

# TEKADE



TECHNISCHE MITTEILUNGEN

# 1975



# Gedanken zu zukünftigen mobilen automatischen Telefonsystemen

## 1. Einleitung

Mobile automatische Telefonsysteme bieten die Möglichkeit, ohne Hilfe einer Vermittlungsperson Verbindungen von mobilen Teilnehmern zum öffentlichen Fernsprechnetz, von Teilnehmern des öffentlichen Fernsprechnetzes zu mobilen Teilnehmern und zwischen mobilen Teilnehmern herzustellen.

In der Bundesrepublik ist dieser Gesprächsaufbau durch Selbstwahl bereits im Netz B des öffentlichen beweglichen Landfunks eingerichtet.

Mobile Telefonsysteme können — ähnlich wie andere Fernmeldenetze — schrittweise von kleinen zu großen Teilnehmerzahlen ausgebaut werden. Aufgrund des geringen Aufwandes kann so auch schon bei kleinen Teilnehmerzahlen eine wirtschaftliche Arbeitsweise erreicht werden. Nach oben ist die Aufnahmefähigkeit bestehender Systeme für neue Teilnehmer aber nicht unbegrenzt. Je Funkkanal kann nur eine bestimmte Anzahl von Teilnehmern zugelassen werden. Die Möglichkeit neue Funkkanäle einzurichten ist aber durch die steigende Frequenzknappheit im VHF-Bereich eingeschränkt. Maßnahmen zur besseren Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzbereichs, zum Beispiel durch häufigere Wiederholmöglichkeiten gleicher Kanäle, bedeuten entscheidende Änderungen des Systems.

Für die Zukunft müssen wachsende Teilnehmerzahlen eingeplant werden. Vorsichtige Schätzungen lassen vermuten, daß die Kapazität der heutigen Systeme in den 80er Jahren erschöpft sein wird.

Neben guten Kommunikationsmöglichkeiten und hoher Erreichbarkeit werden aber auch die Ansprüche an Leistungsmerkmale und Komfort steigen. In den heutigen Netzen ist es zum Beispiel noch erforderlich, beim Gesprächsaufbau zum mobilen Teilnehmer den ungefähren Aufenthaltsort zu kennen, weil der Aufenthaltsbereich gezielt angewählt werden muß. Solche Voraussetzungen werden aber künftigen Komfortvorstellungen nicht mehr entsprechen.

Aus diesen Gründen werden bereits heute Überlegungen angestellt, wie zukünftige mobile automatische Telefonsysteme beschaffen sein und welchen Komfort sie bieten könnten.

## 2. Systemeigenschaften eines Netzes hoher Teilnehmerkapazität

### 2.1. Systemaufbau

Bei zukünftigen Systemen muß mit hohen Teilnehmerzahlen gerechnet werden. Die große Dynamik der Teilnehmerentwicklung ist wirtschaftlich nur mit einem modularen Systemaufbau zu realisieren. Das Bausteinsystem soll ermöglichen, daß der Netzausbau schrittweise der Teilnehmerentwicklung angepaßt werden kann, und daß durch Aufbau entsprechend dem Verkehrsaufkommen, Gebiete mit starkem als auch schwachem Verkehr wirtschaftlich bedient werden können. - Daneben sollte ein solches System auch international anwendbar sein. Um das System leicht an verschiedene nationale Gegebenheiten anpassen zu können, muß das Grundkonzept leicht modifizierbar sein, damit aufwendige Umentwicklungen unnötig werden.

### 2.2. Rechnersteuerung

Große Flexibilität und universelle Verarbeitungsmöglichkeiten lassen sich durch eine rechnergesteuerte Prozeßabwicklung erreichen. Der Einsatz programmierter Rechner hat auch einen wirtschaftlichen Vorteil: Bei steigendem Entscheidungsvolumen werden die Kosten pro Entscheidung geringer, wenn verdrahtete Logik durch programmierte Steuereinheiten ersetzt wird. Das Anwachsen des Entscheidungsvolumens steht außer Zweifel, da die Steuerfunktionen durch den steigenden Bedienungskomfort immer komplexer und vielfältiger werden.

### 2.3. Frequenzbereich und Frequenzökonomie

Die Frequenznot in den zur Zeit benutzten Bereichen wird dazu zwingen, in höhere Frequenzbereiche auszuweichen, in denen breitere Frequenzbänder für diesen Dienst zur Verfügung zu stellen wären. Die Verwendbarkeit der Frequenzbereiche um 450 MHz und 900 MHz wird diskutiert.

Andere Ausbreitungseigenschaften dieser hohen Frequenzen und die Notwendigkeit zur Frequenzökonomie werfen das Problem der Größe der Funkversorgungsbereiche auf. Benachbarte Bereiche können wegen möglicher Gleichkanalstörungen keine gleichen Funkkanäle zugeteilt be-

kommen. Gleiche Kanäle können nur in einem bestimmten Raster wiederholt werden, das Pufferzonen zwischen Versorgungsbereichen mit gleichen Kanälen enthält. Verkleinert man die Versorgungsbereiche, so wird das Raster feiner und die Funkkanäle wiederholen sich pro Flächeneinheit häufiger. Mit kleinen Funkversorgungsbereichen können also mit gleichvielen Kanälen mehr mobile Teilnehmer je Flächeneinheit versorgt werden.

### 2.4. Automatisches Auffinden

Besteht nun das Netz aus sehr vielen kleinen Funkversorgungsbereichen, so wird es für den Anrufenden aus dem Fernsprechwählnetz unzumutbar, den genauen Aufenthaltsbereich zu kennen. Von einem zukünftigen Netz erwartet man deshalb automatisches Auffinden des Mobilteilnehmers.

### 2.5. Automatisches Weiterreichen

Wechselt ein Mobilteilnehmer während des Gesprächs den Funkversorgungsbereich, so wird bei heutigen Systemen das Gespräch unterbrochen. Sollten in Zukunft die Funkversorgungsbereiche kleiner sein, dann würden die Unterbrechungen häufiger werden und empfindlich stören. Soll das vermieden werden, so muß automatisches Weiterreichen bei Bereichswechsel vorgesehen werden. Was darunter zu verstehen ist, wird unten noch erläutert.

### 2.6. Spezielles Datennetz

Um alle diese Systemanforderungen erfüllen zu können, ist ein schneller Datenaustausch zwischen den Steuereinrichtungen des Netzes nötig. Zu diesem Zweck wird ein spezielles Datennetz eingerichtet werden müssen.

### 2.7. Modulationsverfahren

Andere Ausbreitungsbedingungen und anderes Störverhalten der Übertragungskanäle werden bei höheren Frequenzen von der Funktechnik und der Systemtechnik neue Lösungswege verlangen. Unter anderem müssen frequenzökonomische und gegen Störungen unempfindliche Modulationsverfahren gefunden werden. Eventuell kann durch digitale Modulationsverfahren eine gute Ausnutzung des Frequenzbandes bei geringer Störanfälligkeit erreicht werden.

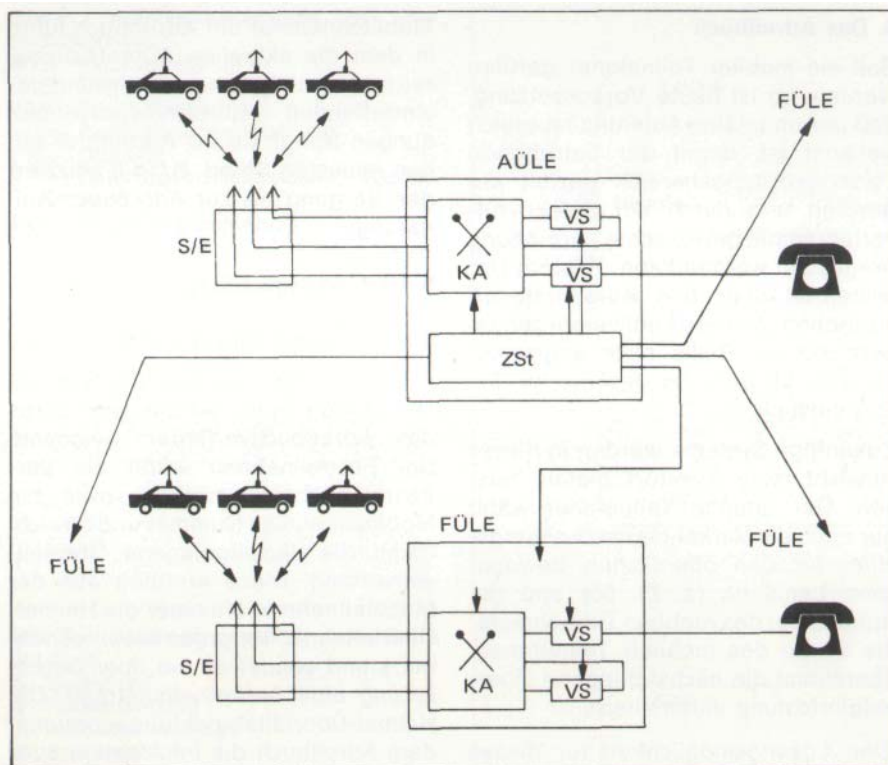


Bild 1. Struktur und Verbindungsmöglichkeiten einer autonomen Überleinrichtung (AÜLE) und einer ferngesteuerten Überleinrichtung (FÜLE). KA Koppelanordnung, VS Verbindungssatz, S/E Sende-/Empfangsstation, ZSt Zentralsteuerung

### 3. Anforderungen an die Überleittechnik

Die Überleinrichtungen sind das Bindeglied zwischen dem öffentlichen Fernsprechnet und den Funkkanälen. Sie stellen zwischen diesen beiden Einrichtungen die Verbindung her. Dazu benötigen sie ein Koppelnetzwerk und Verbindungssätze. Sie ähneln daher in vielen Funktionen einer Vermittlungsstelle. Allerdings ist die Zahl der durchzuführenden Aufgaben erheblich umfangreicher.

#### 3.1. Der Dialog auf dem Funkweg

So gehört z. B. die Abwicklung des Funkdatenverkehrs zu ihren Aufgaben. Hierzu gehört ein umfangreicher Satz von Systemkennzeichen und Steuerzeichen. Dieser enthält neben den vom Fernsprechnet her bekannten viele neue Zeichen, die der variablen Zuordnung zwischen Mobilteilnehmer, Funkversorgungsbereich und Funkkanal dienen.

Die Systemkennzeichen werden in einem Dialog zwischen Mobilstation und Überleinrichtung ausgetauscht. Durch umfangreiche Quittungsprozeduren ist es möglich, eine gute Anrufsicherheit und eine hohe Sicherheit

gegen falsche Verbindungen zu erreichen und systembedingte Blockierungen zu vermeiden.

Die Verschlüsselung der Systemkennzeichen wird komplex sein, denn die Sicherheit der Funkübertragung ist weit geringer als die Datenübertragung im Fernsprechnet. Die Systemkennzeichen werden in Zukunft im wesentlichen über spezielle Duplex-Datenkanäle übertragen werden und nur ein geringer Anteil über die Sprechkanäle. Es erscheint günstig, diesen Datenaustausch in Form von binär codierten Meldungen durchzuführen. Die große Teilnehmerzahl wird dabei ein großes Datenvolumen verursachen. Dies wiederum führt zu der Notwendigkeit, eine hohe Datenübertragungsrate vorzusehen. Um trotzdem eine gute Übertragungssicherheit zu erreichen, müssen störunempfindliche Modulationsverfahren und eine optimale, möglichst redundanzarme Codierung gefunden werden.

Zyklische Codes wie z. B. BCH-Codes, Fire-Codes und Hamming-Codes haben unter diesem Aspekt gute Chancen. Sie bieten ein günstiges Redundanz/Leistungs-Verhältnis, d. h. mit

geringer Redundanz läßt sich eine hohe Sicherheit erreichen. Sie sind leicht zu realisieren und erlauben eine einfache Fehlererkennung sowie Fehlerkorrektur. Neben den zyklischen Codes stehen auch noch „Convolutional-Codes“ zur Diskussion.

#### 3.2. Datenaustausch zwischen den Überleinrichtungen

Neben einer Einheit für den Funkdatenverkehr benötigt die Überleinrichtung eine Datenübertragungssteuerung, die den Datenaustausch mit den anderen Überleinrichtungen abwickelt. Dazu gehört auch die Zwischenvermittlung von Meldungen, die zwei fremde Überleinrichtungen miteinander austauschen.

Datenaustausch zwischen den Überleinrichtungen ist notwendig für das Lokalisieren des Mobilteilnehmers, den Verbindungsauf- und -abbau und für den Bereichswechsel. Das führt zu einer Vielzahl unabhängiger Datenströme zwischen den Überleinrichtungen des Systems, die eine genaue Adressierung und Absenderangabe der Meldungen erfordert. Diese Meldungen erreichen ihr Ziel über ein Teilstrecken-Vermittlungssystem. Der Vorteil hierbei ist, daß immer nur eine Teilstrecke belegt wird, denn die Übertragung geschieht über die einzelnen Strecken nacheinander. Die empfangende Überleinrichtung am Ende einer Teilstrecke puffert die Meldung in einer Warteschlange und führt eine Adressenanalyse durch. Ist die Meldung nicht für sie bestimmt, so wird aus der Zielangabe die nächste Teilstrecke ermittelt und die Meldung weitergereicht. Dieses Verfahren erlaubt eine geringe Bündelstärke der Datenleitungen (Bündelstärke 1) und einen behinderungsfreien Verkehrsfluß.

#### 3.3. Netzstruktur und Fernsteuerung

Bei Einrichtung kleiner Funkversorgungsbereiche ist damit zu rechnen, daß das Verkehrsaufkommen von Bereich zu Bereich sehr unterschiedlich ist. Wird jeder Funkversorgungsbereich von einer Überleinrichtung bedient, so kann das Problem auftreten, daß in Gebieten mit sehr geringem Verkehr ein hoher Aufwand in Kauf genommen werden muß, da sich rechnergesteuerte Anlagen nicht immer so weit „abrüsten“ lassen, wie es von der Wirtschaftlichkeit her erwünscht wäre.

In einem solchen Fall sind weniger intelligente, ferngesteuerte Überleit-einrichtungen in Erwägung zu ziehen. Fernsteuerung heißt, daß ein Teil der Baugruppen (z. B. Koppelnetzwerk und Verbindungssätze) aus einer Überleit-einrichtung herausgezogen und räumlich abgesetzt wird. Die Steuerfunktionen werden vom zentralen Steuerwerk einer autonomen Überleit-einrichtung über Datenleitung wahrgenommen. Ein geringer Mehraufwand für die Datenübertragungssteuerung steht damit der Einsparung von Zentraleinheiten gegenüber. Ähnliche Techniken werden bereits bei vergleichbaren rechnergesteuerten Systemen angewendet. Die Grobstruktur einer autonomen und einer ferngesteuerten Überleit-einrichtung zeigt Bild 1. Beide Versionen haben volle Verbindungsmöglichkeiten.

Als Alternative zum Fernsteuerungsprinzip ist zu überlegen, ob nicht ein zentralisierter Einsatz der Überleit-einrichtungen zu einer noch günstigeren Lösung führt. Zentralisierung bedeutet hier, daß eine Überleit-einrichtung mehrere Funkversorgungsbereiche bedient. In den Funkversorgungsbereichen befinden sich nur abgesetzte Sende-/Empfangsstationen. Die Funkkanäle werden über Standleitungen bis zur Überleit-einrichtung geführt.

Mit wachsender Zentralisierung nehmen die Sprechwegelängen und damit auch die Leitungskosten zu. Andererseits werden weniger Überleit-einrichtungen gebraucht und die Anlagenkosten sinken. Es gilt hier das Minimum der Summenkosten für Anlagen und Leitungen zu finden. Nach ersten Untersuchungen scheinen die Leitungskosten überragende Bedeutung zu haben. Das würde für eine dezentrale Netzstruktur sprechen. Eine endgültige Entscheidung ist natürlich erst nach der Festlegung der Versorgungsbereichsgröße möglich.

In Zukunft wird man sich weitgehende Gedanken über die Rationalisierung und Automatisierung der Wartung und Administration machen müssen. Ein Schritt in dieser Richtung wird der Anschluß der Überleit-einrichtungen an einen zentralen Betriebsrechner sein. Auf diese Weise lassen sich Gebührenerfassung, Statistik und Verkehrsmessungen zentral durchführen.

#### 4. Das Adreßbuch

Soll ein mobiler Teilnehmer gerufen werden, so ist heute Voraussetzung, daß der ungefähre Aufenthaltsbereich bekannt ist, damit der betreffende Funkversorgungsbereich gezielt angewählt und durch ein Selektivrufverfahren die gewünschte Verbindung hergestellt werden kann. Besteht Unsicherheit über den Aufenthaltsort, so können mehrere Funkversorgungsbereiche der Reihe nach angewählt werden, bis sich der gewünschte Erfolg einstellt.

Zukünftige Systeme werden in dieser Hinsicht mehr Komfort bieten müssen: Der rufende Teilnehmer wählt nur noch die Verkehrsausscheidungsziffer für den öffentlichen beweglichen Landfunk (z. Zt. 05) und die Rufnummer des mobilen Teilnehmers; die Suche des mobilen Teilnehmers übernimmt die nächstgelegene Überleit-einrichtung automatisch.

Eine Lösungsmöglichkeit für dieses Lokalisierungsproblem ohne die Datenleitungen und die Funkdatenkanäle übermäßig zu belasten, bietet das Adreßbuchverfahren. Dazu wird der gesamte Netzbereich in Funkrufbereiche aufgeteilt. Der Selektivruf für einen gesuchten Teilnehmer wird nur in seinem Aufenthalts-Funkrufbereich ausgestrahlt. Ein Funkrufbereich enthält mehrere Funkversorgungsbereiche mit Sende- und Empfangseinrichtungen. Jeder Funkrufbereich erhält eine Kennung, die über die Funkversorgungsbereiche in regelmäßigen Abständen gesendet wird.

Ist die Mobilstation eingeschaltet, so sucht sie stets den Datenkanal mit der besten Empfangsqualität und überprüft die Kennung des Funkrufbereichs. Stellt sie eine Änderung der Kennung fest, dann hat sie den Funkrufbereich gewechselt. Sie sendet daraufhin automatisch eine Bereichswachmelde über den neuen Datenkanal. Sobald diese quittiert wird, speichert sie die neue Kennung ab. Die Bereichswachmelde enthält die Rufnummer des Mobilteilnehmers. Alle Mobilteilnehmer sind einem bestimmten Heimatbereich fest zugeordnet, der aus der Rufnummer ersichtlich ist. Die Überleit-einrichtung, welche die Bereichswachmelde empfangen hat, leitet diese über das Datennetz an die Überleit-einrichtung im Heimatbereich weiter, die für alle ihr zugeteilten

Mobilteilnehmer ein Adreßbuch führt, in dem die aktuellen Aufenthaltsbereiche verzeichnet sind. Aufgrund der eintreffenden Bereichswachmeldungen bringt sie ihr Adreßbuch auf den neuesten Stand. Bild 2 skizziert den Vorgang bis zur Adreßbuch-Aufdatung.

#### 5. Verbindungsaufbau

##### 5.1. Richtung Draht -> Funk

Der Ablauf des Verbindungsaufbaus in Richtung Draht -> Funk wird durch das Adreßbuchverfahren bestimmt. Der Festteilnehmer wählt die Verkehrsausscheidungsziffer sowie die Mobilteilnehmer-Nummer und erreicht damit die nächstgelegene Überleit-einrichtung. Diese ermittelt aus der Mobilteilnehmer-Nummer die Heimat-Überleit-einrichtung des Mobilteilnehmers und sendet an sie über Datenleitung eine Aufenthaltsanfrage. Die Heimat-Überleit-einrichtung entnimmt dem Adreßbuch die Information über den Aufenthaltsbereich und gibt der Aufenthalts-Überleit-einrichtung über das Datennetz einen Suchbefehl. Dieser Suchbefehl enthält neben der Rufnummer des gesuchten Mobilteilnehmers die Angabe der Überleit-einrichtung, die den Festteilnehmer bedient. Danach scheidet die Heimat-Überleit-einrichtung aus dem weiteren Verbindungsaufbau aus. Die Aufenthalts-Überleit-einrichtung strahlt auf den Suchbefehl in ihrem Funkrufbereich den Selektivruf aus. Meldet sich die gerufene Mobilstation, so ergoht eine Rufbestätigung direkt an die Überleit-einrichtung des Festteilnehmers. Von hier wird jetzt ohne Umweg ein Sprechweg zur Aufenthalts-Überleit-einrichtung geschaltet. Sobald dies geschehen ist, erhält die Mobilstation einen Sprechkanal zugeteilt, und die Verbindung zwischen Festteilnehmer und Mobilteilnehmer ist damit hergestellt. Die notwendigen Schritte sind in Bild 3 dargestellt.

Die Leitungslänge für den Sprechweg ist bei diesem Vorgehen minimal. Allerdings werden beim Aufbau des Sprechweges über das Fernsprechwählnetz Verzögerungen durch die Vermittlungszeiten hervorgerufen. Sollte sich diese Verzögerungszeit nachteilig bemerkbar machen, könnte die Einrichtung eines Sprechwegesondernetzes ins Auge gefaßt werden. Dieses Sondernetz müßte aus schnell schaltbaren Fernsprechstand-



Bild 2. Adreßbuchaufdatung bei Bereichswechsel. MTN Mobilteilnehmer  
 ÜLE Überleiteinrichtung FRB Funkrufbereich

- 1 Bereichswachsmeldung
- 2 Quittung
- 3 Bereichswachsmeldung (Daten netz)
- 4 Adreßbuch-Aufdatung

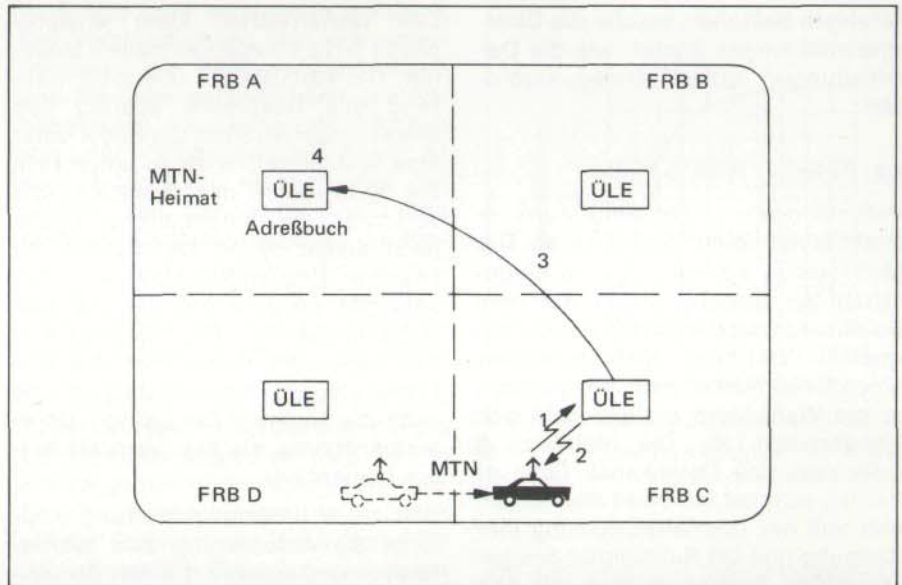


Bild 3. Verbindungsaufbau von Draht auf Funk.

- 5 Selektivruf
- 6 Rufbestätigung
- 7 Aufenthaltsanfrage
- 8 Suchbefehl

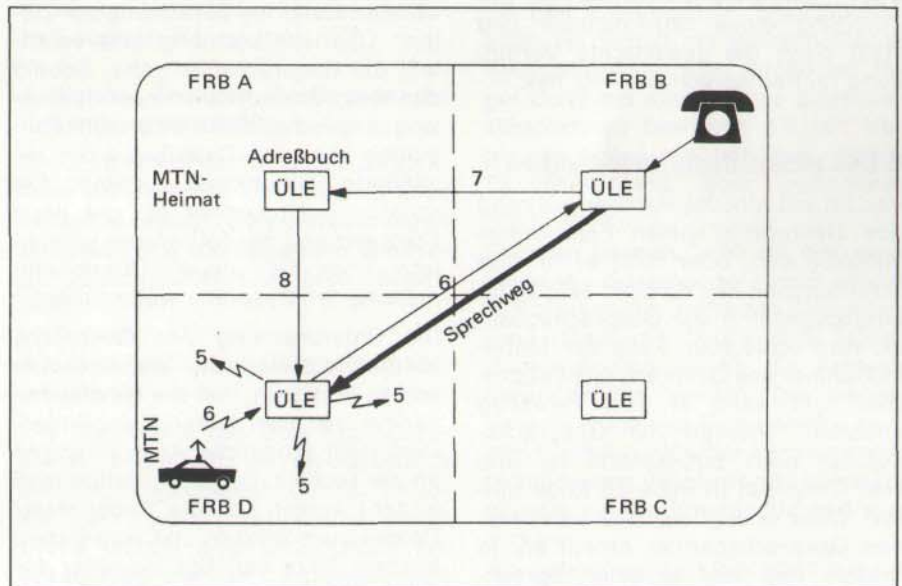
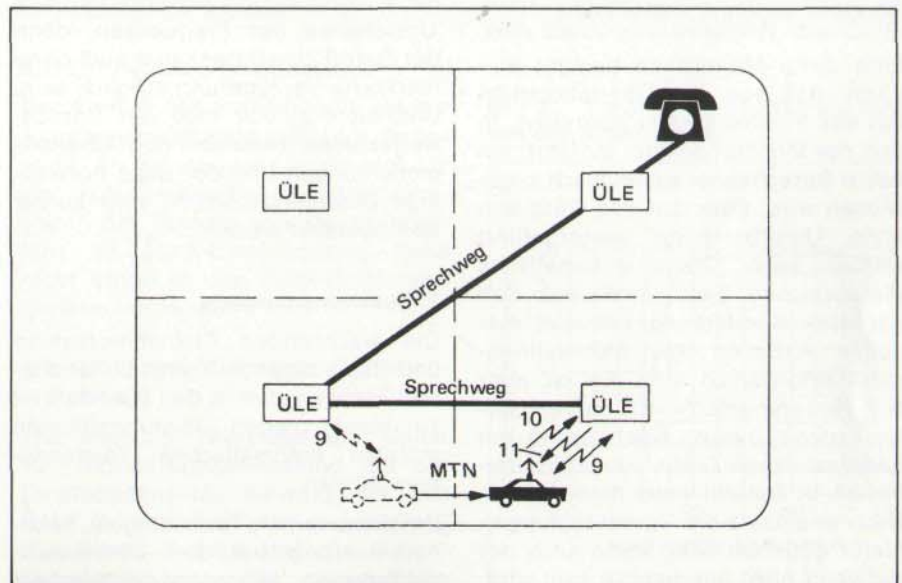


Bild 4. Weiterreichen während des Gesprächs. 9 Gespräch

- 10 Weiterreichenanforderung
- 11 Kanalbefehl



leitungen bestehen, welche die Überleiteneinrichtungen ähnlich wie die Datenleitungen untereinander verbinden.

## 5.2. Richtung Funk -> Draht

Verbindungen in Richtung Funk •» Draht laufen folgendermaßen ab: Die Mobilstation befindet sich im eingeschalteten Zustand immer auf dem Datenkanal mit der besten Empfangsqualität. Hat der Mobilteilnehmer einen Gesprächswunsch, so speichert er die Wahlziffern ein und hebt den Handapparat ab. Die Mobilstation prüft nun den Datenkanal. Falls er frei ist, schaltet sie ihren Sender ein und teilt der Überleiteneinrichtung ihre Kennung und die Rufnummer des gewünschten Festteilnehmers mit. Die Überleiteneinrichtung antwortet mit der Zuteilung eines Sprechkanals und stellt dann die gewünschte Verbindung im Fernsprechwahlnetz her.

## 6. Das automatische Weiterreichen

Verläßt ein Mobilteilnehmer während des Gesprächs seinen Funkversorgungsbereich, oder fährt er in eine Schattenzone ein, so sinkt sein Empfangspegel und die Gesprächsqualität wird schlechter. Falls der Mobilteilnehmer das Gespräch nicht abbrechen will, kann er sein Fahrzeug anhalten, solange die Gesprächsqualität noch ausreichend ist und sein Gespräch in Ruhe zu Ende führen. Oder er legt auf und wählt seinen Gesprächspartner erneut an. In diesem Fall wird er einen Sprechkanal eines günstiger gelegenen Senders zugewiesen bekommen.

Eine dritte Möglichkeit besteht nun darin, daß von der Überleiteneinrichtung des Funkversorgungsbereichs, in den der Mobilteilnehmer einfährt, ein neuer Sprechkanal automatisch zugewiesen wird, über den das Gespräch ohne Unterbrechung weitergeführt werden kann. Dieses automatische Weiterreichen bietet zweifellos den höchsten Komfort, da keinerlei manuelle Aktionen des Mobilteilnehmers erforderlich sind. Es ist aber ein steuerungstechnisch komplizierter Prozeß, dessen Realisierung mit herkömmlichen Techniken undiskutabel ist. In Zukunft werden aber durch Rechnereinsatz die Voraussetzungen hierfür gegeben sein, wenn auch der Aufwand nicht unerheblich sein wird.

Das Weiterreichen kann entsprechend Bild 4 folgendermaßen ablaufen: Die Mobilstation überprüft während des Gesprächs ständig den Empfangspegel. Sinkt der Pegel unter eine bestimmte Grenze, so unterbricht die Mobilstation das Gespräch und veranlaßt die automatische Suche nach einem neuen Datenkanal mit besserer Empfangsqualität. Auf diesem gibt sie eine Anforderung zum Weiterreichen ab. Die Meldung enthält neben der Rufnummer des Mobilteilnehmers und dem Befehlscode auch die Nummer der „alten“ Überleiteneinrichtung, die das Gespräch bisher bedient hat.

Die „neue“ Überleiteneinrichtung empfängt die Anforderung zum Weiterreichen und reserviert einen Sprechkanal für die Mobilstation. Danach schaltet sie einen Sprechweg zur „alten“ Überleiteneinrichtung und veranlaßt die Gesprächsübergabe. Sobald das Gespräch auf den neuen Sprechweg umgeschaltet ist, wird der Mobilstation über den Datenkanal der reservierte Sprechkanal zugewiesen. Sie schaltet ihren Sender auf die neue Frequenz und die Teilnehmer können jetzt über die „neue“ Überleiteneinrichtung ihr Gespräch weiterführen.

Die Unterbrechung des Gesprächs für das automatische Weiterreichen soll so kurz sein, daß die Gesprächspartner sie nicht störend empfinden. Dies stellt erhebliche Anforderungen an die Technik. Die Mobilstation muß in sehr kurzer Zeit die Pegel vieler Datenkanäle messen und vergleichen können. Dazu benötigt sie unter anderem einen Frequenz-Synthesizer mit äußerst kurzen Schaltzeiten zum Umschalten der Frequenzen, denn der Zugriff zum Datenkanal muß ohne merkliche Verzögerung möglich sein. Und nicht zuletzt muß der Sprechwegeaufbau zwischen den Überleiteneinrichtungen und der dazu notwendige Datenaustausch in sehr kurzer Zeit realisiert werden.

## 7. Zusammenfassung

Die wachsenden Teilnehmerzahlen und das steigende Kommunikationsbedürfnis werden in den 80er Jahren zu einem neuen, leistungsfähigen mobilen automatischen Telefonsystem führen.

Durch modernste Technologien, Rechnersteuerung bei den Überleiteneinrichtungen, Mikroprogrammtechnik

und hohe Integration der Schaltungen wird es möglich sein, neben einer rationellen Arbeitsweise ein kostengünstiges System zu realisieren, das dem Teilnehmer höheren Komfort und eine preisgünstige Mobilstation bietet.

Über eine flexible Software und eine modular aufgebaute Hardware kann ein leicht zu modifizierendes System entstehen, daß die Anpassung an verschiedene nationale Gegebenheiten erlaubt. Es bleibt zu hoffen, daß die Zukunft ein einheitliches Netz bringen wird, damit das Funktelefon überall in Europa für alle Teilnehmer jederzeit gebrauchsbereit ist.

# Gesichtspunkte für eine „Automatische Empfangsauswahl“ in Funknetzen

## 1. Situation

In geographisch ungünstigem Gelände kann der Funkbetrieb zwischen mobilen Funk-Teilnehmern und ortsfesten Stationen häufig nur durch mehrere auf gleiche Frequenz eingestellte, aber örtlich getrennt angeordnete Funk-Sende/Empfänger sichergestellt werden. Die dadurch gewonnenen einzelnen Empfangs-Kanäle sind über ein Verbindungsnetz mit Zentralen verbunden. In den Zentralen stehen somit mehrere Kanäle mit der gleichen Information, aber mit unterschiedlicher Empfangsqualität, zur Verfügung.

Zur Empfangsstelle soll natürlich immer nur ein Funk-Empfangskanal, und zwar der mit der besten Empfangsqualität, durchgeschaltet werden.

Das Auswählen und Durchschalten des entsprechenden Funk-Empfangskanals zur ortsfesten Empfangsstelle geschieht deshalb durch eine Automatik, die sog. „Automatische Empfangsauswahl“.

## 2. Aufgaben der Automatik

Welche Hauptaufgaben hat nun die Automatik zu erfüllen? Hauptsächlich sind es folgende zwei Aufgaben:

- Sicherstellen eines verzugslosen unterbrechungsfreien Funkempfangs.
- Durchschalten desjenigen Funkkanals, der mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit die beste Empfangsqualität bietet.

Die Aufgabe a ist bei Beginn des Funkgespräches von Bedeutung, denn zunächst muß der Empfang sichergestellt werden.

Danach soll der Empfang optimiert werden, d. h., der Funkkanal mit der besten Empfangsqualität ist durchzuschalten. Bevor dies geschehen kann, muß die „Automatische Empfangsauswahl“ in einem bestimmten Verfahren sichere Kriterien gewinnen, die eine Aussage über die Empfangsqualität ermöglichen. Bevor wir uns näher mit den Kriterien der Empfangsqualität befassen, müssen wir klären, was unter „Empfangsqualität“ zu verstehen ist.

## 3. Empfangsqualität

Beim Funk-Sprechverkehr erfolgt die Informations-Übermittlung durch Sprache. Die auf Empfang geschaltete Gegenstelle nimmt diese Information durch Abhören auf. Die Information

muß also „gut verstanden werden“. Die Verständlichkeit läßt sich unterteilen in die Silbenverständlichkeit und die Satzverständlichkeit. Die Abhängigkeit der Satzverständlichkeit von der Silbenverständlichkeit ist aus Bild 1 zu ersehen. Bei Systemen, bei denen die Laufzeiten noch nicht entscheidend auf die Empfangsqualität einwirken (für Laufzeiten  $< 100$  ms), kann die Silbenverständlichkeit als Maß für die Empfangsqualität genommen werden.

Bei Übertragungssystemen mit größeren Laufzeiten muß der sogenannte Sprechwirkungsgrad als Maß für die Empfangsqualität genommen werden. Der Sprechwirkungsgrad ist definiert als der Quotient aus Zeitaufwand für das ungestörte Gespräch zum durch häufigeres Rückfragen bedingten größeren Zeitaufwand für das gestörte Gespräch [1].

## 4. Welche Faktoren bestimmen die Empfangsqualität?

Die Empfangsqualität eines Gespräches wird bei der Übertragung über moderne Funk/TF/RF-Verbindungen hauptsächlich von folgenden übertragungstechnischen Faktoren beeinflusst:

### 4.1. Bandbreite des Übertragungssystems

Die Bandbreite des Übertragungssystems beeinflusst selbstverständlich die Empfangsqualität. Da die im jeweiligen System vorhandene Bandbreite jedoch eine feste Größe ist, braucht sie bei der „Automatischen Empfangsauswahl“ nicht weiter berücksichtigt zu werden.

### 4.2. Größe des Signalpegels

Der Einfluß des Signalpegels auf die Empfangsqualität ist in Bild 2 dargestellt. Als Konsequenz ergibt sich für die „Automatische Empfangsauswahl“ der Einsatz von Dynamikreglern im Funk-Empfangsweg (falls nicht schon in den Funk-Empfangsgeräten vorhanden).

### 4.3. Größe des Störpegels (Geräuschpegel)

Wie weit der Störpegel und damit der Signal-Rausch-Abstand auf die Empfangsqualität einwirkt, ist aus Bild 3 ersichtlich. Die Auswertung des Bildes 3 zeigt, daß die Silbenverständlichkeit nicht zwangsläufig

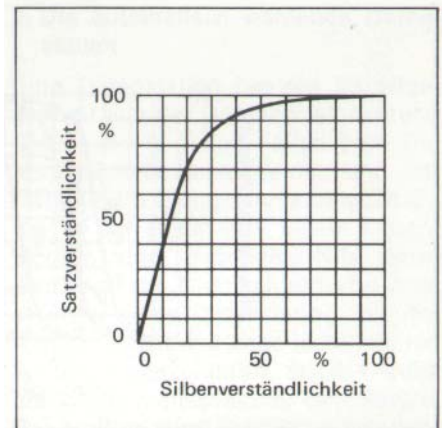


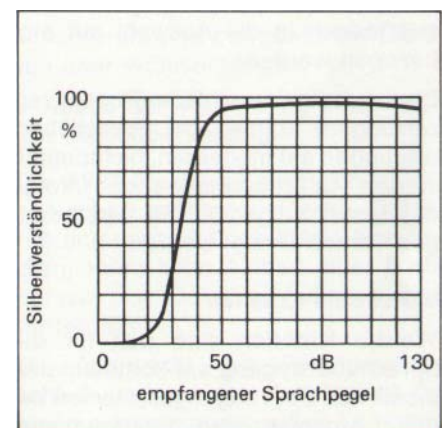
Bild 1. Satzverständlichkeit in Abhängigkeit von der Silbenverständlichkeit (nach H. Fletcher)

mit der Größe des Signal-Rausch-Abstandes steigt. Etwa im Bereich  $< 50$  dB des empfangenen Sprachpegels kann ein Signal mit kleinem Signal-Rausch-Abstand aber größerem Pegel durchaus eine höhere Silbenverständlichkeit bewirken als ein Vergleichs-Signal mit höherem Signal-Rausch-Abstand, aber geringerem Signalpegel.

Etwa im Bereich  $> 50$  dB des empfangenen Sprachpegels muß jedoch nun stärker die Größe des Störpegels (und damit die Größe des Signal-Rausch-Abstandes) für die Auswahl herangezogen werden. Die weitere Vergrößerung des Signalpegels kann sich hierbei wegen der zunehmenden nichtlinearen Verzerrungen sogar ungünstig auf die Verständlichkeit auswirken.

Als Konsequenz ist hier ebenfalls der Einsatz von Dynamik-Reglern im Funk-Empfangsweg zu empfehlen, weil dann ausschließlich die Größe

Bild 2. Silbenverständlichkeit als Funktion des Sprachpegels



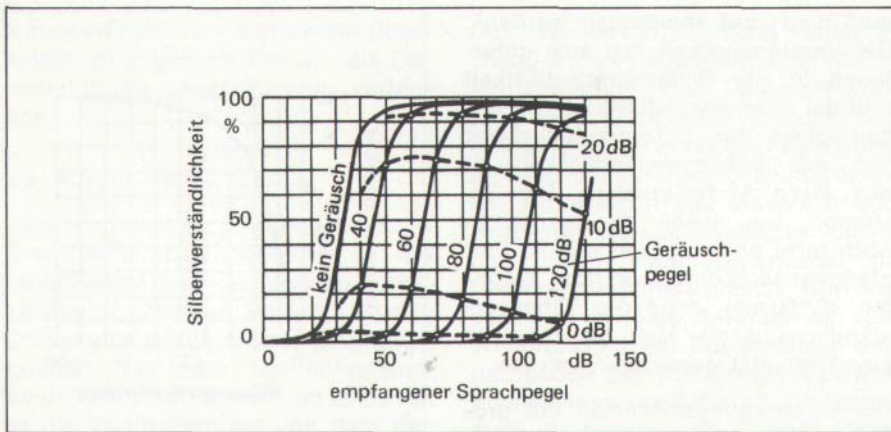


Bild 3. Silbenverständlichkeit in Abhängigkeit von der Lautstärke, mit dem Geräuschpegel als Parameter (nach Fletcher und Galt)

Gestrichelte Linien: Kurven gleichen Geräuschabstandes (empfangener Sprachpegel minus Geräuschpegel)

des Signal-Rausch-Abstandes für die Beurteilung der Empfangsqualität herangezogen werden kann.

#### 4.4. Nichtlineare Verzerrungen

Um den Aufwand für die Einrichtung der „Automatischen Empfangsauswahl“ in wirtschaftlichen Grenzen zu halten, können die nichtlinearen Verzerrungen nur indirekt berücksichtigt werden, indem Signale mit Überpegel (Klirrfaktor) weniger stark für die Auswahl bewertet werden als Signale mit Normalpegel.

#### 4.5. Laufzeit und Laufzeitunterschiede (Phasenverzerrung)

Der Einfluß der Laufzeit auf die Empfangsqualität von Sprachsignalen ist erst bei Werten in der Größenordnung von etwa 100 ms nachweisbar und deshalb für die meisten erdgebundenen kontinentalen Verbindungen zu vernachlässigen. Dies gilt allerdings nur dann, wenn auf den Weitverkehrs-Verbindungen keinepupinisierten Fernsprechkabel (schmalbandig), eingesetzt werden. Bei Satelliten-Übertragungen muß die Laufzeit jedoch in die Auswahl mit einbezogen werden.

Die Laufzeitunterschiede (Phasenverzerrungen) können bei Sprachübertragungen auf modernen, nichtpupinisierten Übertragungswegen infolge der breitbandigen TF/RV-Verbindungen vernachlässigt werden.

#### 5. Auswahl-Kriterien

Welche Kriterien sind nun für die Sprachübertragung auf kontinentalen modernen Übertragungssystemen bei der „Automatischen Empfangsaus-

wahl“ zu berücksichtigen?

Für eine wirtschaftlich ausgelegte und effektiv arbeitende „Automatische Empfangsauswahl“ sind vor allem folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Größe des Signalpegels,
- Größe des Signal-Rausch-Abstandes.

Der Einfluß des Signalpegels auf die Bewertung läßt sich durch den Einsatz von Dynamikreglern weitgehend vermindern, wenn sie mit entsprechenden Pegelschwellen ausgestattet sind.

Beim Vergleich der Signal-Rausch-Abstände verschiedener Funkkanäle ist zu beachten, daß ein Signal-Rausch-Abstand von 20 dB bereits eine Silbenverständlichkeit von > 90% und damit eine zugehörige Satzverständlichkeit von 100% bewirkt (siehe Bild 3).

#### 6. Zusammenfassung

Um im mobilen Funk-Netzen stets einen optimalen Empfang sicherzustellen, ist eine „Automatische Empfangsauswahl“ erforderlich, die stets den Funk-Kanal mit der besten Empfangsqualität zur Empfangsstelle durchschaltet. Als Maß für die Empfangsqualität dient dabei die mit dem Signal erzielbare Silbenverständlichkeit. Von den die Empfangsqualität beeinflussenden Faktoren sind vor allem die Größe des Signalpegels und der Signal-Rausch-Abstand zu berücksichtigen. Durch Vorschalten eines Dynamik-Reglers kann die Auswertung vereinfacht und damit die Einrichtung zur „Automatischen Empfangsauswahl“ wirtschaftlich und effektiv arbeitend ausgelegt werden.

#### Schrifttum

- [1] K. O. Schmidt, O. Brosze: Fernsprech-Übertragung. Fachverlag Schiele und Schön, Berlin, 1967.