

**Arbeitskreis zur Ermittlung der Maximalkapazität im
Funktelefonnetz C**

Schlußbericht

	Seite
1 Zusammenfassung	2
2 Auftrag und Zielsetzung, Personenverzeichnis	5
3 Sitzungstermine und Auf- gabenschwerpunkte	7
4 Modellbetrachtungen	11
5 Rechnersimulationen für das Kleinzellennetz München	15
6 Meßmethoden zur Ermittlung der Übertragungsqualität im realen Netz	23
7 Meßtechnische Untersuchungen zum Verhalten von Feststationen und Mobilgeräten	26
8 Erprobung des 25-kHz-Rasters mit 12,5-kHz-Zwischenraster im Großversuch	34
9 Erfahrungen aus den laufenden Inbetriebnahme- und Erweiterungs- planungen	41
10 Ausblick	45

Darmstadt, 13. September 1991

1 Zusammenfassung

1.1 Ausgangssituation und Vorgeschichte

Als der Arbeitskreis zur Ermittlung der Maximalkapazität des Funktelefonnetzes C im Frühjahr 1990 seine Arbeit aufnahm, waren rund 550 Funkfeststationen mit 6400 Sprechkanälen in Betrieb, die Zahl der Teilnehmer betrug 182 000 und nahm monatlich um etwa 8 000 bis 10 000 zu. Nach einer bereits 1986 festgelegten Zielvorgabe wurde eine für 450 000 Teilnehmer ausreichende Kapazität angestrebt, es gab aber noch wenig konkrete Erkenntnisse darüber, ob und wie dieses Ziel erreichbar sein würde.

Vorangegangen waren mehrere Phasen des Netzausbaus, die in Abschnitt 8 etwas näher beschrieben sind. Mit dem Grundausbau war schon 1986 ein hoher Grad von Flächenversorgung erreicht worden, allerdings auf Kosten der Kapazität in den Verkehrsschwerpunkten. Es war dringlich, zunächst in den Hauptzentren auf Kleinzellennetze überzugehen. Beim Entwurf der Konzepte für den Kleinzellenausbau orientierte man sich an ausländischen Erfahrungen, vor allem in Schweden, und an theoretischen Modellen, die von Siemens entwickelt wurden. Ausgangspunkt der Überlegungen war schon damals der Raum München, der eine hohe Verkehrsdichte in der Mitte und ein relativ verkehrsarmes Umland aufweist.

Das für München entwickelte sternförmige Modell wurde mit örtlichen Variationen auf die meisten anderen Verkehrszentren übertragen. Mit den folgenden Zellteilungen im Umland und mit zahlreichen Füllstationen entwickelte sich bis Ende 1989 ein Gesamtkonzept, das im Endausbau für die damalige Bundesrepublik 1 500 Stationen vorsieht. Danach kamen noch die neuen Bundesländer hinzu, für die ein Bedarf von 300 Stationen geschätzt wurde.

1.2 Hauptaktivitäten des Arbeitskreises

1.2.1 Messungen im Kleinzellennetz München

Die Kleinzellennetze und der Gesamtausbau waren darauf angelegt, die systemtechnischen Möglichkeiten des C-Netzes vollständig auszuschöpfen. Welche Kapazität damit tatsächlich erreicht werden konnte, war aber noch nicht verlässlich zu erkennen. Der Arbeitskreis sah deshalb seine erste Hauptaufgabe darin, die in den ursprünglichen Konzeptentwürfen der Kleinzellennetze angesetzten

Größen durch Meßreihen im Kleinzellennetz München nachzuprüfen. Die dafür erforderlichen Meß- und Auswerteverfahren mußten allerdings erst noch entwickelt werden, was einige Zeit in Anspruch nahm. Die Ergebnisse der Messungen stimmten dann mit den betrieblichen Erfahrungen und planerischen Erwartungen gut überein. Einige Abweichungen vom ursprünglichen Modell, so das damalige Fehlen einer der Stationen im ersten Ring, waren deutlich bemerkbar. Die Meßmethoden sind in Abschnitt 6 näher beschrieben.

1.2.2 Modellrechnungen mit TORNADO

Parallel zu den Messungen wurden von Siemens Modellrechnungen mit dem dort entwickelten Funkplanungssystem TORNADO vorgenommen, wobei die Koordinaten und sonstigen Parameter des Münchener Kleinzellennetzes verwendet wurden. Das TORNADO-Rechenverfahren und die im Jahr 1991 durchgeführten Berechnungen mit ihren Ergebnissen sind in Abschnitt 5 beschrieben. Das Ergebnis ist, daß 1 000 Sprechkanäle im Kleinzellennetz München nach abgeschlossener Optimierung realisiert werden können. Beim Vergleich der Rasterabstände 20 und 25 kHz mit jeweiligem Zwischenraster in Kapitel 5 sieht das 20-kHz-Raster etwas günstiger aus. Bei früheren TORNADO-Berechnungen war es umgekehrt (siehe Protokolle der Arbeitskreissitzungen vom 30.08.90 und vom 24.09.90). Dies ist auf unterschiedliche Berechnungsparameter zurückzuführen. Insgesamt kann festgehalten werden, daß beide Raster sich in allen Fällen nur geringfügig unterscheiden.

1.2.3 Bestimmung des bei der Funkplanung anzusetzenden HF-Störabstands

Bei den Modellrechnungen bestand immer wieder Unsicherheit, von welchen Parametern man ausgehen soll. Die Filtercharakteristik des Empfängers in der Feststation war bekannt, nicht jedoch die Eigenschaften der unterschiedlichen Fabrikate von Mobilstationen. Die Kenntnis der Übertragungsfunktion ist im übrigen nicht ausreichend, maßgebend sind vielmehr die von der Programmierung des Systems bestimmten Einsatzpunkte für internes und externes Umschalten. Diese Bedingungen wurden in zahlreichen Meßreihen bei ZfM C 2 ermittelt, so daß jetzt optimale Planungsparameter festgelegt sind (siehe Abschnitt 7).

1.2.4 Großversuch in Berlin mit geänderten Kanalraster

Sowohl bei den TORNADO-Berechnungen als auch bei den Meßaktionen hatte sich gezeigt, daß ein Wechsel des Frequenzrasters von bisher 20 kHz auf künftig 25 kHz (jeweils mit Zwischenraster) zu einem günstigeren Verhältnis zwischen Verkehrskapazität und Übertragungsqualität führen könnte. Nach positiv verlaufenden Vorversuchen entschloß man sich zu Anfang 1991, das gesamte Kleinzellen-netz Berlin auf das neue Raster umzustellen. Eine Frequenzumstim-mung war dort zur Inbetriebnahme zusätzlicher Kanäle ohnehin er-forderlich.

Die Umstellungsaktion in Berlin und die verschiedenen dabei ange-stellten Untersuchungen beschreibt Abschnitt 8. Der erwartete Vor-teil der Rasterumstellung hat sich in den meisten Ergebnissen be-stätigt. Ein wichtiger Vorteil ist, daß die besonders gravierende Störung des verständlichen Nebensprechens künftig noch seltener vorkommen wird als bisher. Es wurde deshalb entschieden, daß das Gesamtnetz in zwei Abschnitten bis Mitte 1992 auf das neue Raster umgestellt werden soll.

Zur Benennung des Rasterabstandes: Es ist in unserem Fall nicht ganz korrekt, von einem 12,5-kHz-Raster zu sprechen, weil Frequen-zen mit 12,5 kHz Versatz nicht ohne Einschränkung in benachbarten Stationen eingesetzt werden können. Das Störabstandskriterium von -15 dB erlaubt dies allerdings in den meisten Fällen, so daß man fast von einem 12,5-kHz-Raster sprechen könnte. Für die Verwendung von 12,5-kHz-Versatzfrequenzen innerhalb derselben Station sind weitere Einschränkungen zu beachten. Richtig ist deshalb, von ei-nem 25-kHz-Raster mit 12,5-kHz-Zwischenraster zu reden.

1.3 Gesamtergebnis

Der Arbeitskreis zur Ermittlung der Maximalkapazität des Funktele-phonnetzes C hat seine Aufgabe gelöst. Die restlichen Arbeiten der Planung und Optimierung können ohne seine Unterstützung vom Zen-tralamt für Mobilfunk im Zusammenwirken mit den Gebietsvertre-tungen erledigt werden.

Der Arbeitskreis hat die Grundlage dafür geschaffen, daß das heu-tige Planungsziel von 25 000 Sprechkanälen bei 1 800 Stationen als realistisch gelten kann. Dies ist insofern bemerkenswert, als noch vor einem Jahr nur maximal 18 000 als gesichert angesehen wurden.

2 Auftrag und Zielsetzung. Personenverzeichnis

Der Arbeitskreis "Maximalkapazität C-Netz" konstituierte sich im April 1990, sein Kern bestand aus Fachleuten des Zentralamtes für Mobilfunk und der Firma Siemens. Von Fall zu Fall wurden Experten von Fernmeldeämtern und Oberpostdirektionen beteiligt, denen auch besonders die Ausführung von Meß- und Umstimmaktionen anvertraut war.

Der Arbeitskreis hatte die Aufgabe, Möglichkeiten für die Steigerung der Kanalkapazität zu ermitteln, um die erwartete Teilnehmer- nachfrage bis zur Bereitstellung des Funktelefonnetzes D 1 möglichst weitgehend befriedigen zu können.

Der Arbeitskreis hat in 14 Plenarsitzungen und etwa ebensovielen Expertengesprächen verschiedene Möglichkeiten zur Steigerung der Kanalkapazität untersucht. Die Untersuchungen wurden durch Labor- messungen, Modellrechnungen und umfangreiche Meßaktionen in den Kleinzellennetzen München und Berlin begleitet.

In der nachfolgenden Liste sind die Personen aufgeführt, die im Arbeitskreis zur Ermittlung der Maximalkapazität im Funktelefon- netz C mitgearbeitet haben.

**Im Arbeitskreis zur Ermittlung der Maximalkapazität im
Funktelefonnetz C haben folgende Personen mitgearbeitet:**

Hildegard Aulenkamp, Dipl.-Päd.	Siemens München
Michael Färber, Dipl.-Ing.	Siemens München
Christian Frank, Dipl.-Ing.	Siemens München
Günther Hoffmann, Dipl.-Ing.	Siemens München
Christian Menzel, Dr. Ing.	Siemens München
Hans von der Neyen, Dipl.-Ing.	Siemens München
Michael Port, Dr. Ing.	Siemens München
Gerhard Rolle, Dipl.-Ing.	Siemens München
Hermann Schamoni, Dipl.-Ing.	Siemens München
Franz Schmalzl, Dipl.-Ing.	Siemens München
Wolfgang Schrammeck, Dipl.-Math.	Siemens München
Franz Teuschl, Dipl.-Ing.	Siemens München
Reinhard Rubik, Dr. phil.	Siemens Wien
Walter Pfingstner, Ing.	Siemens Wien
Peter Slanina, Dipl.-Ing.	Siemens Wien
Helmut Rauch, Dipl.-Ing.	Siemens Wien
Wilhelm Pritzl, Dipl.-Ing. (FH)	OPD München
Michael Neumann, Dipl.-Ing. (FH)	FuÜm München
Franz Grillmeier, Dipl.-Ing.	FuÜm München
Bartholomäus Weingartner	FuÜm München
Reiner Krämer, Dr.-Ing.	GV MobFu Berlin
Ulrich Käsbach, Dipl.-Ing.	FuÜm Köln
Ulrich Stäb, Dipl.-Ing.	Fus Hamburg
Karl-Heinrich Vogt, Dipl.-Ing.	ZfM Präs
Hermann Gabler, Dipl.-Ing.	ZfM A
Ulrich Hille, Dipl.-Ing.	ZfM A 1
Uwe Schröder, Dr.-Ing.	ZfM A 20b
Ulrich Isensee, Dr.-Ing.	ZfM A 20a
Josef Hermanns, Dipl.-Ing.	ZfM C 2
Wilhelm Filensky, Dr.-Ing.	ZfM C 2a
Armin Treusch, Dipl.-Ing.	ZfM C 2-1
Robert Forth, Dipl.-Ing.	ZfM C 2-4
Volkfried Obermüller, Dipl.-Ing.	ZfM C 2-6
Fred-Jürgen Breit, Dr.-Ing.	ZfM C 4
H.-Simon Holzträger, Dipl.-Ing.	ZfM A 2a
Martin Bögelsack, Dipl.-Ing.	ZfM A 2b
Günter Steinbach, Dipl.-Ing.	ZfM A 2-4
Josef Fuchs, Dipl.-Ing.	ZfM A 2-8
Gundi Giegerich, Dipl.-Ing.	ZfM A 2-10
Hans-Werner Lawrenz, Dipl.-Ing.	ZfM A 2, Vorsitz im AK
Wolfgang Diener, Dipl.-Ing.	ZfM A 2d, Geschäftsführung

3 Sitzungstermine und Aufgabenschwerpunkte

06. April 1990

- Konstituierung des Arbeitskreises;
- Meßaktion im Kleinzellennetz München;
- Vorbereitungen zu Modellrechnungen für das Kleinzellennetz München mit dem Planungssystem TORNADO;
- Prüfung der Selektion von Mobilgeräten bei 10 kHz Versatz.

09. Mai 1990

- Fortsetzung der Meßaktion München;
- Entwicklung der Auswertungsprogramme für die Messungen;
- Selektion der Mobilgeräte bei 10 kHz Versatz:
Unterschiede der Selektion zwischen Mobil- und Feststationen;
- Modellrechnungen für München mit TORNADO.

28. Mai 1990

- Erörterung der Zielplanung für den Arbeitskreis mit dem Präsidenten des Zentralamts für Mobilfunk;
- Arbeitsplan zur Festlegung der Netzkapazität für das Ausführungsprogramm 1991;
bis Juni 1990 mit ± 20 % Aussagesicherheit,
bis September 1990 mit ± 5 % Aussagesicherheit.

20. Juni 1990

- Modellrechnungen für Netz München;
V/R-Verhältnis der Richtantennen und dessen Einfluß auf die Störwahrscheinlichkeit;
- Vergleich der Meßergebnisse mit den Ergebnissen der Planungsrechnungen;
- Unterschiede zwischen den ursprünglichen Planungszahlen und der tatsächlichen Kapazität des Münchner Netzes; Ursachen: zu geringe Antennenhöhen, Fehler bei der Entfernungsmessung aufgrund von Reflexionen.
- Untersuchung weiterer Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung (Versatzkanäle, Frequenzwiederholung im 1. Ring, höhere zulässige Werte für die Störwahrscheinlichkeit, Sendeleistungsregelung, Parameteroptimierung).
- Selektion bei 10 kHz Versatz:
Bei 10 kHz Versatz weisen einige Mobilgeräte nur sehr geringe Dämpfung auf, bei einem Abstand von 12,5 kHz ist die Selektion wesentlich besser; deshalb:
- Untersuchung eines 12,5-kHz-Rasters.

11. Juli 1990

- Ergebnisse der Messungen mit Versatzkanälen in München:
Bei Verwendung von Versatzkanälen (10 kHz) ergaben sich nur geringfügige Verschlechterungen der Dienstgüte, Grund: gute Richtwirkung der Antennen.
- Modellrechnungen für Netz München mit unterschiedlichen Werten für die Nachbarkanaldämpfung und für 12,5-kHz-Raster;
- Untersuchung des 12,5-kHz-Rasters;
- Einsatzpunkt der Sendeleistungsregelung;
Möglichkeiten zur Reduzierung des Einsatzpunktes auf -80 dB oder -85 dBm.

30. August 1990

- Modellrechnungen mit 10 kHz und 12,5 kHz Versatz:
Die Zahl der gestörten Flächenelemente ist bei 12,5 kHz Versatz geringer als bei 10 kHz.
- Untersuchungen an Mobilgeräten
Viele im Markt befindliche Geräte weisen sehr schlechte Nachbarkanaldämpfung bei 10 kHz auf.
Bei bestimmten Mobilgeräten ergab sich für etwa 10 s ein verständliches Nebensprechen, bevor die Verbindung ausgelöst wurde
Die Selektion der Mobilgeräte ist bei 12,5 kHz Nachbarkanalabstand wesentlich besser (rund 10 dB) als bei 10 kHz.

24. September 1990

- Messungen mit Gleichkanalinterferenz im Netz München:
Erwartungsgemäß ergaben sich höhere Störwahrscheinlichkeiten als bei den Messungen mit Versatzkanälen.
- Messungen an einer Basisstation mit 12,5-kHz-Kanalraster:
Die Nachbarkanaldämpfung der Basisstationen ist auch schon ohne Änderung der Filter bei 12,5 kHz Abstand relativ gut.
- Untersuchungen an Mobilgeräten mit 12,5 kHz Frequenzversatz:
Der bereits festgestellte Gewinn von 10 dB bei der Selektion wird durch die Untersuchungen an allen vorliegenden Mobilgeräten erhärtet.
- Endkapazität (für damalige BRD): mindestens 13 000 Sprechkanäle.

08. November 1990

- Meßaktion in München:
Unter Berücksichtigung der Zeitachse ergab sich, daß die Unterschreitungswahrscheinlichkeit für den Störabstand durch Gleich- und Versatzkanalstörungen überraschend niedrig ist.
- Weitere Untersuchungen zum Frequenzabstand 12,5 kHz.

30. November 1990

- Messungen an einer noch nicht in Betrieb befindlichen Basisstation mit Einbeziehung des Abwärtsweges;
- Messungen an Mobilgeräten bei 10 kHz und 12,5 kHz Kanalabstand.

13. Februar 1991

- Messungen an Mobilgeräten bei 10 kHz und 12,5 kHz Kanalabstand:
Schutzabstand bei 10 kHz: 6 dB,
Schutzabstand bei 12,5 kHz: -8 dB.
- Messungen an einer noch nicht in Betrieb befindlichen Basisstation mit Einbeziehung des Abwärtsweges:
Bei den Messungen im 12,5 kHz Frequenzabstand ergaben sich fast keine Störungen.
- Messungen mit 12,5 kHz Frequenzabstand im Kleinzellennetz Berlin:
Erste Messungen ergaben, daß ein 12,5-kHz-Raster besser ist als das herkömmliche Raster mit 20/10 kHz; die Untersuchungen sollen fortgesetzt werden.

20. März 1991

- Großversuch mit 25/12,5-kHz-Raster in Berlin:
Der Großversuch wird vorbereitet.

15. April 1991

- Großversuch mit 25/12,5-kHz-Raster in Berlin:
Die Untersuchungen beginnen am 16. April 1991;
- Modellrechnungen für Netz München:
Es wurden keine nennenswerten Unterschiede im Störverhalten zwischen 10 kHz Versatz, 12,5 kHz Versatz und 12,5 kHz Grundraster bei 1 000 SpK im K1ZN München festgestellt.
- Leistungsregelung nach Qualitätskriterien
kann zu weiterer Kapazitätssteigerung führen, muß noch untersucht werden (AK Feldtest).

25. Juni 1991

- Großversuch mit 25/12,5-kHz-Raster in Berlin:
Erste Ergebnisse zeigen, daß der Vorteil einer Rasterumstellung nicht so auffällig ist wie zuvor erwartet, aber immer noch lohnend.
- Modellrechnungen für Netz München:
Es ergab sich, daß bei 1 422 SpK im K1ZN München das Störverhalten wegen häufigerer Gleichkanalinterferenzen im 25/12,5-kHz-Raster ungünstiger ist als bei 10 kHz Versatz.

13. September 1991

- Bericht und Diskussion über den Großversuch Berlin mit geänder-tem Kanalraster;
- Verabschiedung des Schlußberichts.

4 Modellbetrachtungen

Idealisierte Modelle sind eine Hilfe, um die von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusste Wirklichkeit zu vereinfachen, zu typisieren und besser zu verstehen. Im Mobilfunk werden häufig Modellbetrachtungen anhand von geometrisch regelmäßigen Zellenanordnungen angestellt. Wenn alle Funkfeststationen zueinander den gleichen Abstand haben, nehmen die Zellen die Gestalt von regelmäßigen Sechsecken an.

4.1 7er-Wiederholungsschema und 12er-Wiederholungsschema

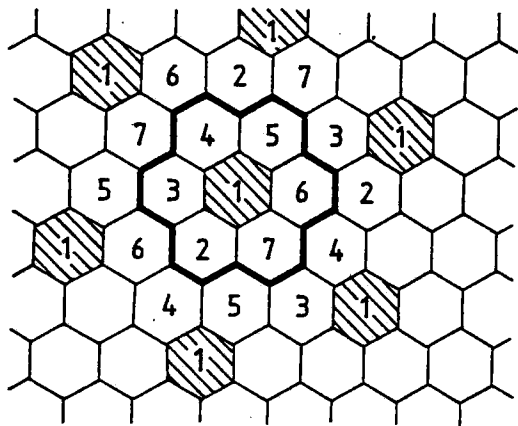


Bild 4-1

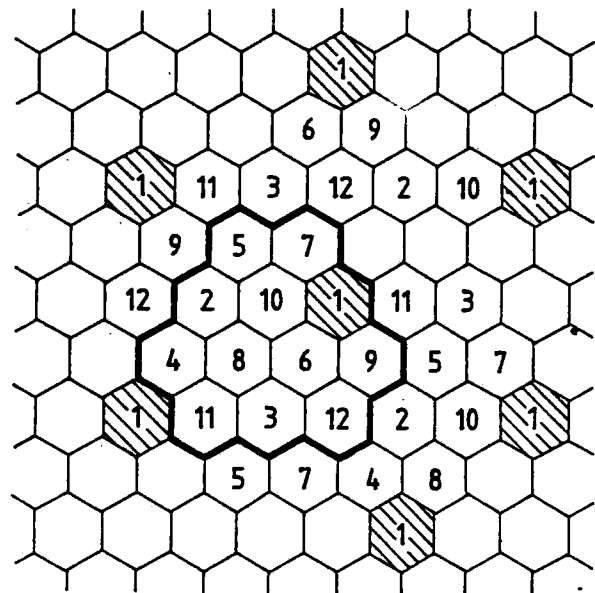


Bild 4-2

In solchen idealisierten Netzen von Sechseckzellen, die hinsichtlich Leistung, Frequenzbedarf und aller übrigen Parameter einander gleich sind, können die Frequenzen in wiederum regelmäßigem geometrischen Abständen wiederholt werden. Zellen mit gleicher Frequenz stehen zueinander in der Form gleichseitiger Dreiecke. Das Siebener- und das Zwölfer-Wiederholungsschema sind als Beispiele dargestellt. Beim Siebenerschema kann das verfügbare Frequenzspektrum in sieben gleichen Teile aufgeteilt und den einzelnen Zellen zugewiesen werden, beim Zwölferschema wird durch 12 geteilt. Regelmäßige Wiederholungen lassen sich mit jedem Teiler N erreichen, welcher die Bedingungen erfüllt

$$N = m^2 + mn + n^2$$

wobei m und n positive ganze Zahlen sind.

...

Zwischen einer beliebigen Bezugsstation (zum Beispiel der in den Bildern 4-1 und 4-2 mit 1 bezeichneten) und denjenigen Zellen der Umgebung, in denen diese Frequenz wiederholt wird, befinden sich andere Zellen, in denen die Wiederholung verboten ist. Beim 7er-Schema gelten solche Verbote für den ersten und zweiten Zellenring, das sind 18 Verbote; beim 12er-Schema sind es 33. Für beliebige N ist die Zahl V der Wiederholverbote

$$V = 3 (N - 1).$$

Welche Abstände für die Frequenzwiederholung zulässig sind, hängt vom HF-Pegelabstand zwischen Nutz- und Störsignal ab, den das System zum einwandfreien Funktionieren erfordert. Für analoge Mobilfunksysteme gilt ein 12er-Wiederholungschema als ein mit durchschnittlichem Aufwand erreichbarer Mittelwert. In Verkehrsschwerpunkten, wo höherer Aufwand gerechtfertigt ist und alle planerischen Mittel ausgeschöpft werden (z.B. Richtantennen) läßt sich bestenfalls ein 7er-Wiederholungschema realisieren.

Solche Modelle geben einen Maßstab dafür ab, was im Idealfall erreichbar ist. In der Wirklichkeit sind die Zellen natürlich ungleichförmig und haben unterschiedlichen Verkehrsbedarf.

4.2 Ideales sternförmiges Kleinzellennetz mit drei Zellenringen

Bild 4-3 zeigt ein Modell, wie es dem Münchener Kleinzellennetz zugrundeliegt. Um eine Mittelpunktzelle mit Rundstrahlantenne sind in drei Ringen Zellen mit Richtantennen angeordnet. Die Richtantennen sorgen für eine verbesserte Entkopplung zur Mitte hin, entsprechend dem dort konzentrierten Verkehrsbedarf.

Die verfügbaren Frequenzen wurden in Gruppen unterteilt, was aber nur der Übersichtlichkeit dienen soll. Diese Frequenzgruppen wurden nach den angegebenen Regeln ohne irgendwelche Hilfsmittel durch Ausprobieren zugeteilt. Die Regeln entsprechen einem 7er-Wiederholungschema für die Gleichkanalwiederholung.

Als Ergebnis sind in den 31 Zellen des Kleinzellennetzes insgesamt $79 \times 14 = 1\ 106$ Frequenzen zugeteilt worden, davon 434 im Stadtzentrum, nämlich in der Mittelpunktzelle und im ersten Ring.

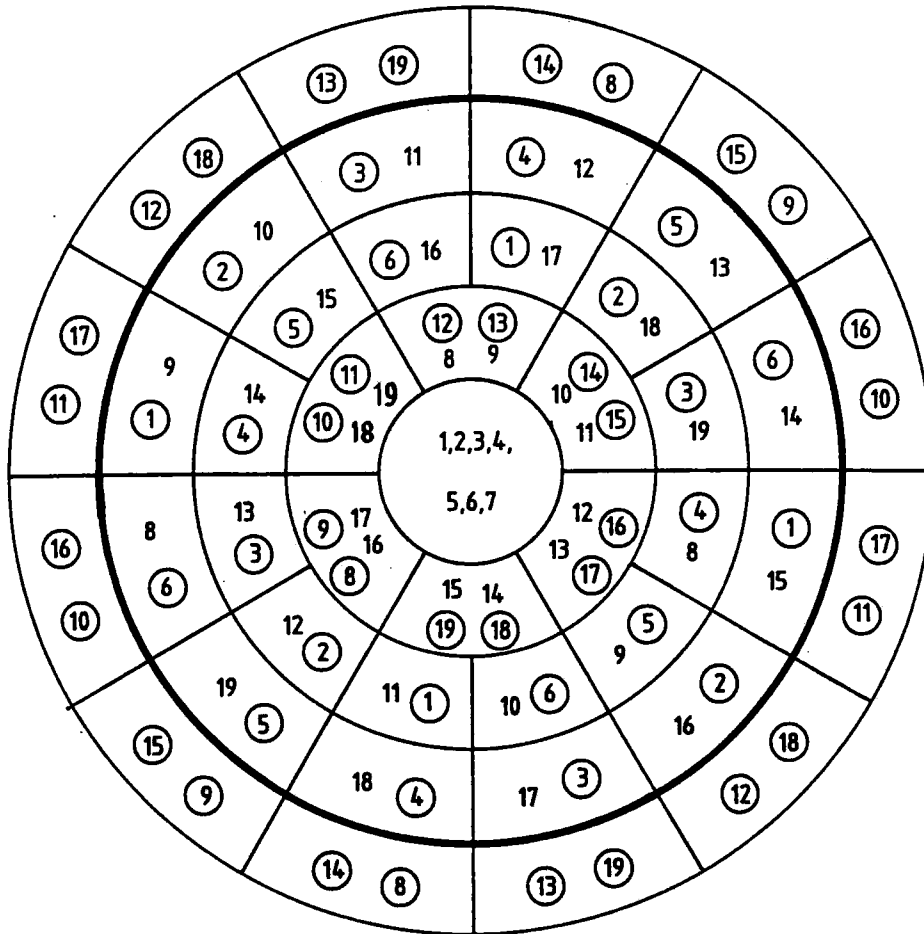


Bild 4-3

Modell eines sternförmigen Kleinzellennetzes (München)

- bestehend aus:
- Mittelpunktzelle mit Rundstrahlantenne
 - Erstem Zellenring mit 6 Zellen
 - Zweitem Zellenring mit 12 Zellen
 - Drittem Zellenring mit 12 Zellen
- } mit Richtantennen

Die Umgebung (außerhalb der dicken Kreislinie) ist durch einen weiteren Zellenring angedeutet.

Frequenzteilung (verfügbares Frequenzspektrum: 5,74 MHz)

1 ... 19 sind Gruppen von je 14 Frequenzen im 20-kHz-Grundraster
① ... ⑱ sind Gruppen von je 14 Frequenzen im Zwischenraster
(Die Frequenzteilung in Gruppen ist nur wegen der besseren Übersichtlichkeit in dieser Modelldarstellung gewählt worden)

Bedingungen der Frequenzteilung

- Versatzkanäle sind durch mindestens 1 Zelle getrennt.
- Gleichkanalzuweisungen sind durch mindestens 2 Zellen getrennt.
- Die Störwirkung der umgebenden Stationen außerhalb des Großstadtgebietes ist durch Zellteilung so weit reduziert, daß deren Frequenzen innerhalb der Kleinzellennetzes wiederverwendet werden können. Dadurch steht im Kleinzellennetz das gesamte Frequenzspektrum zur Verfügung.

...

Wenn der Verkehrsbedarf weniger auf die Mitte konzentriert wäre als hier angenommen, könnten noch mehr Frequenzen zugeteilt werden.

Die dargestellte Frequenzzuweisung ist nur eine Möglichkeit von vielen ähnlichen.

Wenn statt des hier betrachteten 20-kHz-Rasters mit 12,5-kHz-Zwischenraster das neue 25/12,5-kHz-Raster in dieses Modell eingesetzt wird, stehen natürlich entsprechend weniger Frequenzen zur Verfügung. Dem steht gegenüber, daß Kanäle mit 12,5 kHz Versatz in der Regel bereits in der Nachbarzelle verwendet werden können, während bei 10 kHz Versatz mindestens eine Zelle dazwischen sein muß. Es ist deshalb ungefähr dasselbe Ergebnis zu erwarten, wie es auch die von Siemens mit TORNADO angestellten Modellrechnungen gezeigt haben (siehe Abschnitt 5). Ebenso wie aus den TORNADO-Untersuchungen läßt sich aus der vorstehenden Modellbetrachtung schließen, daß dem Münchener Kleinzellennetz nach vollständiger Optimierung etwa 1 000 Frequenzen zugeteilt werden können.

4.3 Einfluß der Verkehrsverteilung

Im Anfangsstadium des C-Netzes wurde der gesamte Münchener Raum von einer einzigen Station aus versorgt, dem Olympiaturm. Der Verkehrsanteil dieser Station am Gesamtverkehr der damaligen Bundesrepublik betrug 7 %. Dieser Anteil hatte sich Anfang 1990 auf 6,2 % verringert, und in den Bedarfszahlen des Ausführungsprogramms 1991 sogar auf 5 %. Neue Verkehrsmessungen, die dem Ausführungsprogramm 1992 zugrunde liegen, bestätigen den Anteil von 5 %. Wenn man diese 5 % mit 1 000 Kanälen gleichsetzt, können den alten Bundesländern insgesamt 20 000 Kanäle bedarfsgerecht zugewiesen werden.

5 Rechnersimulationen für das Kleinzellennetz München

Im Rahmen des Arbeitskreises Maximalkapazität C-Netz wurden durch die SIEMENS AG Berechnungen mit dem Mobilfunk-Netzplanungstool TORNADO zum Kleinzellennetz München durchgeführt. Es handelt sich dabei um Versorgungsberechnungen, die auf Feldstärke- und Störungsberechnungen und einer optimalen Zuweisung der Sprechkanäle (SpK) zu den Basisstationen ("Frequenzoptimierung") beruhen. Da nicht alle systemspezifischen Besonderheiten des C-Netzes durch TORNADO berücksichtigt werden können, müssen die Rechnungsergebnisse gegebenenfalls auch anderen Eigenschaften des C-Netzes gegenübergestellt werden.

Mittels der Berechnungen sollten die Fragen beantwortet werden,

- wieviele Kanäle überhaupt im Kleinzellennetz München respektive im bundesweiten C-Netz installierbar sind und
- ob für die maximale Netzkapazität ein 12,5 kHz-Versatzkanalraster oder ein 10-kHz-Versatzkanalraster besser geeignet ist.

Dazu wurde eine Vielzahl aufwendiger TORNADO-Berechnungen durchgeführt. In diesem Kapitel wird auf 9 Berechnungsvarianten eingegangen, die durch folgende Werte gekennzeichnet sind:

- [1] 1 000 SpK, 20 dB V/R der Antennen, 10-kHz-Versatzkanalraster
- [2] 1 000 SpK, 20 dB V/R der Antennen, regul. 12,5-kHz-Raster
- [3] 1 000 SpK, 20 dB V/R der Antennen, 12,5-kHz-Versatzkanalraster
- [4] 1 000 SpK, 15 dB V/R der Antennen, 10-kHz-Versatzkanalraster
- [5] 1 000 SpK, 15 dB V/R der Antennen, regul. 12,5-kHz-Raster
- [6] 1 000 SpK, 15 dB V/R der Antennen, 12,5-kHz-Versatzkanalraster
- [7] 1 422 SpK, 20 dB V/R der Antennen, 10-kHz-Versatzkanalraster
- [8] 1 422 SpK, 20 dB V/R der Antennen, regul. 12,5-kHz-Raster
- [9] 1 422 SpK, 20 dB V/R der Antennen, 12,5-kHz-Versatzkanalraster

(Im folgenden werden die Berechnungen mit ihren Nummern bezeichnet: z.B. Berechnung [1])

Die Ergebnisse von [1] bis [9] sind ausführlich in /1/ dargestellt. Die Übersichtsplots der Berechnung [4], [5] und [6] sind im Anhang zu diesem Kapitel enthalten (Bilder 5-1, 5-2 und 5-3).

5.1 Beschreibung der Frequenzoptimierung mit TORNADO

Zum besseren Verständnis soll kurz auf die Spezifik der TORNADO-Algorithmen hinsichtlich der Frequenzoptimierung eingegangen werden. Weiterhin soll erläutert werden, welche Aussagen aus den TORNADO-Ergebnissen ableitbar sind.

TORNADO berechnet auf der Grundlage der Feldstärke, die jede Basisstation (BS) in jedem Punkt des Planungsgebietes besitzt - also auch in den Nachbarzellen und in entfernten Zellen - eine Störmatrix. Diese Störmatrix gibt an, wie stark die Störungen sind, die eine Station im Gebiet der Zelle einer anderen Station im Mittel verursacht. Sie ist die Grundlage der Frequenzoptimierung. Bei der Frequenzoptimierung werden zunächst unter Berücksichtigung bestimmter Vergaberegeln die laut Frequenztabelle möglichen Frequenzen auf die Stationen entsprechend der erforderlichen SpK-Anzahl verteilt. Mit dieser Frequenzverteilung wird unter Benutzung der Störmatrix ein Wert (Zielfunktion der Störungen) berechnet, der die Güte der Frequenzverteilung charakterisiert. Nun werden die Frequenzen zwischen den Basisstationen systematisch vertauscht und jeweils die Zielfunktion der Störung berechnet, bis diese sich nicht mehr verringert. Damit ist die optimale Frequenzverteilung gefunden.

Durch dieses Verfahren findet TORNADO bei quasi jeder SpK-Anzahl eine optimale Frequenzverteilung. Optimal heißt dabei, daß es sich zwar um die bestmögliche Frequenzverteilung handelt, die aber nicht unbedingt in dem simulierten Netz ein störungsfreies Telefonieren ermöglicht. TORNADO liefert damit keine Anzahl von SpK, die in einem Netz maximal installierbar ist. Wesentliches Ergebnis der Berechnungen ist ein Planungsprotokoll, dem zu entnehmen ist, wie das bei der vorgegebenen SPK-Anzahl optimale Netz zu konfigurieren ist und wie hoch die Störwahrscheinlichkeiten in den einzelnen Kanälen im Mittel über der Zellfläche sind. Als weiteres Ergebnis wird ein Übersichtsplot erstellt, der zeigt, wo in den Zellen Störungen in einzelnen Kanälen (gelbe Flächen) oder der überwiegenden Anzahl der Kanäle (rote Flächen) zu erwarten sind.

Die Güte des Optimierungsergebnisses ergibt sich daraus, ob die problematischen Flächen in Gebieten mit hoher Teilnehmerdichte liegen und ob die Einzelkanalstörwahrscheinlichkeiten aus dem Planungsprotokoll den Ansprüchen des Netzbetreibers genügen.

Die Ergebnisse der sich an die Frequenzoptimierung anschließenden Störungsberechnung entsprechen dabei dem Fall, daß das Netz voll ausgelastet ist. Für ein leicht unterbelastetes Netz würden sich in praxi günstigere Störverhältnisse ergeben, wohingegen sie bei Überlast ungünstiger werden und etwas anders verteilt sein können.

Durch die erläuterte Frequenzoptimierung wird mit TORNADO die Realität insoweit sehr gut nachgebildet, als durch Hinzufügen weiterer SpK in ein Mobilfunknetz dieses nicht ab einer bestimmten SpK-Anzahl zusammenbricht, sondern sich lediglich die Störungen mit zunehmender SpK-Anzahl erhöhen. Das ist darin begründet, daß TORNADO statt mit festen Verbotsregeln mit einer Störmatrix arbeitet, welche die Wiederholmöglichkeiten zwischen den Zellen nicht starr verbietet oder erlaubt, sondern anhand der möglichen gegenseitigen Störungen gewichtet.

5.2 Diskussion der Berechnungsergebnisse

5.2.1 Teilnehmerzahl

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit 1 000 SpK und mit 1 422 SpK zeigt besonders im Bereich der Zentrumszelle und des ersten Ringes eine starke Zunahme von Störungen bei 1 422 SpK. Das ist mit der häufigen Gleichkanalwiederholung in diesem Gebiet bei 1 422 SpK zu erklären. So ist - wenn man die hier vorausgesetzte Verkehrsverteilung als fix ansieht - beim 12,5-kHz-Raster ab ca. 950 SpK eine Gleichkanalwiederholung innerhalb des 1. Ringes notwendig; beim 10-kHz-Raster ab ca. 1 200 SpK.

Die Berechnungsergebnisse deuten damit darauf hin, daß 1 000 SpK im Kleinzellennetz München mindestens installiert werden können (vgl. auch angefügte Übersichtsplots, Bild 5-1, 5-2 und 5-3). Diese Aussage gilt mit der in Abschnitt 3.1 erläuterten Genauigkeit. Für den Fall, daß die Teilnehmerzahl überproportional in den Randgebieten zunimmt (das entspricht einer "Abflachung" der Verkehrsverteilung), kann diese SpK-Anzahl ohne weiteres nach oben korrigiert werden.

Die für diese Untersuchung durchgeführten TORNADO-Berechnungen basieren auf sehr allgemeinen planungstechnischen Vorgaben. Durch weitere sorgfältige Feinplanung (Auswahl von Antennen mit der Zellform entsprechenden Charakteristiken, Anpassen von Sendeleistung, Antennenhöhe und Hauptstrahlrichtung an die Erfordernisse jeder Zelle, Neigen von Antennen usw.) sind deutliche Verringerungen von Störungen im Kleinzellennetz München zu erwarten.

5.2.2 Vergleich der Frequenzraster

Ein ausführlicher Vergleich der Berechnungsergebnisse hinsichtlich der besseren Eignung des 10-kHz- oder 12,5-kHz-Versatzkanalrasters ergab, daß das 10-kHz-Versatzkanalraster besser geeignet ist, um bei gleicher SpK-Anzahl das Netz mit geringeren Störungen zu betreiben. Dies wurde besonders aus dem Vergleich der Einzelkanalstörwahrscheinlichkeiten der einzelnen Stationen des 1. Ringes und der Zentrumszelle bei den unterschiedlichen Frequenzrastern und bei den Berechnungsversionen mit 1 000 SpK deutlich.

Die Übersichtsplots der Berechnungen [4], [5] und [6], welche die Tendenz der etwas besseren Eignung des 10-kHz-Versatzkanalrasters auch erkennen lassen, sind diesem Kapitel angefügt (Bild 5-1, 5-2 und 5-3).

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse sollte jedoch auch berücksichtigt werden, daß TORNADO das reale Netz mit endlicher Genauigkeit nachbildet. Einige dynamische Vorgänge wie Auftreten von Störungen und Umschaltanreize werden dabei durch feste statistische Größen beschrieben, die sich aus Messungen ergaben.

Damit ist es sinnvoll, diese Ergebnisse auch anderweitig (z.B. durch Untersuchungen am realen Netz) gefundenen Ergebnissen gegenüberzustellen, um zu einer noch besser abgesicherten Aussage zu gelangen.

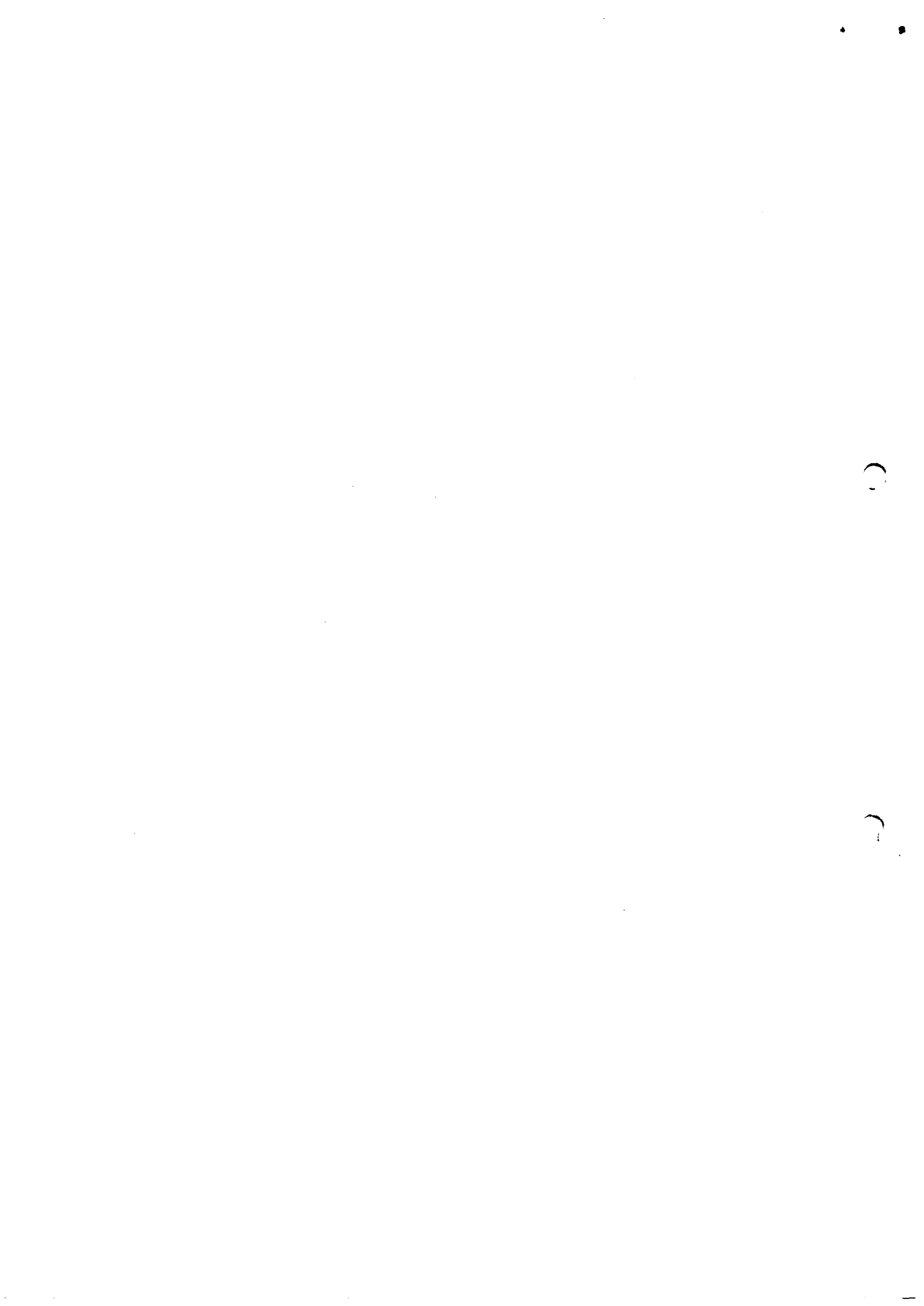
Der Vergleich der TORNADO-Ergebnisse hinsichtlich der besseren Eignung des 10-kHz- oder 12,5-kHz-Versatzkanalrasters ist ausführlich in /1/ dargelegt. Dort sind nicht nur die Übersichtsplots und "Zellgesamtstörungen" sondern auch die wesentlich informativeren Planungsprotokolle (vgl. /1/ Anhang 5) ausgewertet worden.

Bemerkenswert bei den Ergebnissen ist, daß bei Berechnung [4] (15 dB V/R) von TORNADO keine Gleich- oder Versatzkanalwiederholung in Nachbarzellen vorgenommen wurde, obwohl die Versatzkanalwiederholung nicht explizit gesperrt war. Bei Berechnung [1] (20 dB V/R) wurden Versatzkanäle in Nachbarzellen vergeben, was mit dem größeren V/R und damit der geringeren Störung in Rückwärtsrichtung erklärbar ist. Somit würde sich bei der Durchführung der Berechnung [1] (10-kHz-Abständen) mit Sperrung von Gleich- und Versatzkanalwiederholung in den Nachbarzellen weiterhin eine geringere Störung als bei Berechnung [2] oder [3] (12,5-kHz-Raster) ergeben.

Generell sind auch bei diesem Vergleich der Berechnungsergebnisse die Erläuterungen zu TORNADO aus Abschnitt 5.1 zu berücksichtigen.

Quellen

/1/ Vergleich der Netzkapazitäten C450 bei 10-kHz- und 12,5-kHz-Zwischenraster und bei regulärem 12,5-kHz-Raster am Beispiel des Kleinzellennetzes München / Chr. Menzel - München, Juli 1991, SIEMENS AG, ÖV VP 12 - Abschlußbericht im Rahmen des AK Netzkapazität.



Kleinzellennetz München,
1000 SPK, V/R=-15dB, 10kHz-ZR
ZR-Dämpf. 20dB

SIEMENS AG OEV VPT22
Bearb.: Menzel
Land muenchen
Planung 4.700
1991.05.27 21:55

Uebersichtsplot SPK opt.
M= 1:200000/Bezugs- BS ein

gestoert (>15.00)

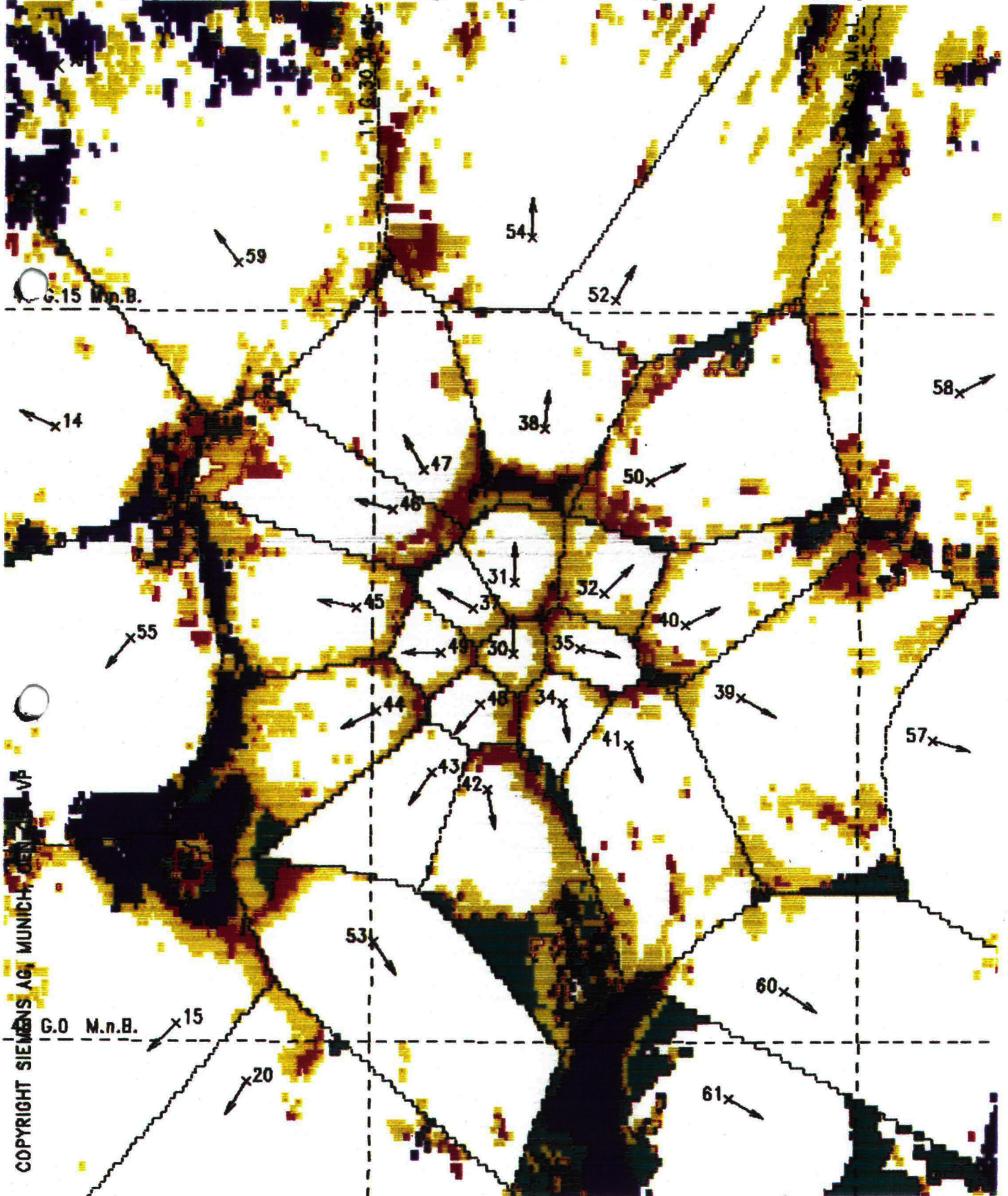
ungestoert (<=15.00)

unterversorgt (>10.00)

Bezugs-BS_ungeschaltet

Bezugs-BS_ungeschaltet_und_gestoert

Einzelkanal gestoert



COPYRIGHT SIEMENS AG MUNICH, GEN. VP

Bild 5-1



12.5 kHz - Regul.

1000 SPK

15dB V/R

Übersichtsplot SPK opt.

M= 1:200000/Bezugs BS cin

SIEMENS AG OEV VP122

Bearb.: PSE

land trmch

Planung 5.715

1991.06.21 12:08

gestoert (>15.00)

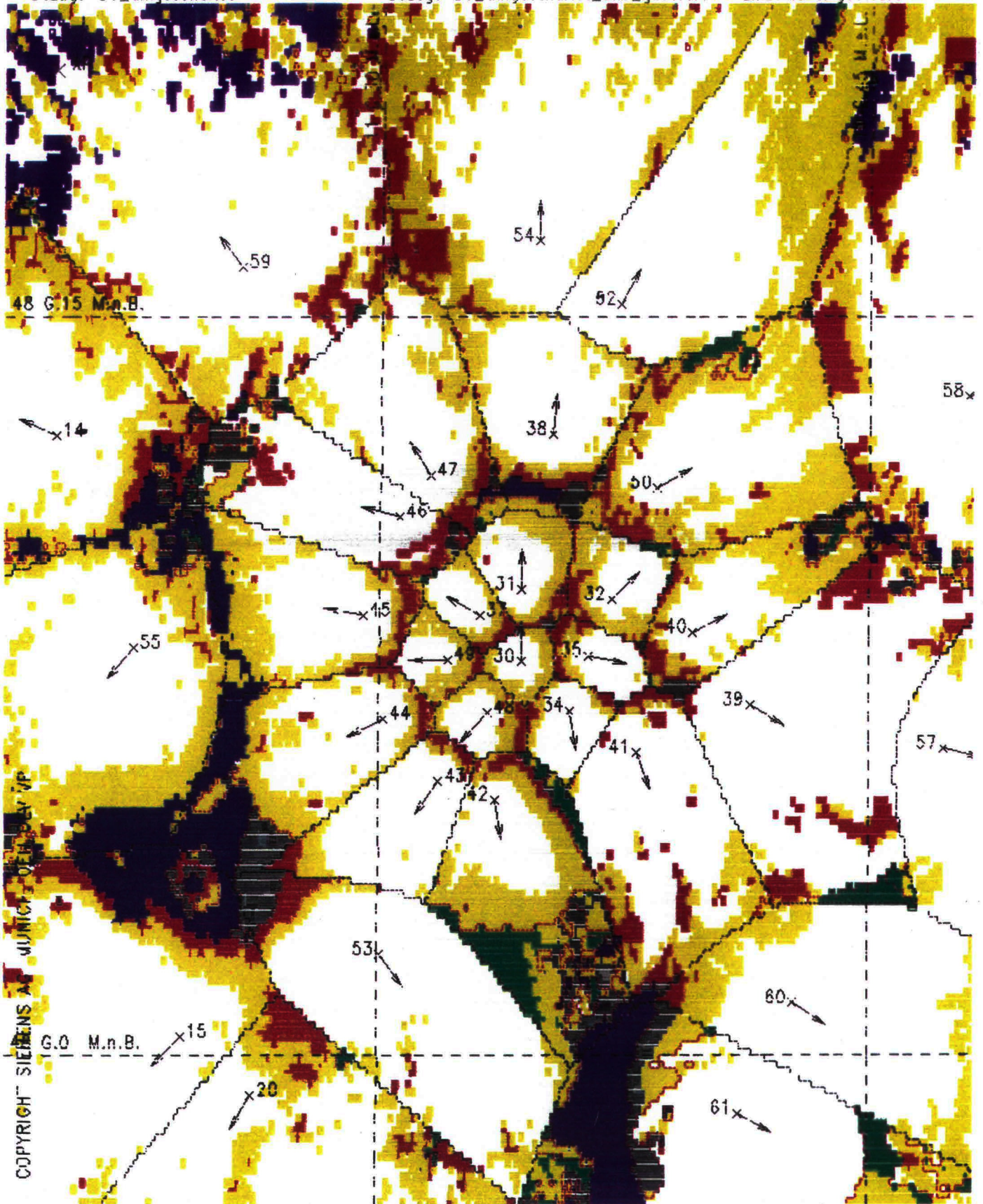
ungestoert (<=15.00)

unterversorgt (>10.00)

Bezugs-BS umgeschaltet

Bezugs-BS umgeschaltet_und_gestoert

Einzelkanal gestoert





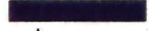
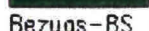
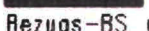
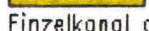
COPYRIGHT SIEMENS AG MUNICH, GERMANY

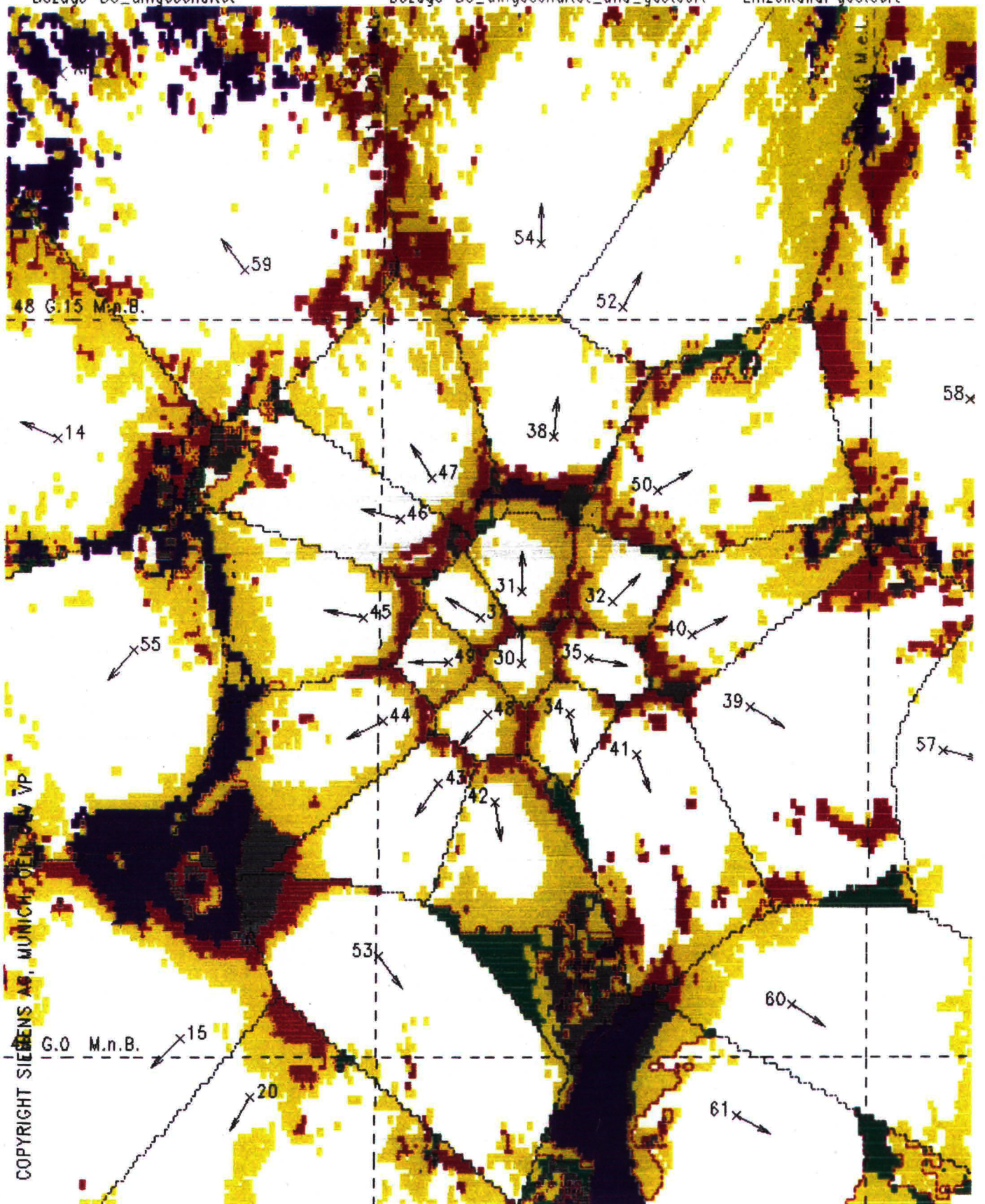
Bild 5-2



c 12.5 kHz-ZR.
1000 SPK
15dB V/R
Uebersichtsplot SPK opt.
M= 1:200000/Bezugs- BS ein

SIEMENS AG OEV VP122
Bearb.: PSE
Land trnmch
Planung 6.715
1991.06.21 12:31

 gestoert (>15.00)	 ungestoert (<=15.00)	 unversorgt (>10.00)
 Bezugs-BS_umgeschaltet	 Bezugs-BS_umgeschaltet_und_gestoert	 Einzelkanal gestoert



COPYRIGHT SIEMENS AG, MUNICH, GERMANY VP

Bild 5-3

C

L

6 Meßmethoden zur Ermittlung der Übertragungsqualität im realen Netz

Die zahlreichen vom ZfM im Zusammenhang mit den Untersuchungen zur Maximalkapazität angewandten Meßverfahren können in zwei Kategorien unterteilt werden, und zwar in Labormessungen zur Erfassung des Verhaltens der Funktelefone und der Funkfeststationen unter definierten und reproduzierbaren Nutzkanal- und Störkanal-Pegelbedingungen und in Messungen, die im realen Netz Anwendung fanden, um statistische Aussagen über die Übertragungsqualität einer Vielzahl von SpK-Verbindungen zu gewinnen, wenn auf engem Raum Gleich- bzw. Versatzkanäle zum Einsatz kommen.

6.1 Laboruntersuchungen

Bei den Laboruntersuchungen wurden das Selektionsverhalten der mobilen Empfänger sowie die Luftschnittstelleneigenschaften von Mobil- und Feststation in störbehaftetem Funkfeld näher untersucht.

6.1.1 Selektionscharakteristik der mobilen Empfänger

Die Messungen zu den Filtereigenschaften des mobilen Empfängers geschahen im Wartungsmodus (Schalten von Einzelkanälen und Durchschalten der NF-Wege unter Wegfall der systembezogenen Gerätesteuerung), um anhand der Selektionscharakteristik erste Aussagen über den zu erwartenden Geräuschabstand bei Versatzkanalbelegung zu gewinnen. Im einzelnen wurden die Empfänger-Durchlaßkurven der verschiedenen im Netz befindlichen Funktelefon-Typen erfaßt, wobei in Abhängigkeit von der Frequenzablage derjenige Signalpegel ermittelt wurde, der zur Erzeugung eines konstanten NF-Pegels erforderlich ist.

Desweiteren wurden die Nachbarkanal-dämpfungen aller Funktelefon-Typen gemäß Technischer Richtlinie FTZ 171 TR 60 vermessen (d.h. das Nutzsignal wird auf den Wert gebracht, bei dem der mobile Empfänger 20 dB SINAD aufweist; anschließend wird das Störsignal soweit erhöht, bis der Geräuschabstand auf 14 dB zurückgeht).

6.1.2 Luftschnittstellenverhalten von Mobil- und Feststation

Da im C-Netz für das Halten bzw. für das Umschalten und Auslösen einer SpK-Verbindung allein der bei der Datenübertragung innerhalb der konzentrierten und verteilten Signalisierung auftretende Jitter die maßgebende Größe ist, wurden im Verbindungszustand mittels C-Netz-Simulatoren und modifizierter Labor-Funkfeststationen zahlreiche Untersuchungen bei Gleichkanal- und Versatzkanal-Störern durchgeführt.

...

6.1.2.1 Simulator-Meßmethode

Charakteristisch für dieses Verfahren ist, daß zwei Schlumberger-C-Netz-Simulatoren mit individuell einstellbaren Signalpegeln und Frequenzversatz im Synchronbetrieb arbeiten, wobei der erste das Nutzsignal liefert und somit zur Herstellung der SpK-Verbindung mit dem zu untersuchenden Funktelefon dient, während der zweite das störende Gleichkanal- bzw. Versatzkanal-Signal, moduliert mit einem Ansagedienst oder der mit jedem kommendem Gespräch verbundenen Rufton-Aufschaltungssignalisierung, liefert.

Beide Signale werden über einen 6-dB-Leistungsteiler zusammengeführt und in den Antenneneingang des zu untersuchenden Funktelefones eingespeist. Als Grenzwerte für Umschalten und Auslösen sowie als zugehörige Mittelungsfaktoren wurden die netzweit verwendeten Parameter über die Luftschnittstelle vorgegeben. Damit das Datenmodulationsspektrum der zu simulierenden Funkfeststation dem des realen Netzes entspricht, wurden die Sendesignale der Simulatoren mittels mehrpoliger Tiefpaßfilter den Gegebenheiten der Festseite angepaßt.

6.1.2.2 Messungen mittels Labor-Funkfeststation

Um auch das Verhalten des ortsfesten Empfängers bei Versatzkanalbelegung in die Betrachtungen einzubeziehen und um die Übertragungsqualität im Falle von Feldstärkeschwankungen, also unter Zwischenschaltung eines Schwundsimulators, zu untersuchen, wurde die Labor-Funkfeststation des ZfM in modifizierter Weise herangezogen.

Hierzu wurden zwei SpK mit dem zu untersuchenden Frequenzabstand (10 kHz/12,5 kHz/20 kHz) eingerichtet und mittels zweier Funktelefone je eine Verbindung über den zu prüfenden und den störenden SpK aufgebaut. Zur Schaffung konstanter Pegelverhältnisse wurde die Sendeleistungsregelung abgeschaltet. Die Einstellung des gewünschten Pegelabstands und des erforderlichen Empfängereingangspiegels geschah über Eichleitungen, als Modulation von Störer und Prüfling fungierten Ansagedienste. Ausgewertet wurden zum einen die Umschaltanträge der beteiligten Funktelefone bzw. die Umschaltsignalisierungen in der Funkfeststation mittels DKO-Tracer und zum anderen die kanalbezogenen Jitter- und Pegelverhältnisse auf Seiten der Funkfeststation mittels Tracer-85-Verfahren.

Zur Nachbildung der den Mobilfunkverbindungen eigenen Feldstärkeschwankungen kam der im Forschungsinstitut der DBP T entwickelte 450-MHz-Funkkanalsimulator zum Einsatz, der in die Empfangswege von Funktelefon und Funkfeststation eingeschleift wurde.

6.2 Untersuchungen im realen Netz

Für die Untersuchungen im realen Netz im Rahmen der in den Kleinzellennetzen Frankfurt und Berlin durchgeführten Versuche wurden Messungen zum einen auf der Festseite (Funkfeststation und FuVE) und zum anderen auf der Funktelefon-Seite durchgeführt.

6.2.1 Messungen an Funkfeststation und Funkvermittlung

Für die Untersuchungen auf der Festseite kamen das DKO-Tracer-, Tracer-85- und TRAFFIM-Verfahren zum Einsatz.

Bei der DKO-Tracer-Methode werden die im Zusammenhang mit dem SpK-Verkehr auftretenden Signalisierungsdaten der gesamten Funkfeststation erfaßt, mit einem Rechnerprogramm hinsichtlich der interessierenden Daten (z.B. Zahl der SpK-Verbindungen, Umschaltungen intern/extern, Abbrüche, Abbruchgründe) ausgefiltert und zur weiteren statistischen Auswertung auf Diskette aufgezeichnet.

Mit dem Tracer 85 können *kanalbezogene* Daten wie Jitter und Pegel von ausgesuchten Kanälen, z.B. wo der Versatzkanal in einer unweit entfernten Zelle wieder zum Einsatz kommt, erfaßt und auf Diskette aufgezeichnet werden. Die Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich der mittleren Störwahrscheinlichkeit bei gleichzeitiger Belegung des Nachbarkanals geschah bei der Firma Siemens/Wien.

Mit TRAFFIM (MoBFu Nbg) können durch gezieltes Auslesen von Ereigniszählern Informationen über vorgegebene Funkfeststationen, wie z.B. Auslastung, interne/externe Umschaltungen und Abbrüche gewonnen werden.

6.2.2 Messungen an Mobilgeräten

In den Meßverfahren auf der Mobilseite kamen das Funktelefon Siemens C 2 und der Motorola-C-Netz-Analysator zum Einsatz. Beim Siemens C 2 mit Monitor wurden im Rahmen von Meßfahrten eine Vielzahl von Verbindungen in dem zu untersuchenden Gebiet aufgebaut, eine subjektive Beurteilung der Kanalqualität durchgeführt und die Ergebnisse per Handaufzeichnungen festgehalten.

Mit dem Motorola C-Netz-Analysator ist es möglich, die Signalisierungen zwischen Funktelefon und Funkfeststation im Oberband und im Unterband auf vorwählbaren OgK- und SpK-Frequenzen aufzuzeichnen und auszuwerten, was der Beobachtung ausgesuchter, durch Versatzkanalbelegung gefährdeter SpK hinsichtlich Belegungsdauer, Belegungshäufigkeit, Umschalhäufigkeit und Auslösegründen diene.

7. Meßtechnische Untersuchungen zum Verhalten von Feststationen und Mobilgeräten

7.1 Selektion der C-Netz-Empfänger

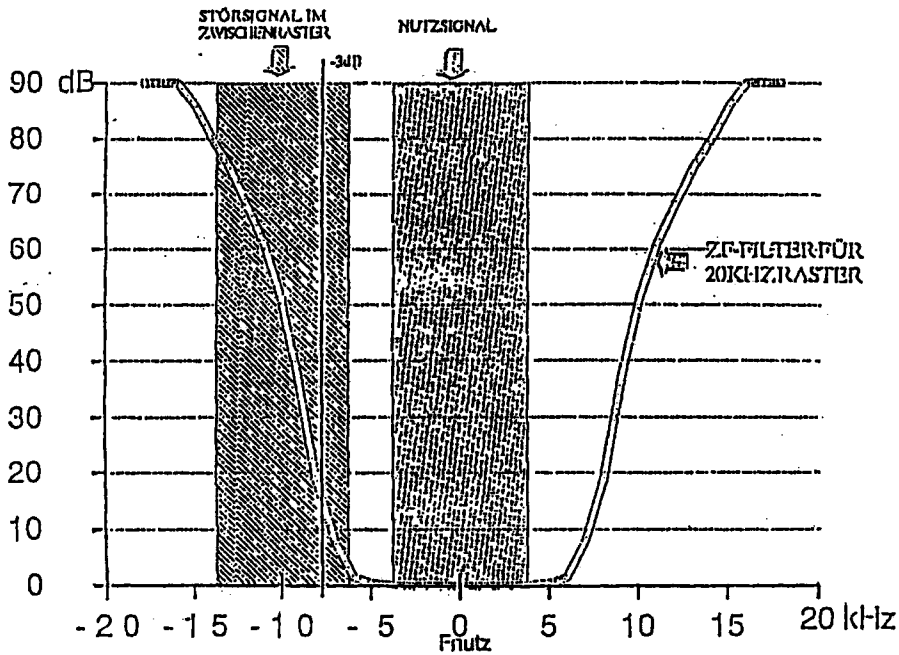
Die Ermittlung der ZF-Durchlaßkurven aller Funktelefon-Typen und eines Funkfeststations-Empfängers fand in der folgenden Weise statt:

- Empfänger im Wartungsmodus (softwaregesteuert, Erläuterung siehe Abschnitt 6.1.1),
- mittlerer Kanal programmiert,
- Amplituden-Kompander aus und Messung des NF-Rauschpegels,
- Beaufschlagung auf Sollfrequenz mit einem HF-Signal, das eine NF-Rauschunterdrückung von 10 dB ergibt,
- Durchfahren der Sollfrequenzabweichung bis zu ± 16 kHz und Messen des jeweiligen HF-Signals, das ebenfalls eine NF-Rauschunterdrückung von 10 dB bewirkt,
- Auftragen der Meßwerte und Zeichnen der Durchlaßkurve aus diesen Werten.

Zusätzlich sind die Werte der Nachbarkanaldämpfung der Funktelefone im Abstand von ± 20 kHz, $\pm 12,5$ kHz und ± 10 kHz vergleichend aufgenommen worden (gemessen nach Richtlinie FTZ 171 R 60).

Ergebnisse:

Als typisch für Feststationen kann die von Siemens gelieferte Kurve (Bild 7-1) betrachtet werden, bestätigt durch eine wie oben beschriebene Messung durch ZfM C 2 (Bild 7-2).



h.rauch siemens elg 113 6.4.90

Bild 7-1

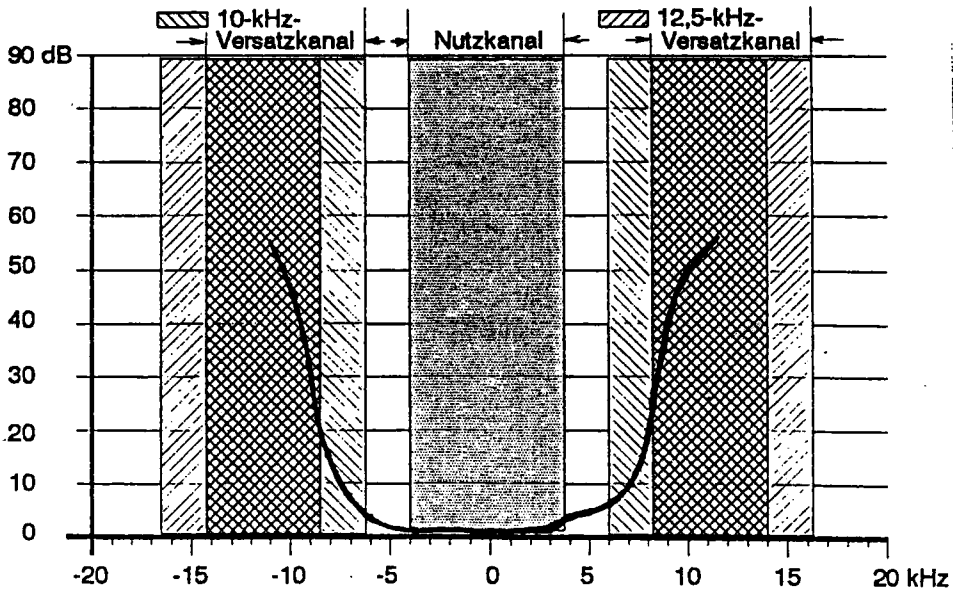


Bild 7-2

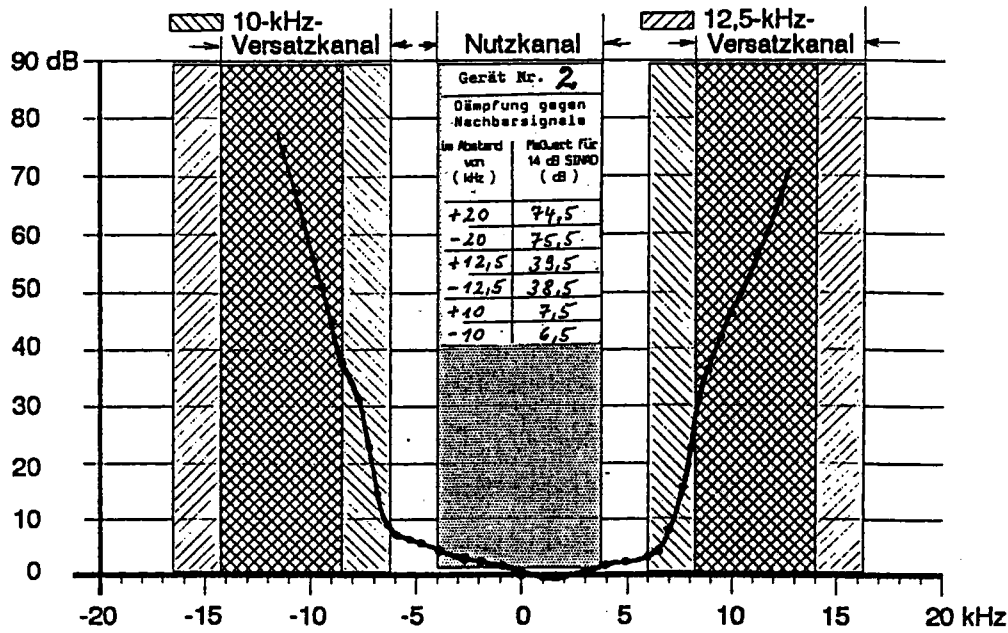


Bild 7-3

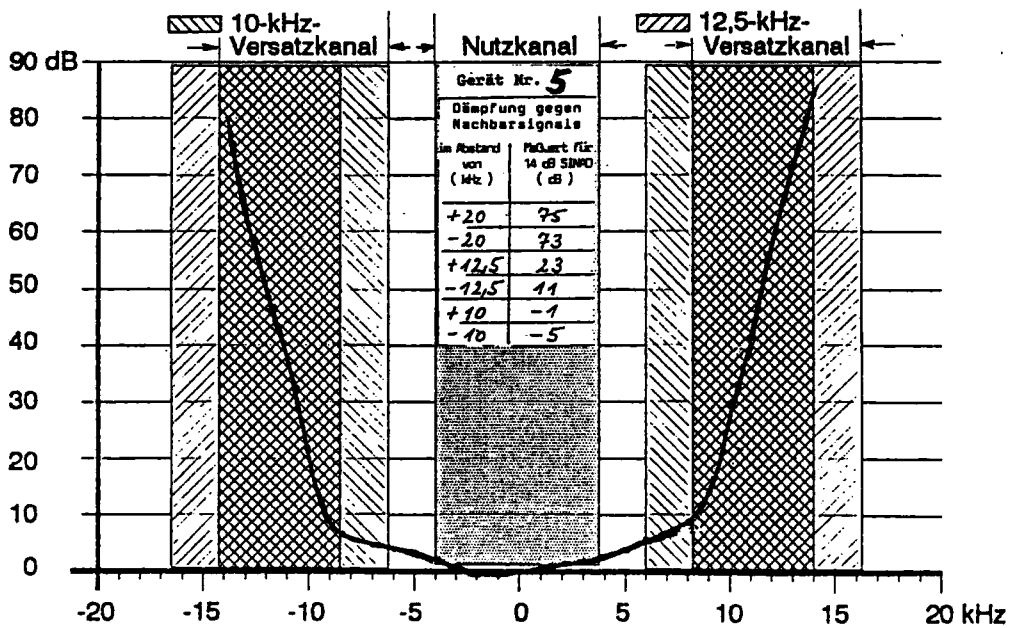


Bild 7-4

Alle Funktelefon-Kurven der bislang zugelassenen Typen liegen zwischen den im Bild 7-3 und Bild 7-4 dargestellten Kurven, d.h., daß

...

im besten Fall bei einer Nachbarkanaländerung von 10 kHz auf 12,5 kHz ca. 32 dB Dämpfung gewonnen werden und im schlechtesten Fall nur ca. 15 dB. Der Wert der ortsfesten Empfänger liegt im Abstand von 12,5 kHz mit ca. 25 dB näher an der besseren Seite der Mobilgeräte.

7.2 HF-Schutzabstand

Zur Beurteilung der Eignung der C-Netz-Komponenten für die zur Diskussion stehenden Frequenzraster kommt neben der meßtechnischen Erfassung der Selektionseigenschaften der mobilen Empfänger insbesondere der Untersuchung des Verhaltens von Funkfeststation und Mobilgerät im Sprechkanal-Verbindungszustand unter Störsignaleinwirkung hohe Bedeutung zu, da für die Funkschnittstellenreaktion hinsichtlich des Haltens der Verbindung bzw. der Einleitung von Umschalt- und Auslösevorgängen nicht der Geräuschabstand im NF-Nutzkanal, sondern die Größe des Jitters verantwortlich ist, mit der die während der konzentrierten und verteilten Signalisierung erfolgende Datenmodulation behaftet ist.

Wie nachfolgende Messungen demonstrieren, ist der HF-Schutzabstand nicht nur abhängig vom Frequenzversatz, sondern insbesondere auch von der Höhe des Nutzsinalpegels.

Um eine quantitative Aussage über den Verlauf der Störfestigkeitsdegradation zu gewinnen, wurde die Abhängigkeit des HF-Schutzabstandes vom Nutzsinalpegel anhand dreier verschiedener Funktelefon-Typen mit Hilfe von in der Datenmodulationscharakteristik dem realen Netz angeglichenen C-Netz-Simulatoren meßtechnisch untersucht. Die drei folgenden Abbildungen zeigen die über die drei Funktelefon-Typen gemittelten Verläufe des Verhältnisses S/I (Medianwerte, d.h. statisch gemessene Pegeldifferenz nebst 12 dB Zuschlag) in Abhängigkeit vom auf den HF-Mindestpegel P_{Min} bezogenen Nutzsinalpegel P_{Nutz} für den Gleichkanalfall und die Frequenzversatzfälle 10 kHz und 12,5 kHz. Dabei ist P_{Min} der für die Aufrechterhaltung einer C-Netz-Verbindung charakteristische HF-Mindestpegel, bei dem Mobilgerät und Feststation aufgrund des durch Rauschsignale hervorgerufenen Jitters kurz vor der Einleitung eines externen Umschaltvorgangs stehen. Der gemessene HF-Mindestpegel P_{Min} schwankt für die drei untersuchten Mobilgeräte-Typen zwischen -110 dBm und -115 dBm.

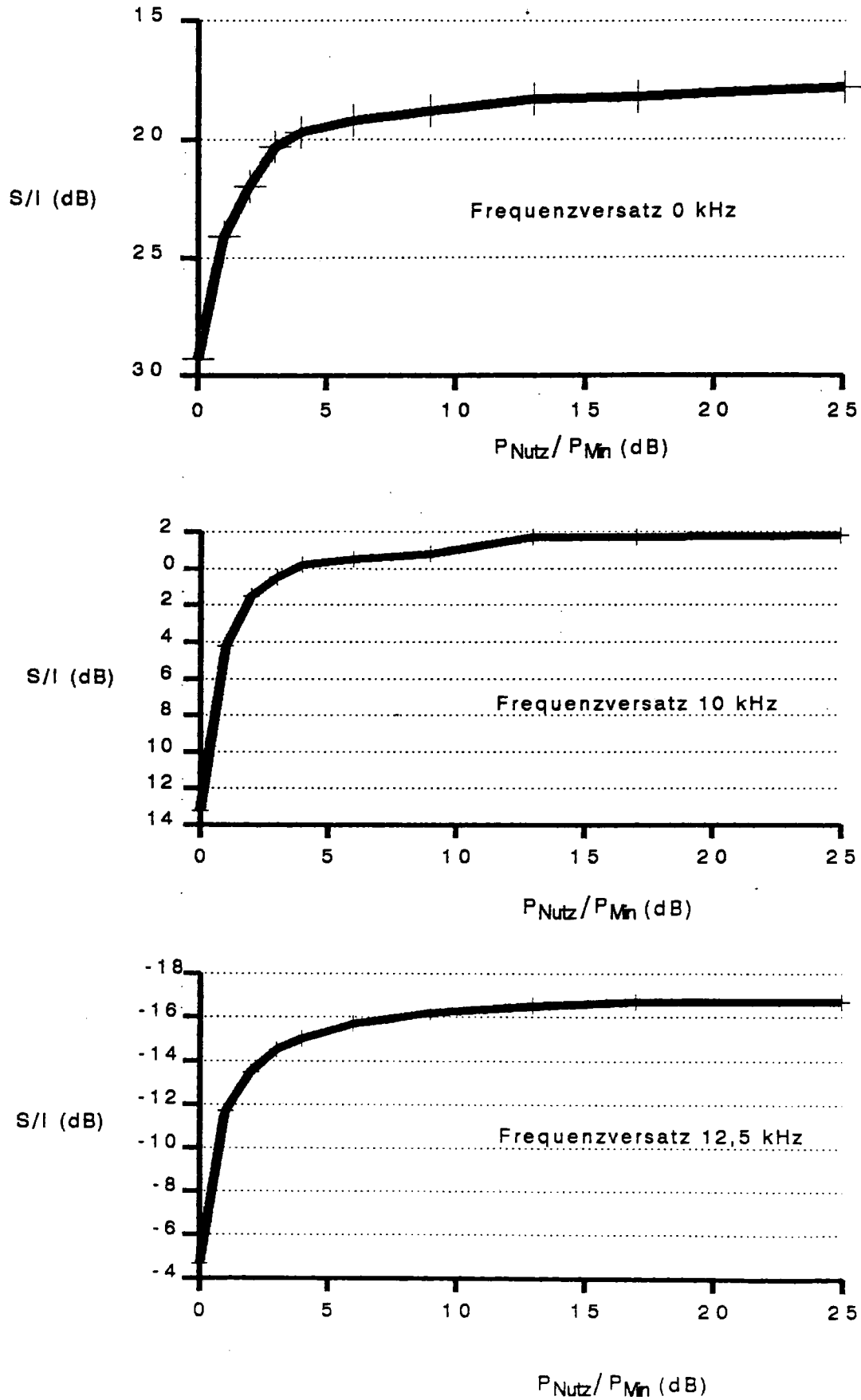


Bild 7-5: Störfestigkeit S/I in Abhängigkeit des auf P_{Min} bezogenen Nutzsinalpegels P_{Nutz}

Wie die Meßergebnisse dokumentieren, ist zu niedrigen Nutzsignalpegeln hin in allen drei Fällen eine erhebliche Degradation der Störfestigkeit zu verzeichnen. Die Ursache für dieses Verhalten liegt in den geräteintern erzeugten und über den Antennenanschluß kommenden Rauschsignalen, die den Jitter auf der empfangenen Datenmodulation um so höher steigen lassen, je kleiner das Nutzsignal ist. Hand in Hand damit müssen die erlaubten Signalanteile von Gleichkanal-/Versatzkanalstörern reduziert werden, um unterhalb des für die Einleitung eines Umschaltantrages vorgegebenen Jitterwertes zu bleiben.

So erhöht sich der erforderliche Schutzabstand bei 10 kHz Versatz von etwa 0 dB in gut versorgten Gebieten auf 13 dB in Bereichen geringer Feldstärke, weshalb sich der Einsatz von derartigen Versatzkanälen in angrenzenden Zellen verbietet, während der Schutzabstand bei 12,5 kHz Versatz auch in Bereichen geringer Nutzsignalpegel noch immer -4 dB beträgt, somit also genügend Störfestigkeitsreserve bei Annäherung an die Zellgrenze auch dann gegeben ist, wenn in der Nachbarzelle ein 12,5 kHz-Versatzkanal aktiv ist.

7.3 Verständliches Mithören

Da der Gewährleistung der Vertraulichkeit des Funkgesprächs eine hohe Bedeutung zukommt, wurden die im Mobilgeräte-Empfänger feststellbaren Mithöreffekte bei Gleich- und Versatzkanalbelegung näher untersucht.

Für ein Funktelefon der laufenden Produktion demonstriert folgende Abbildung das Verhalten bei einem Gleichkanalstörer. Gezeigt wird, wie hoch der Nutzsignalpegel sein muß, damit bei gegebenem Störsignal (moduliert mit der Zeitansage 1191) kein verständliches Mithören mehr möglich ist (alle angegebenen Pegel sind statisch gemessene Werte).

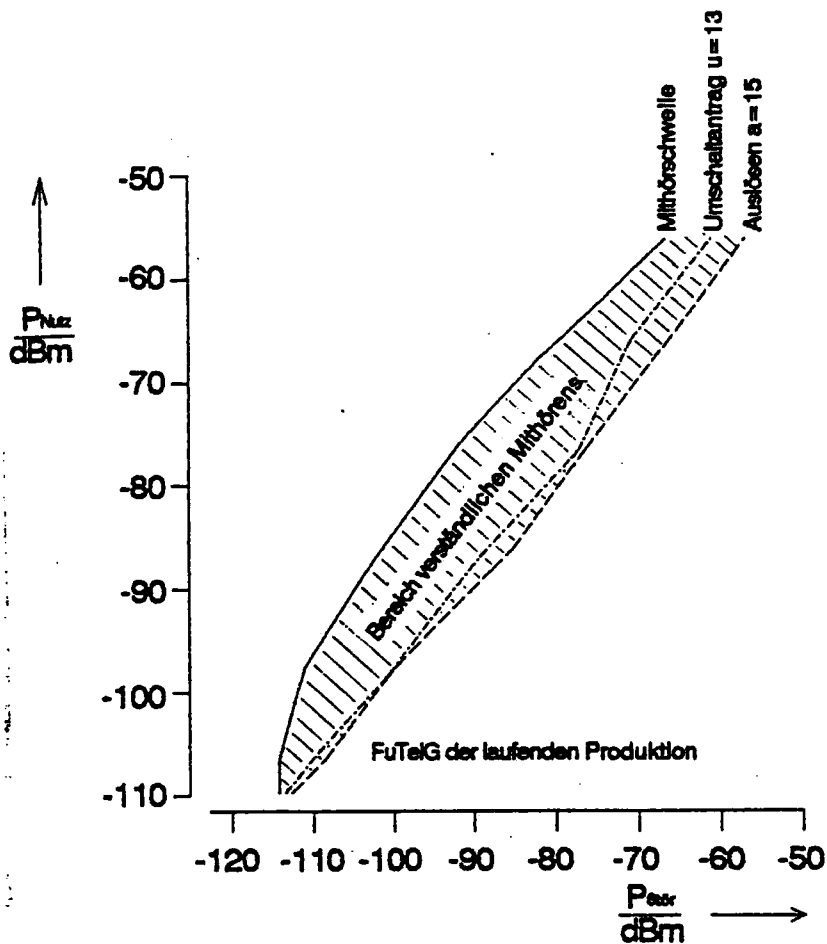


Bild 7-6: Für verständliches Mithören erforderlicher Nutzsig-
nalgel P_{Nutz} in Abhängigkeit vom Gleichkanal-Störsig-
nalgel $P_{\text{Stör}}$

Aufgrund der im C-Netz während der Sprachübertragung verwendeten Phasenmodulation ist im Gleichkanalfall bereits ein verständliches Mithören möglich, wenn der Störer etwa 17 dB (statisch) schwächer ist als das Nutzsinal. Dagegen stellt das Funktelefon erst einen Umschaltantrag bzw. löst die Verbindung aus, wenn das Störsignal um weitere 11 dB erhöht wird.

Wegen dieser bereits 11 dB unterhalb der Interventionsschwelle des Mobilgeräts beginnenden Mithörmöglichkeit wäre es wünschenswert, anstelle des in Abschnitt 4.2 genannten HF-Schutzabstandes für C-Netz-Planungen einen auf 30 dB erhöhten Wert zugrunde zu legen.

Ein weiteres Ergebnis der Mithörexperimente ist, daß auch beim Vorhandensein eines 10-kHz-Versatzkanalstörers ein verständliches Mithören möglich ist. Abhängig von der Bandbreite und Symmetrie

...

der Durchlaßcharakteristik des Empfängers sind diese Effekte häufig feststellbar, wenn der hochfrequente Störabstand nahe dem Wert liegt, wo Mobilgerät und Feststation den Umschaltvorgang einleiten. Besonders ausgeprägt ist das verständliche Mithören bei einem Funkteletyp der 1. Generation, von dem etwa 25 000 Stück im C-Netz betrieben werden, da diesem Empfänger immer dann, wenn das Verhältnis von Nutzsignal zu Störsignal die 10-dB-Marke (Medianwert) unterschreitet, aufgrund einer AFC-Schaltung auf den 10-kHz-Versatzkanal gezogen wird. Erst ca. 10 s nach der Frequenzumstimmung wird die Verbindung ausgelöst.

Im Gegensatz zu den Ergebnisse bei Gleichkanal- und 10-kHz-Versatzkanal-Störern konnte beim Vorhandensein von 12,5-kHz-Versatzkanälen *kein verständliches Mithören* festgestellt werden.

7.4 OgK-Störfestigkeit

Zusammen mit einer Umstellung des Netzes auf ein engeres Frequenzraster kommt auch der Frage, welche HF-Schutzabstände für den OgK erforderlich sind, wenn sich eine Interferenzsituation mit einem SpK ergibt, erhebliche Bedeutung zu.

Bei einem OgK-Pegel von -90 dBm wurde ermittelt, welcher Störsignalpegel zulässig ist, damit das Funktelefon gerade noch einbuht. Folgende Tabelle zeigt die gemessenen HF-Schutzabstände (Medianwerte).

Versatz kHz	0	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
S/I [dB]	21	8	-6	-18	-23	-35

Da zum einen mit den netzweit eingestellten Parametern für Einbuhen, Umschalten und Auslösen ein OgK sensibler auf die durch einen SpK verursachten Interferenzen reagiert als die SpK untereinander und zum anderen in Übergangsbereichen von Klein- und Großzellenversorgung Sendeleistungsunterschiede von größer 10 dB auftreten können, eine störungsarme Abwicklung des OgK-Verkehrs für die Funktion des Netzes jedoch von höchster Wichtigkeit ist, sollte der OgK-/SpK-Frequenzversatz *mindestens 20 kHz* betragen.

8 Erprobung des 25-kHz-Rasters mit 12,5-kHz-Zwischenraster im Großversuch

8.1 Zweck des Rastervergleichs 25/12,5 kHz gegen 20/10 kHz

Das Kleinzellennetz Berlin mußte bis Juni 1991 auf 800 Sprechkanäle erweitert werden. Die dazu erforderliche Frequenzumstimmung wurde gleichzeitig dazu genutzt, ein von 20/10 kHz auf 25/12,5 kHz geändertes Raster in einem Großversuch zu erproben, weil damit nach den vorangegangenen Untersuchungen des Arbeitskreises "Maximalkapazität" ein günstigeres Verhältnis zwischen Verkehrskapazität und Übertragungsqualität zu erwarten war.

Die Frequenzumstimmung wurde Mitte Mai durchgeführt. Vorangegangen waren die Meßaktionen zur Ermittlung der Daten im Ursprungszustand. Während der Vergleichsmessungen nach der Umstimmung blieb die Zahl der Sprechkanäle auf dem vorigen Stand; zusätzliche Kanäle wurden erst anschließend in Betrieb genommen.

8.2 Durchführung des Vergleichs

Der Vergleich ist mit Hilfe von Aufzeichnungen mehrerer Betriebskriterien vorgenommen worden. Hinzu kamen noch Beobachtungen von Einzelkanälen mit Störungsmöglichkeiten durch Versatzkanäle im Abstand von 10 kHz in der übernächsten Zelle bzw. Versatzkanäle im Abstand von 12,5 kHz in angrenzenden (Nachbar)zellen (als Sonderfall in der selben Zelle) und Verbindungs-Qualitätsprüfungen über Funktelefone mit Monitorfunktionen.

Im einzelnen handelt es sich um die folgenden Erfassungen:

8.2.1 Datenkonzentrator (DKO/Schnittstellenrechner der Funkdatensteuerung) für die Registrierung von Daten der gesamten Station, nämlich

- interner Umschaltanträge (UIAS), aufgeschlüsselt in
 - kanalbezogene UIAS und
 - verursacherbezogene UIAS (Mobil- oder Festseite) und
- von Systemdaten wie z.B. Zahl der Verbindungsauslösungen, positive bzw. negative Quittungen als Reaktion auf Umschaltanträge (intern/extern) usw.

8.2.2 Tracer 85 für Einzelkanalbeobachtungen zur Aufzeichnung der Parameter

- Jitter (S/N),
- Entfernung (Zellgrenzüberschreitungen),
- Feldstärke,
- Zustand des Kanals (Belegung, Signalisierung, Gespräche usw.) sowie
- rechnergenauer Zeitbezug.

8.2.3 Monitor-Funktelefon mit Datenaufzeichnung (Storno) für

- Verbindungsdauer (Anfang/Ende),
- Identifikation der Funkfeststation,
- Art der Beendigung der Verbindungen (Auflegen, Umschalten intern, Umschalten extern) und
- rechnergenauer Zeitbezug.

8.2.4 Funktelefon Siemens C 2 zur manuellen Registrierung von

- Kanal-Nr./FuFSt-Identifikation,
- Jitter, Entfernung, Feldstärke,
- Umschalten (Kanal-Nr.) und
- Qualitätsmerkmalen (subjektiv) in bezug auf Mithören, Rauschen usw. bis hin zum Abbruch.

8.2.5 Verbindungsdaten des gesamten Kleinzellennetzes Berlin aus der Funkvermittlungseinrichtung, ausgewertet mit Hilfe des TRAFFIM-Programms zur Feststellung der

- Anzahl der Gespräche (in einem ausgesuchten Zeitraum) und
- Anzahl der internen Umschaltungen im gleichen Zeitraum.

8.3 Ergebnisse

Die unter Abschnitt 8.2 angeführten Aufzeichnungen bestehen jeweils aus zwei Teilen, einem Abschnitt **vor** Umstellung (20/10-kHz-Raster) und einem Abschnitt **nach** Umstellung (25/12,5-kHz-Raster). In den Anlagen sind die Ergebnisse dann so dargestellt, daß ein direkter Vergleich der Situationen vor und nach der Umstellung möglich ist. Die Ergebnisse werden im folgenden kommentiert und bewertet.

Bild 8-1: Auswertung des Datenkonzentrators (DKO) in der Funkfeststation

Hier wurden aus den DKO-Aufzeichnungen jene Kanäle herausgesucht, bei denen im 20/10-kHz-Raster Störungsmöglichkeiten durch Kanäle mit 10 kHz Versatz aus der übernächsten Zelle eintreten können und im Vergleich dazu Kanäle des 25/12,5-kHz-Rasters mit Versatzkanälen in angrenzenden Zellen. Die DKO-Auswertungen sind so vorgenommen worden, daß immer gleiche Uhrzeiten an den jeweils zueinander gehörenden Wochentagen zugrunde gelegt sind. Für diese Auswertung (vor und nach der Umstimmung) standen 58 Kanäle zur Verfügung; über diese Zahl hinaus gab es in den Aufnahmezeiträumen keine weiteren derartigen Nachbarkanalbeziehungen.

Die in den ausgewählten Kanälen ermittelbare Zahl der internen Umschaltanträge (UIAS) sind in der Grafik A ablesbar, die zur gleichen Zeit abgesetzten und positiv quittierten Verbindungswünsche in der Grafik B. Das Verhältnis dieser beiden Werte, quasi als Maß für die Versatzkanalstörungen mit UIAS-Auslösung, findet sich in Grafik C. Daraus geht hervor, daß insgesamt nach der Umstimmung ein geringfügiger Zuwachs der Störwahrscheinlichkeit von 0,1 % zu verzeichnen ist.

Auswertungsergebnisse der DKO-Tracer:

Interne Umschaltanträge (UIAS) und positiv quitierte Verbindungswünsche (GVPQS/KVPQS) in 58 Kanälen mit Störmöglichkeit durch 10/12,5-kHz-Versatzkanäle*

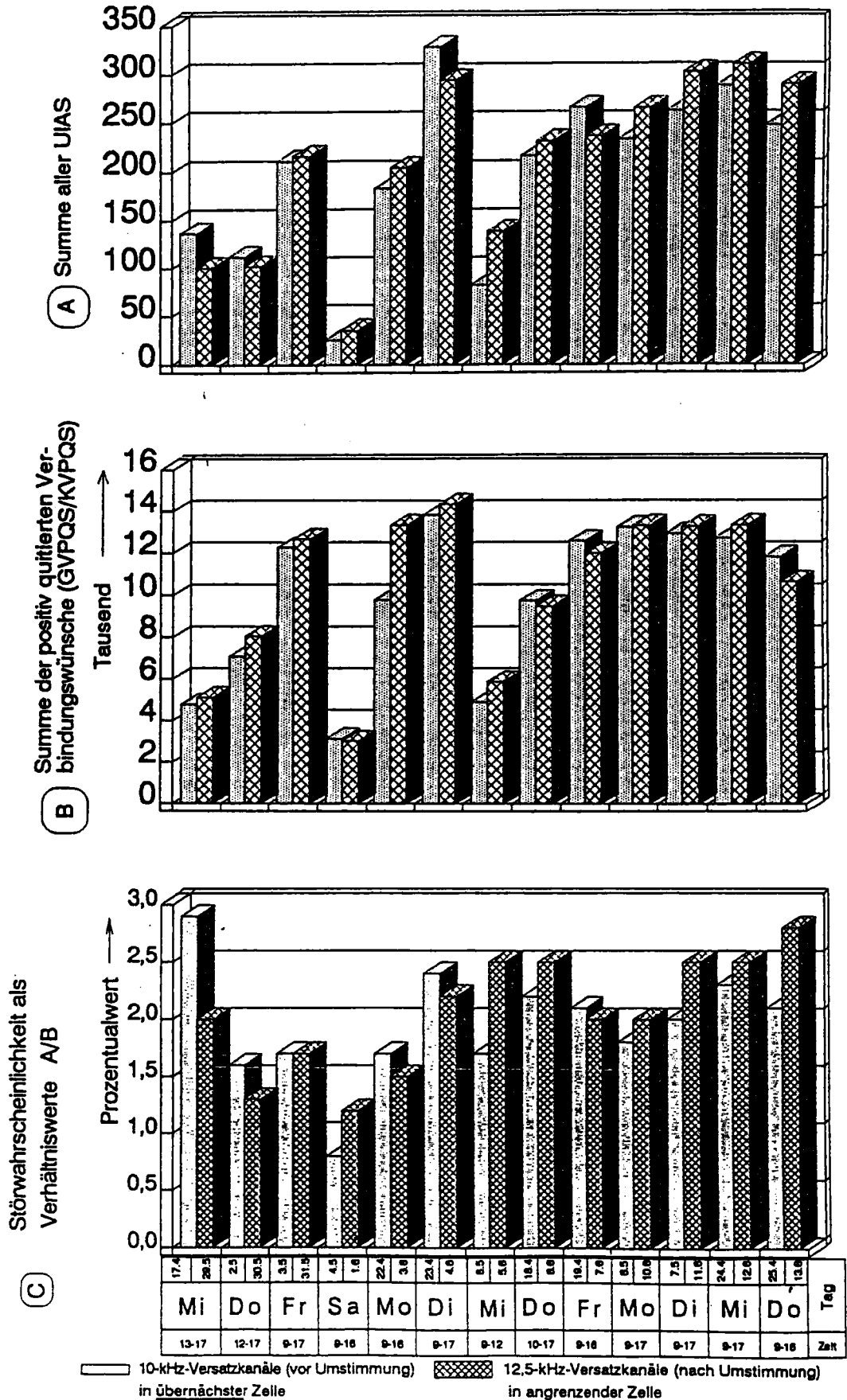


Bild 8-1

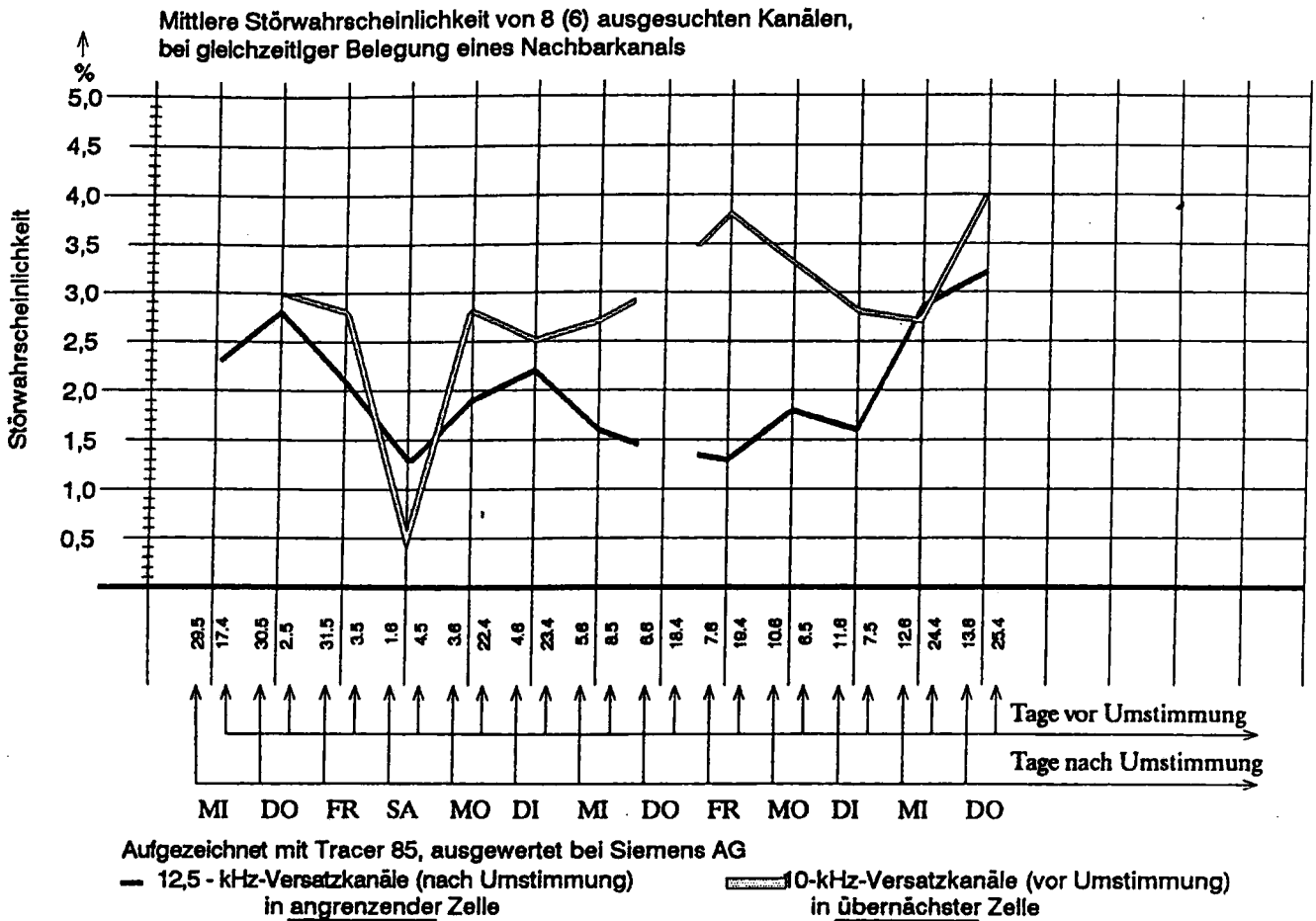


Bild 8-2: Störungsaufzeichnungen an Einzelkanälen mit Tracer 85

Die Tracer-85-Aufzeichnungen beziehen sich ebenfalls auf Kanäle, die - wie zur Anlage 1 bereits erläutert - durch Versatzkanalbeziehungen gestört sein könnten. Des großen Aufwandes wegen (je Kanal ein Tracer 85) stehen hier nur 8 Aufzeichnungen pro Tag zur Verfügung (abzüglich fehlerhafter Aufzeichnungen). Alle Aufzeichnungen wurden der Fa. Siemens in Wien zur Auswertung übersandt. Die von Siemens gefertigten Tabellen sind als Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 20 dB S/N bei gleichzeitig belegtem Nachbarkanal (ebenfalls aufgezeichnet) angelegt. Da diese Tabellenwerte den Vergleich der Raster nicht direkt zulassen, wurde je Tag

ein mittlerer Prozentualwert gebildet und in eine graphische Darstellung gebracht. Die Kurven vor und nach der Umstimmung lassen sich nunmehr vergleichen, weil auch hier gleiche Wochentage mit gleichen Uhrzeiten zueinander gebracht wurden.

Die beiden Kurven zeigen im Vergleich ein deutlich günstigeres Bild für das 25-kHz-Raster mit 12,5-kHz-Zwischenraster.

	auswertbare Gespräche				Qualitätsregistraturen während der Gespräche					
	normal beendet		abgebrochen		gut	%	mittel	%	schlecht	%
	Anzahl	%	Anzahl	%						
vor Umstimmung	400	86	65	14	830	81,4	163	16	26	2,6
nach Umstimmung	578	93,7	39	6,3	1024	83,5	175	14,3	27	2,2

Bild 8-3: Gesprächsabbrüche und subjektive Beurteilung der Verbindungsqualität; nach Handaufzeichnungen zu Probeverbindungen, die mit einem Funktelefon vom Typ Siemens C 2 hergestellt wurden.

In der Auswertung der Handaufzeichnungen sind die Abbrüche besonders herausgearbeitet und außerdem ist eine Qualitätsskala angelegt worden, die Aufschluß über die Zufriedenheit der Funktelefon-Benutzer geben sollte.

Markant ist hier der Rückgang der Abbrüche nach der Umstimmung. Aus den persönlichen Eindrücken derer, die diese Bögen angefertigt haben, geht außerdem hervor, daß das häufige Mithören aus der Phase vor der Umstimmung nicht mehr in gleichem Maße vorhanden ist. Lediglich leichte Störgeräusche ohne Wortverständlichkeit sind hin und wieder hörbar. Im Normalfall werden die Störgeräusche aber durch Umschalten in einen ungestörten Kanal beseitigt. Mithören ist zwar nicht ganz verschwunden, nach unseren Messungen beruhen sie aber allein auf Gleichkanaleinflüsse.

vor/nach Umstimmg	betrachteter Zeitraum	Rufe mit Meldungen	angeforderte int. Umschltgn	Umschaltgs-Anteil (%)
vor	zw. 15.4. u. 8.5. (24 h) (11 Tage)	959.488	63.228	6,6
nach	zw. 29.5. u. 13.5. (24 h) (14 Tage)	1.131.371	63.243	5,6
vor	Mi 17.4. 8-18	68.661	4.434	6,5
	Mi 24.4. 8-18	70.668	4.753	6,7
	Mi 8.5. 8-18	70.964	5.013	7,1
nach	Mi 5.6. 8-18	73.176	4.100	5,6
	Mi			
	Mi 12.6. 8-18	73.382	4.161	5,7

Bild 8-4: TRAFFIM-Güterepport aus der Funkvermittlung Berlin;
Vergleich der internen Umschaltungen vor und nach der Umstimmung

Bei der TRAFFIM-Auswertung, die sich auf das gesamte Kleinzel-
tennetz Berlin bezieht, sind die Zahlen der angeforderten internen
Umschaltanträge als Vergleichsgrößen herausgezogen. Der Umschalt-
anteil, bezogen auf alle Rufe mit Meldungen (als Zahl der mögli-
chen Verbindungen) kann dann direkt verglichen werden.

Sowohl über einen 24-Stunden-Zeitraum für ca. 2 Wochen, als auch
an einigen ausgewählten Tagen zwischen 8.00 und 18.00 Uhr geht der
Anteil der internen Umschaltanforderungen nach der Umstimmung (im
25/12,5-kHz-Raster) zurück, und zwar um ca. 15 %.

8.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Datenaufzeichnung in den Sprechkanälen (Bild 8-2), die subjek-
tive Beurteilung der Probeverbindungen (Bild 8-3) und die TRAFFIM-
Daten (Bild 8-4) zeigen deutliche Vorteile des geänderten Rasters.
Lediglich die Auswertung des Datenkonzentrators (Bild 8-1) ergibt
ein - geringfügig - günstigeres Bild für das bisherige Frequenzra-
ster. Zu berücksichtigen ist außerdem, daß 10-kHz-Versatzkanäle
verständliches Mithören verursachen können, 12,5-kHz-Versatzkanäle
dagegen nicht (siehe Abschnitt 7.3)

9 Erfahrungen aus den laufenden Inbetriebnahme- und Erweiterungsplanungen

Die Verkehrskapazität eines Funktelefonnetzes ist abhängig von der Zahl der Funkfeststationen, deren Verteilung jedoch der Verkehrsdichte und dem Gelände angepaßt sein muß. Bild 9-1 zeigt dies an den Ausbaustufen der Funktelefonnetze B und C. Für den flächendeckenden Grundausbau des C-Netzes in den alten Bundesländern waren 170 Stationen ausreichend, zur Erreichung der Maximalkapazität werden in Gesamtdeutschland rund 1 800 Stationen benötigt. Damit ist dann eine von der Systemtechnik gesetzte Grenze erreicht; eine weitere Verdichtung in den Verkehrszentren würde keinen nennenswerten Gewinn erbringen.

Die Kurven des Bildes 9-2 zeigen noch sinnfälliger den Zusammenhang zwischen dem Ausbau der Netzstruktur (Funkfeststationen), Verkehrskapazität (Sprechkanälen) und Teilnehmerzahl.

Bis Jahresende 1991 werden für etwa 1 200 Stationen rund 15 000 Sprechkanalfrequenzen bedarfsgerecht zugeteilt sein, wobei das zusätzliche Megahertz erst in Einzelfällen beansprucht wird. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß eine systematische Optimierung der Stationsparameter noch nicht überall durchgeführt werden konnte, weil das dafür benötigte Fachpersonal erst gewonnen werden muß.

Wenn das Netz den geplanten Endausbau mit rund 1 800 Stationen erreicht hat, dann kann man also nach dem heutigen Erfahrungsstand zuversichtlich sein, daß die vorgesehene Kapazität von 25 000 Sprechkanälen auch realisiert werden kann.

Ausbaustufen der Funktelefonnetze B und C B-Netz : 75 Frequenzen C-Netz : bisher 222, künftig 287 Frequenzen	Ausbau- zeitraum	Funkfest- stationen	Sprech- kanäle
B-Netz : Großzellennetz mit gleichmäßiger Flächenversorgung, Kleinleistungskanäle in einigen Großstädten	1974-80	150	900
C-Netz, Grundausbau Flächenversorgung ~90% begrenzte Kapazität	1985-87	170	2300
Kleinzellenausbau, 1. Stufe -300 Klz-Stationen in NRW, Ffm, Mchn, Stgt, Kirh, Han, Hmb, Nbg 60 Füllstationen	1988-89	530	6200
Kleinzellenausbau, 2. Stufe -neue Klz-Netze in Brm, Bln, Ulm, Heilbr., -Verdichtung in NRW und Rhein-Main, -weitere Füllstationen	1990	800	9000
Weiterer Netzausbau -Teilung von Zellen mit hoher Kanalzahl und großer Störreichweite -Füllstationen - Ziel : Bundesfernstraßen und IC-Eisenbahnstrecken lückenlos	1991	1100	14000
Endausbau der Netzstruktur -weitere Verdichtung in Klz-Gebieten, soweit noch möglich -Füllstationen : Vollendung der vorgenannten Ausbauziele	1992	1800	25000

Bild 9-1

Entwicklung im Funktelefonnetz C

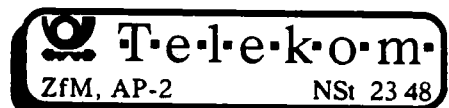
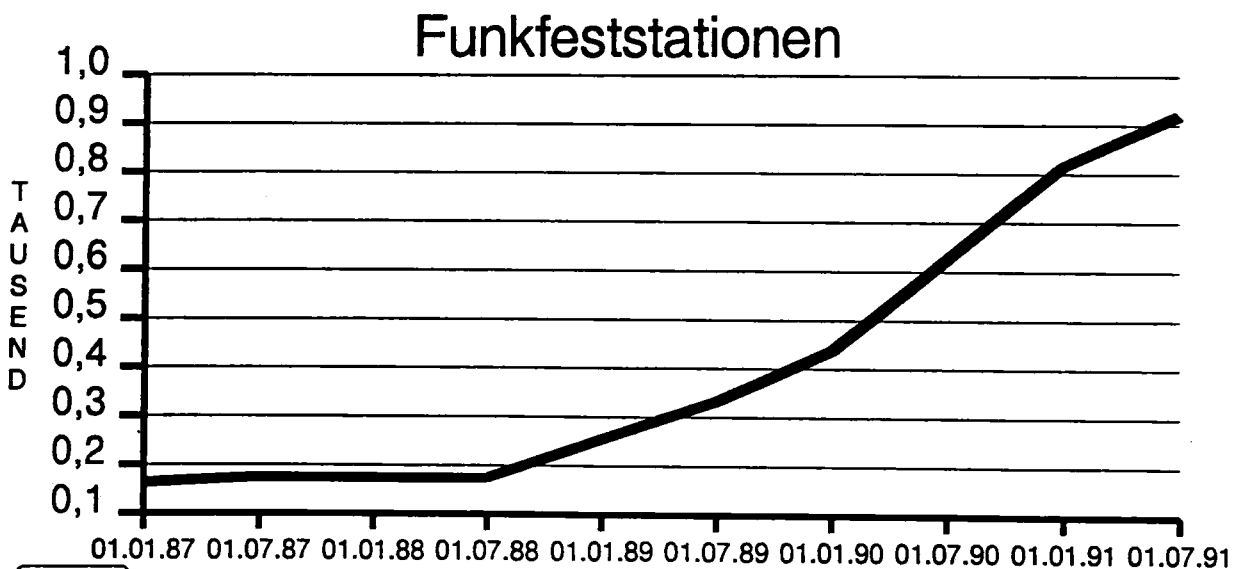
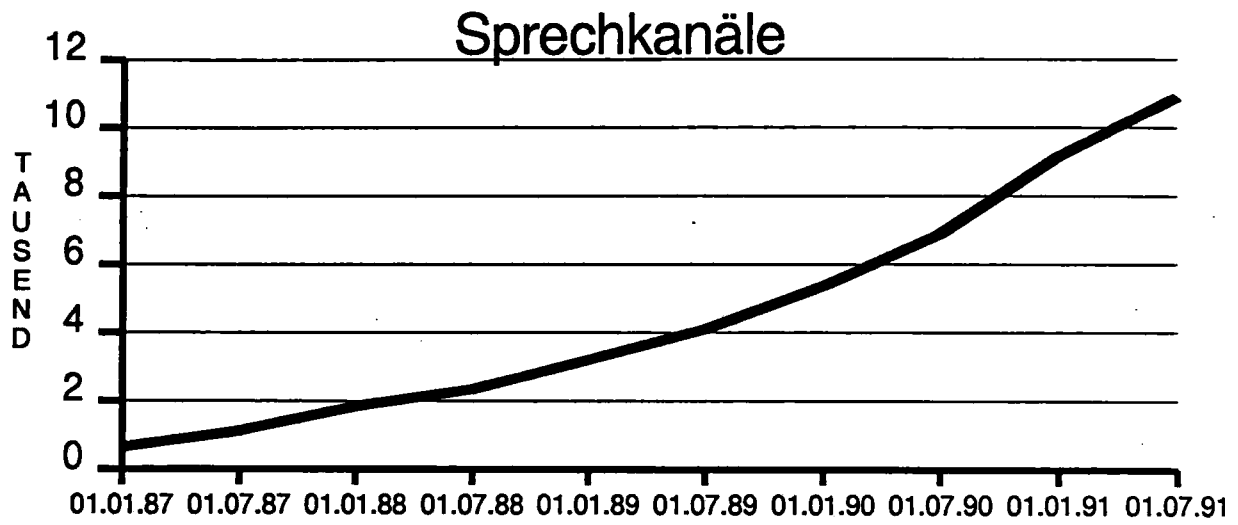
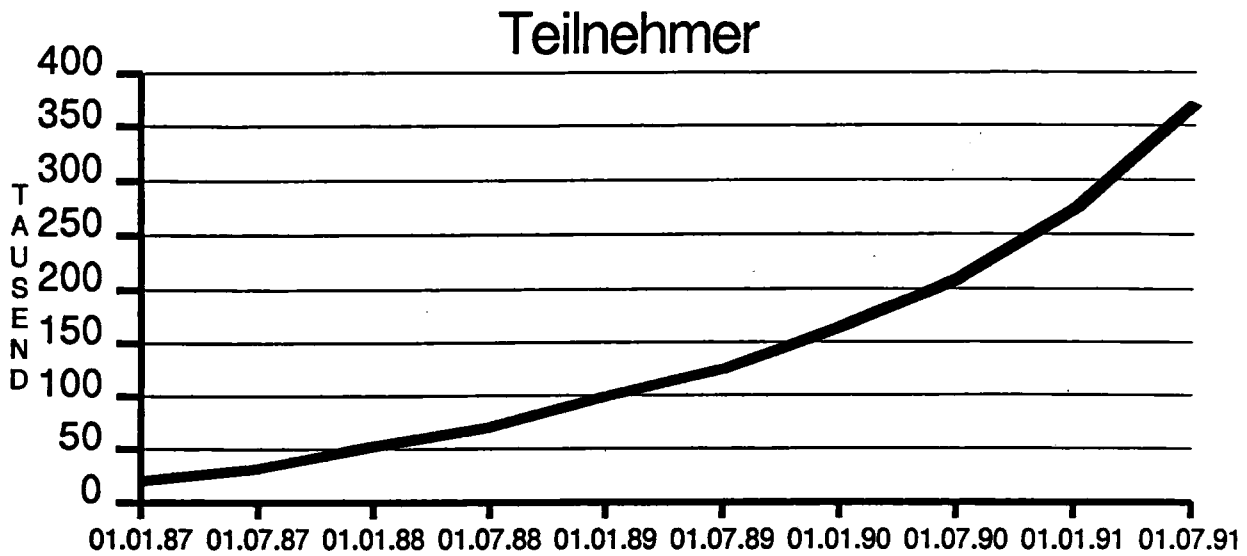
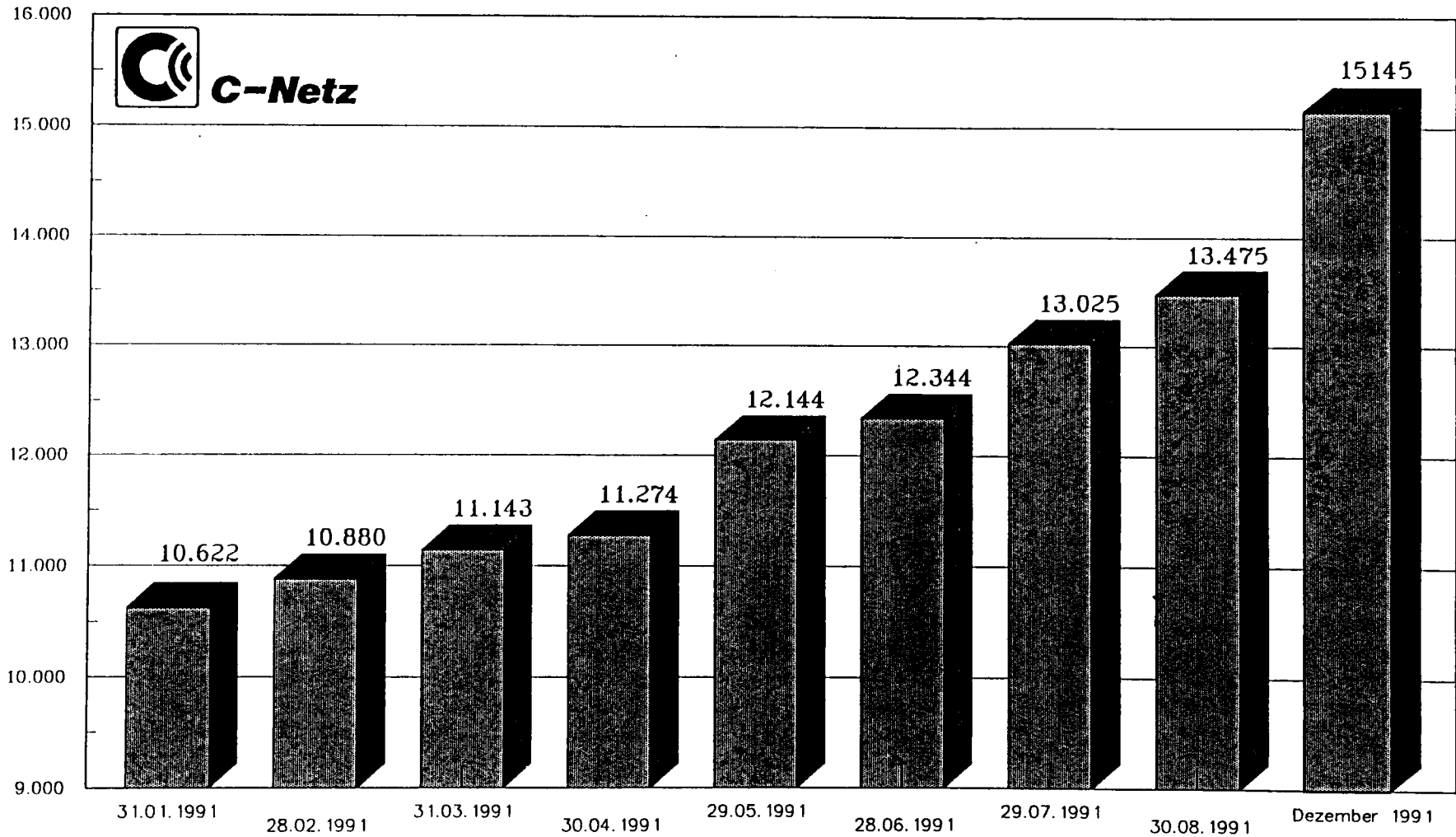


Bild 9-2

Zugeteilte Frequenzen im C-Netz

Anzahl Frequenzen



Deutsche Bundespost TELEKOM - ZfM A2a,A2-10a

H.Schuster, 9.09.1991

Bild 9-3

10 Ausblick

10.1 Das Planungskonzept mit rund 1 800 Funkfeststationen muß zügig realisiert werden

Das Planungskonzept mit rund 1 800 Funkfeststationen ist so angelegt, daß alle systemtechnischen Möglichkeiten zur Maximierung der Kapazität ausgeschöpft werden, und es ist das höchst erfreuliche Fazit des Arbeitskreises, daß dieses technisch erreichbare Maximum größer ist als anfangs vermutet. Ob es aber tatsächlich erreicht wird, hängt von der zügigen Realisierung ab. Das Wachstum des Funktelefondienstes hat sich im laufenden Jahr 1991 beschleunigt, und vorläufig kann dieser zunehmende Bedarf nur durch das C-Netz gedeckt werden. Bis 1993 wird sich diese Situation aber geändert haben, mit neuen Teilnehmern für das C-Netz ist dann kaum noch zu rechnen. Der angestrebte Endzustand mit rund 1 800 Funkfeststationen muß deshalb bis Ende 1992 erreicht sein. Die Deutsche Bundespost TELEKOM hat sich mit der Neuorganisation des Mobilfunks für wachsende Anforderungen gerüstet; die Aufgaben des Netzausbaus bis Ende 1992 sind eine Feuerprobe dafür, ob sie diese Anforderungen nun erfüllen kann.

10.2 Nur mit konsequenter Optimierung kann die Maximalkapazität tatsächlich erreicht werden

Neben der kurzfristigen Bewältigung der großen Menge an Bauaufgaben kommt es darauf an, daß das Netz in allen Einzelheiten möglichst vollkommen den örtlichen und regionalen Verkehrsanforderungen und dem Gelände angepaßt wird. Das beginnt bei der Planung - am Beispiel München, das so oft als Modell gedient hat, wird dies deutlich. Unter planerischem Aspekt sind dort als wichtigste Optimierungsschritte die Veränderung der Antennenkonzepte im jetzigen Bereich des Kleinzellennetzes und die Zellteilungen in der Umgebung zu nennen. Für beide Maßnahmen ist die Realisierung im Gang und soll zügig zum Abschluß gebracht werden.

In weiteren Phasen der Optimierung muß ein Feinabgleich aller Parameter der Funkfeststationen folgen, vor allem der einstellbaren Schwellwerte der Funkmeßempfänger. Diese Aufgabe ist von den Netzmanagementgruppen der Gebietsvertretungen zu erledigen; eine Anleitung dazu ist Anfang 1991 vom ZfM herausgegeben worden.

10.3 Aufgaben, die an den Arbeitskreis "Feldtest" übergeben werden

10.3.1 Einsatzpunkt der Leistungsregelung

Die Leistungsregelung setzt bei -75 dBm ein. Zur Reduzierung von Interferenzen könnte es vorteilhaft sein, sie um 5 oder 10 dB niedriger einsetzen zu lassen. Dabei besteht aber das Risiko, daß es häufiger zu internen und externen Umschaltungen kommt. Es wurde deshalb eine Erprobung im Testnetz Darmstadt vereinbart (Protokoll vom 24.09.90).

10.3.2 Leistungsregelung nach Qualitätskriterien

Ein Qualitätsparameter als Kriterium für die Leistungsregelung ist zur Minimierung der Interferenz wesentlich wirksamer als das beim C-Netz angewandte Pegelkriterium. Für das D-Netz hat man sich diese Erkenntnisse zunutze gemacht. Es ist zu untersuchen, wie dies auch für das C-Netz noch ermöglicht werden kann.

10.4 Richtantennen für Funkmeßempfänger

In der Feststation gelten für den Funkmeßempfänger (FME) andere Störbeziehungen als für den Sprechkanalempfänger. Der Sprechkanal empfängt sein Nutzsignal von Mobilstationen innerhalb der eigenen Zelle, der FME von solchen aus einer Nachbarzelle. Damit am FME keine unzulässigen Störungen auftreten und er seine Funktion erfüllen kann, müssen bestimmte Frequenzwiederholverbote gelten - zusätzlich zu den Wiederholverböten, die für den Sprechkanalempfänger notwendig sind.

Die zusätzlichen Wiederholverbote für den FME schränken die Möglichkeiten der Frequenzzuteilung ein. Dies läßt sich vermeiden, wenn man die Funkmeßempfänger an Richtantennen betreibt, so daß der einzelne FME nur einen Winkelbereich von etwa 90° bedient. Das kommt dort in Frage, wo für die Frequenzzuteilung Engpässe wegen hoher Verkehrsdichte oder wegen Auslandskoordinierung bestehen. Entsprechende Vorgaben sind noch zu erstellen, einschließlich der Installationsvorschriften.