜ-Daten registriert und zu einer zentralen Stelle übertragen. Sie verarbeitet die Daten zu Statistiken. Diese werden in den Regionen analysiert. Allfällige Qualitätsmängel werden – soweit möglich – anschliessend behoben.

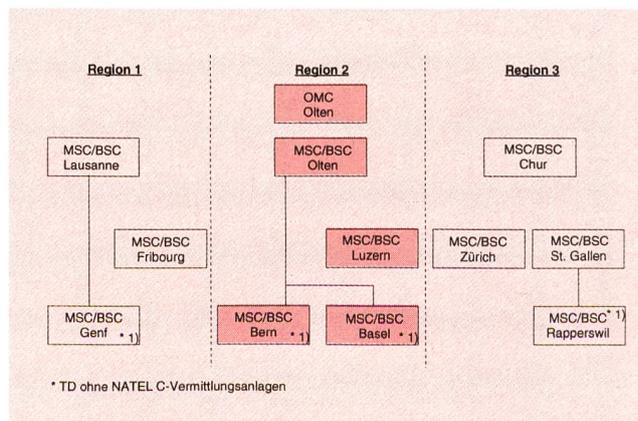


Fig. 20 Geplante Standorte der Vermittlungsanlagen Natel D GSM

