

Die Digitalisierung des Richtfunks in Backnang (1. Teil)

Die Jahre 1948 bis 1992

Von Ulrich Buse, Bernhard Holtmannspötter und Heinz Wollenhaupt

Durch die Radartechnik angeregt begannen bei Telefunken in Berlin schon kurz nach dem Zweiten Weltkrieg Untersuchungen zur Übertragung von Nachrichten in digitaler Form, die dann in eine Richtfunk-Gerätefamilie mündeten: von der IDA (= Impuls-Dezimeter-Anlage) 22 über IDA 24 bis zur PPM (= Puls-Phasen-Modulation) 24/2 200 sowie für die Übertragung hochwertiger Rundfunkkanäle die PPM 24 R/2200. Durch die Notwendigkeit eines schnellen breitbandigen Ausbaus der Übertragungsmöglichkeiten in den Jahren nach dem Krieg gerieten die Vorteile der noch schmalbandigen Digitaltechnik allerdings wieder rasch ins Hintertreffen. Erst nach der Digitalisierung der leitungsgebundenen Trägerfrequenztechnik zur PCM- (= Pulse-Code-Modulation) 30-Technik sollten dann die postalischen digitalen PCM-Kanäle auch direkt über Richtfunk zu den Endstellen übertragen werden. Über 20 Jahre nach Einstellung der ersten digitalen Gerätefamilie begann man 1979 den Richtfunk wieder zu digitalisieren, was zur ersten digitalen Richtfunkanlage DRS (= Digitales-Richtfunk-System) 2 x 8/15 000 GHz führte. In der Folge wurden dann sämtliche vorhandene Analoganlagen in Digitalanlagen weiterentwickelt. Nach Einführung des D-Netzes des Mobilfunkes und nach der Privatisierung der Deutschen Bundespost explodierte der Markt der digitalen Richtfunkgeräte in den 1990er-Jahren förmlich. Über diese Entwicklungsphase wird in einem späteren Aufsatz zu berichten sein.

Beginn des kommerziellen Richtfunks

Das Richtfunknetz in Westdeutschland bestand 1948 im Wesentlichen aus den alten Wehrmachtsgaräten „Michael“ und „Rudolf“.¹ Am 24. Juni 1948 schrieb Günther Ulbricht, ein Systemingenieur im Telefunken-Werk HOGA (= Hochfrequenz-Geräte und -Anlagen) in Berlin, eine richtungsweisende Aktennotiz über eine Besprechung mit dem Planungsingenieur Dr. Schmidt aus dem Forschungsinstitut der Post, damals noch in Bargteheide in Holstein. Dieses Gespräch war die Einleitung zu einer Planung von Richtfunkstrecken für den Nah- und Weitverkehr.² Nachdem sich bis 1945 hauptsächlich die Luftwaffe der Richtfunktechnik bedienen durfte, wollte die Post den sich abzeichnenden Bedarf an nachrichtentechnischen Verbindungen mithilfe des Richtfunks schnell ausbauen. Dazu gehörten: Fernsehverbindungen zwischen den Rundfunkanstalten, die nicht über Kabel abgewickelt werden konnten (beispielsweise die FM TV/1900 FREDa, die vollständig restauriert in der Backnanger Techniksammlung steht); Breitbandverbindungen, die Bündel von Trägerfrequenzanlagen übertragen sollten, wie die Weiterentwicklung der FREDa zur FM (= Frequenz-Modulation) 240/1900, die ab 1954 erstmalig auf der Strecke Hannover–Münster eingesetzt wurde;³ Nahverkehrsverbindungen innerhalb von Postdirektionen, die Gegenstand der folgenden Betrachtungen sind.

¹ Vgl. dazu: Heinz Wollenhaupt: Von Berlin nach Backnang – Die Entwicklung des Richtfunks bei Telefunken. – In: BJB 18, 2010, S. 214 bis 228.

² DTMB I.2 60 C 4432.

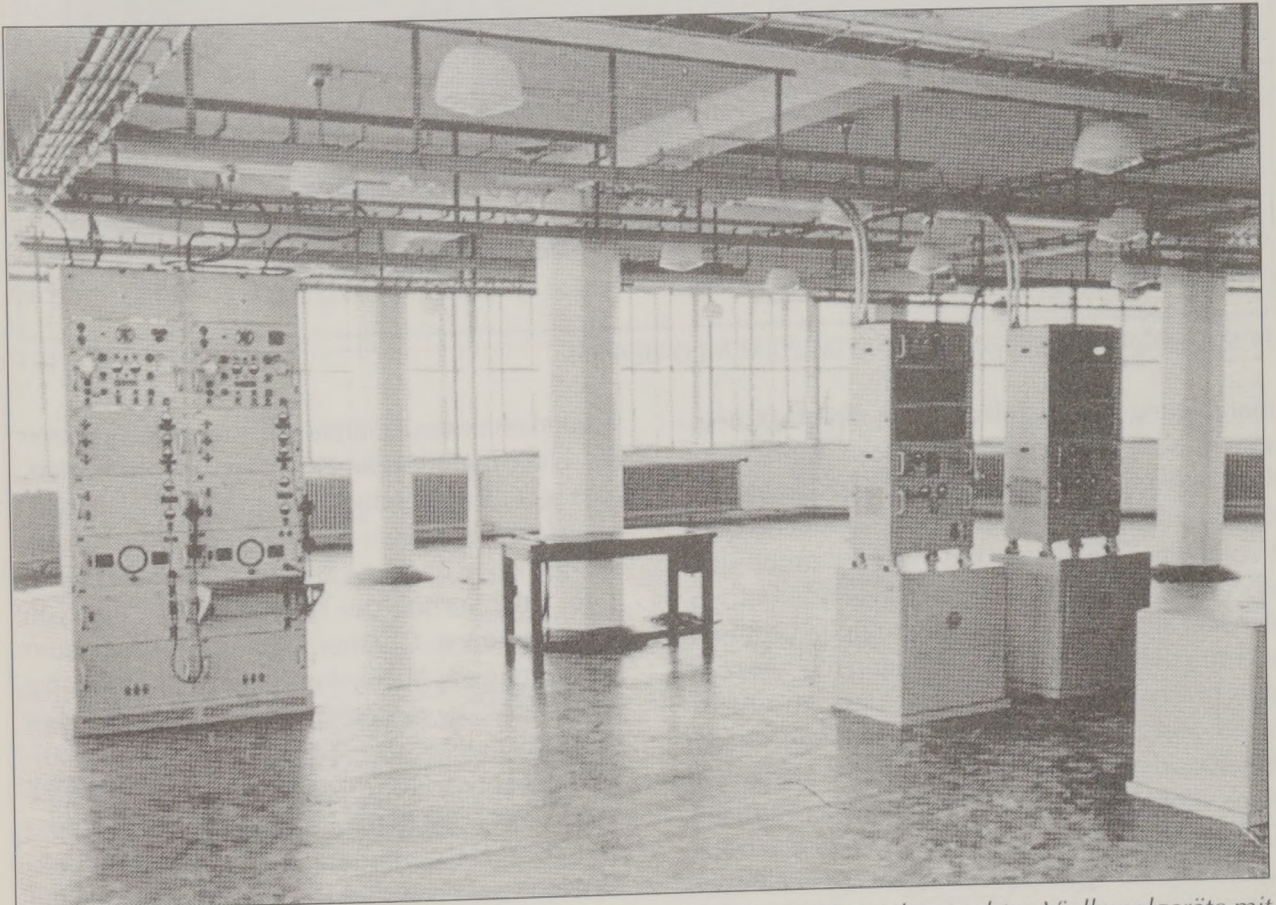
³ AEG-Telefunken Backnang: 25 Jahre kommerzieller Richtfunk 4/1975.

Vorläufer der ersten digitalen Richtfunkgeräte

Bereits im Oktober 1948 wurden von Ernst Kettel, der in dem kurz zuvor von Dachau nach Ulm verlagerten HOGA-Bereich im Westen tätig war, Untersuchungen von Übertragungseigenschaften und Mehrkanalverfahren analysiert.⁴ Mitarbeiter am Projekt IDA waren für den Modulator Helmut Oberbeck und für den Sendeteil Erwin Willwacher, die beide später in Backnang leitende Positionen im Richtfunk einnahmen. Die Entwicklung in Ulm stand unter der Leitung von Gerhard Brühl, der ab 1955 in Backnang für die gesamte Entwicklung verantwortlich war.⁵ Bereits im April 1951 beschrieb Günther Ulbricht in einer ausführlichen Aktennotiz die zur Erprobung durch die Post bereitgestellte Impulsdezi-meteranlage mit 22 Betriebskanälen (IDA 22).⁶

Die Puls-Phasen-Modulation wurde aus zwei Gründen statt der Frequenz-Modulation ausgewählt: „Einfacher Aufbau des Senders als impulsgetasteter Triodensender mit der Röhre 2C39 und keine Verzerrungen auf den Relaisstellen, die ebenfalls einfach aufgebaut sind.“⁷ Die Verwendung der US-amerikanischen Röhre war wichtig, da in Deutschland bis 1953 keine Eigenentwicklung von Mikrowellenröhren erlaubt war.

Aufgrund des zu erwartenden geringen Gesprächsaufkommens in den einzelnen Postdirektionen war ein Frequenzmultiplex oder Zeitmultiplex von Gesprächsbündeln zunächst noch nicht vorgesehen, sondern die Anlieferung einzelner Gespräche zur Richtfunkübertragung ohne Umformung in ein Trägerfrequenzsignal. Um mehrere Nachrichtenkanäle über eine Kabel- oder Funkverbindung zu übertragen, benötigte man zwei Elemente: eine Multiplexeinrichtung zur Zusam-



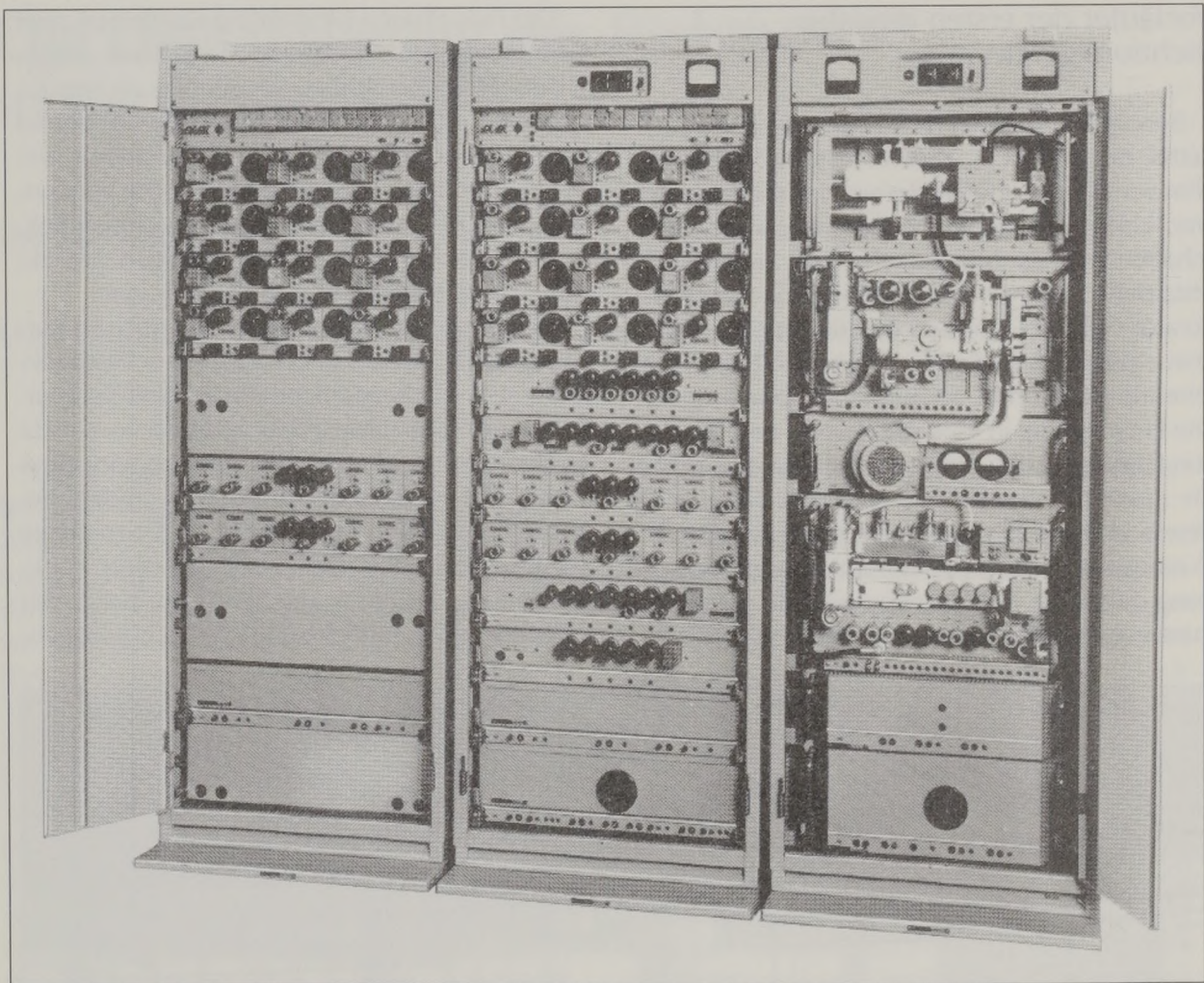
Das PPM-Gerät IDA 22 für 22 Sprachkanäle war eines der ersten im Betrieb erprobten Vielkanalgeräte mit digitaler Sprachübertragung. Daneben rechts die älteren Michael-Geräte.

⁴ DTMB I.2.60 C 5429 u. 5430.

⁵ Siehe dazu: Wollenhaupt (wie Anm. 1).

⁶ DTMB I.2.60 C 5578.

⁷ Reinhard Schulz: Geschichte mit Zukunft. 30 Jahre Fortschritt in der Nachrichtentechnik 1945 bis 1975, Backnang 1975, S. 25.



PPM-Endstelle für 24 Sprachkanäle im 2000-MHz-Bereich.

menfassung der Einzelkanäle in einem gemeinsamen Kanal (Basiskanal) und eine Einrichtung für die Fernübertragung dieses Basiskanals. Für die Zusammenfassung gibt es verschiedene Möglichkeiten, von denen das Frequenzmultiplex- und das Zeitmultiplexverfahren am gebräuchlichsten sind. Beim Frequenzmultiplexverfahren werden die einzelnen Nachrichten mit verschieden hohen Trägern umgesetzt und zum Basisband zusammengeschaltet. Man kann so das Basisband nahezu lückenlos durch Aneinanderreihen der einzelnen Nachrichtenbänder ausfüllen. Die einzelnen Nachrichten werden gleichzeitig, aber frequenzversetzt übertragen. Das Zeitmultiplexverfahren entnimmt jeder Nachricht in regelmäßig wiederkehrenden kurzen Zeitabständen „Proben“, die zeitlich nacheinander über das Nachrichtensystem geschickt werden. Jedem einzelnen Nachrichtenkanal wird ein periodisch

wiederkehrendes Zeitintervall zugeordnet. Neben der Übertragungsgüte ist weiterhin von Vorteil, dass jeder Kanal individuell an einer Relaisstelle ausgekoppelt und ein anderer Kanal eingekoppelt werden kann, ohne die anderen Kanäle zu stören.

Im Oktoberheft der Telefunken-Zeitung von 1951 berichtete Günther Ulbricht von der ersten Ausführung der Nahverkehrsanlage als Versuchsstrecke der Deutschen Post von Darmstadt über Feldberg/Taunus nach Frankfurt/M.⁸ Noch während der Entwicklung und Erprobung der IDA 22 wurde von Ernst Kettel im November 1948 eine Anlage zur Übertragung von fünf Rundfunkkanälen entwickelt. Da jeder Rundfunkkanal mit einer Bandbreite von 15 kHz konzipiert wurde, ließen sich darin auch 24 Telefonkanäle unterbringen. Daraus entstand die dann in Serie gegangene IDA 22 als IDA 24 bzw. PPM 24/2200, die ab 1953 mit etwa 150 Geräten an die Deut-

⁸ Telefunken-Zeitung 92/1951, S. 143 bis 162.

Kapazität in den Richtfunknetzen noch nicht erschöpft war, begann in der Richtfunktechnik weltweit ein gewaltiger Umbruch: Der Trend ging weg vom analogen FM/FDM-Richtfunk hin zur digitalen PCM/TDM- (= Time Division Multiplex) Technik.

Ausschlaggebend dafür waren folgende Gründe: Die digitale Daten- und Informationsverarbeitung ließ den Schaltungsaufwand zunächst ansteigen. Durch rasche Fortschritte in der Bauelemente-Integration und der Schaffung immer neuer Technologien gelang es jedoch, komplette Schaltungsfunktionen in einem Bauelement unterzubringen. Obwohl die Leistungsanforderungen sich erhöhten, reduzierte sich dadurch das Schaltungsvolumen. Durch diese fortgeschrittene Technik wurde eine digitale Realisierung für die Vermittlungs- und Multiplextechnik wirtschaftlich interessant. Die zu übertragenden Informationen enthielten zunehmend vollständig neue Digitalanteile aus Rechenanlagen, Telefon, Rundfunk und Fernsehen. Nur die Digitaltechnik erlaubte eine angepasste Übertragungstechnik mit ausreichender Geschwindigkeit und hoher Übertragungsqualität. Aufgrund von Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit legte die Deutsche Bundespost 1978 fest, beim Aufbau neuer Verbindungswege statt der bisher benutzten Niederfrequenz-Fernverbindungskabel den digitalen Richtfunk zu installieren. Wie in der Analogtechnik hat auch in der Digitaltechnik jeder Empfänger einen gewissen konstanten Rauschanteil. Bei der Hintereinanderschaltung vieler Funkfelder addieren sich diese Rauschanteile und begrenzen somit die Anzahl der Funkfelder. Nicht so bei der Digitaltechnik: Hier werden die Digitalinformationen nach jedem Funkfeld im Empfangsteil regeneriert, sodass das nächste Funkfeld immer rauschfreie Signale zur weiteren Übertragung erhält. Eine Kumulation der Rauschanteile tritt nicht auf. Somit werden die Frequenzbereiche weit oberhalb von 11,2 GHz attraktiv. Die Nachteile reduzierter Funkfeldlänge, zusätzlich beeinträchtigt durch eine höhere Ausbreitungsdämpfung bei Regen, wurden dadurch kompensiert.

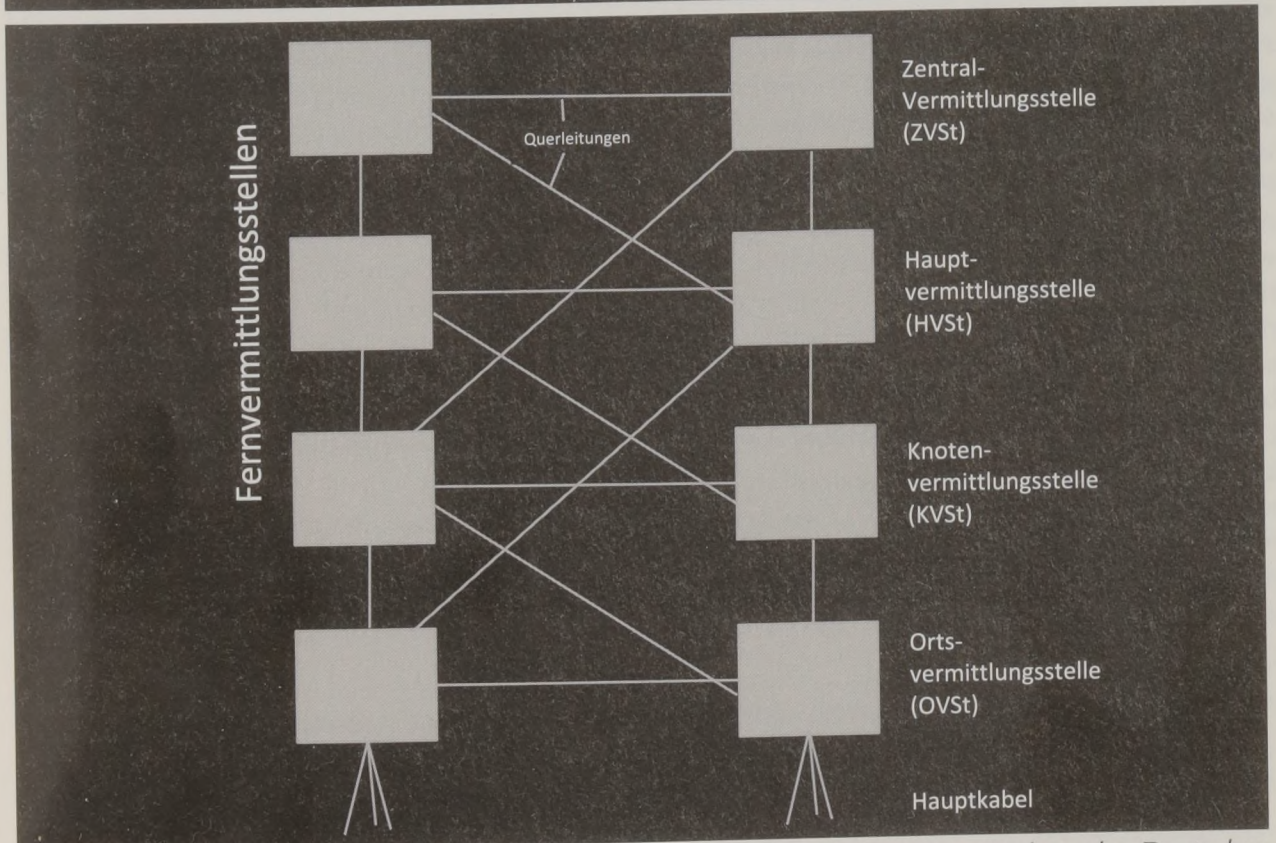
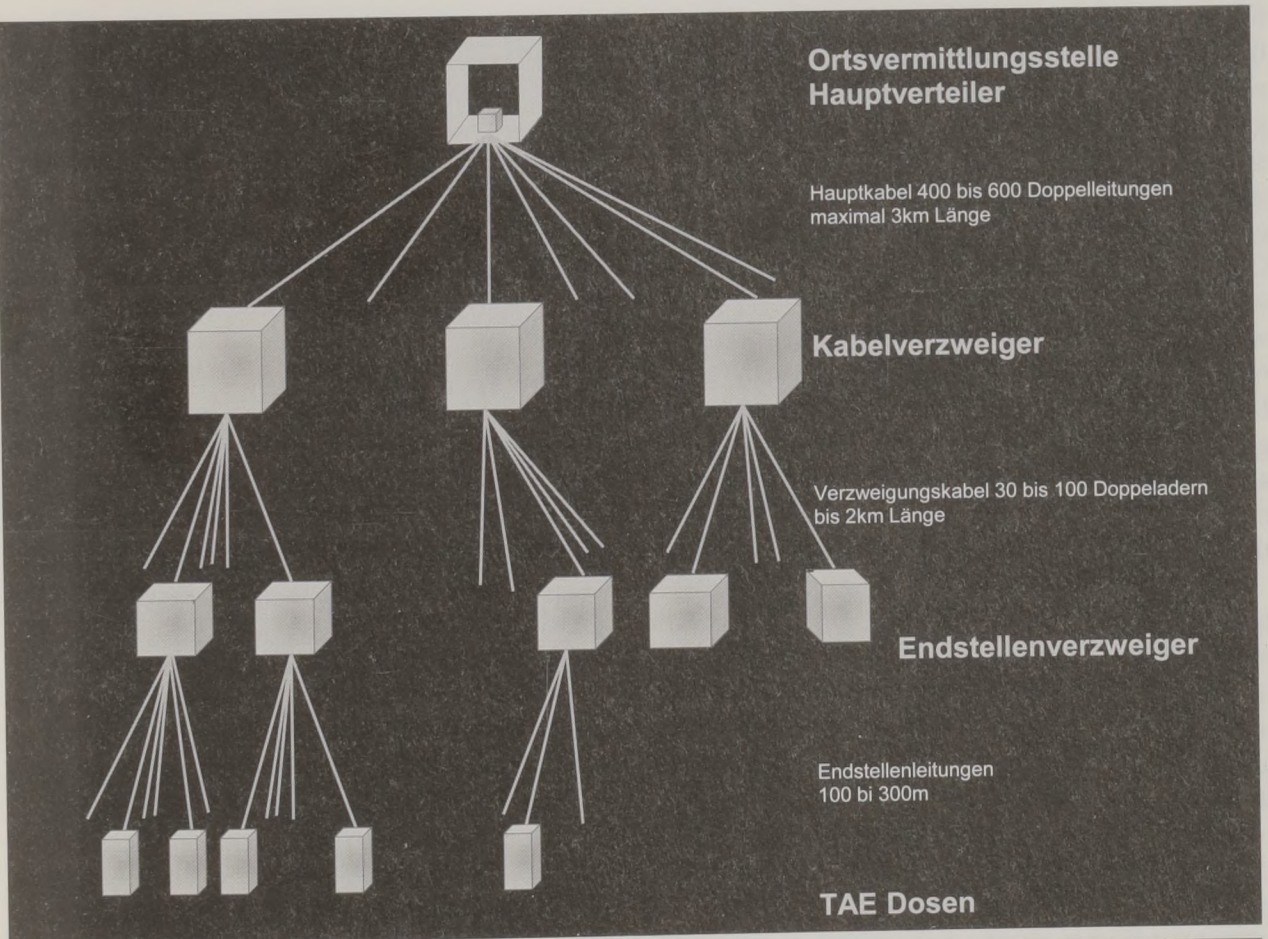
Die lang- und mittelfristigen Planungen der Deutschen Bundespost waren in den 1970er-Jahren geprägt durch den stark wachsenden Bedarf

und dem Einschätzen der zur Deckung dieses Bedarfs erforderlichen finanziellen Mittel (Wirtschaftlichkeit der Netze). Die Richtfunkgeräte wurden von 1 800 auf 2 700 Kanäle im Frequenzbereich 6,7 GHz erweitert. Es wurde die Entwicklung der FM 2700/6700 angestoßen und in einer Verbindung von München über Frankfurt/M. bis Hamburg realisiert. Mit der Einseitenband-Amplitudenmodulation (EM) verfolgte man im Richtfunk eine Erweiterung der Übertragung auf über 3 000 Telefonie-Kanäle bzw. auf zwei oder drei TV-Kanäle. In einem Versuchsaufbau wurde eine FM 1800/6200 zur EM-TV/6200 umfunktioniert.¹¹

Allerdings musste das Netz umgestaltet werden, da neben der reinen Kapazität auch die Netzsicherheit hinterfragt wurde. Die bestehende sogenannte Kabelacht, die Hamburg über das Ruhrgebiet mit Kassel, Stuttgart und München über den Kreuzungspunkt in Frankfurt/M. verband, war nicht sicher gegen unberechtigte Eingriffe. Während der 1970er-Jahre erfolgten Störungen, höchstwahrscheinlich verursacht durch RAF-Sympathisanten mittels Sprengsätzen in Kabel-Kanal-schächten. In diesen Jahren wurde auch über die Sicherheit des Netzes gegen NEMP (= nuklearer elektromagnetischer Puls) nachgedacht und geforscht – im Besonderen auch in Backnang. Die Sicherung der Netze war vor allem bei Energieversorgungsunternehmen, der Polizei oder der Deutschen Flugsicherung ein ständiges Thema. Nur in einem Maschennetz ließ sich ein größerer Störfall vermeiden.

Die Netzhierarchie der Deutschen Bundespost sah folgendermaßen aus: In jeder Ortschaft wurden die Teilnehmer über Kupferkabel mit der Ortsvermittlungsstelle verbunden. Jede Ortschaft hatte eine Orts- oder Endvermittlung (OVST), die Kreisstädte eine Knotenvermittlungsstelle (KVST), die großen Städte eine Hauptvermittlungsstelle (HVST) und die Landeshauptstädte mit Sitz einer Oberpostdirektion zusätzlich eine zentrale Vermittlungsstelle (ZVST). Die Vermittlungsstellen waren untereinander über Verbindungskabel vernetzt, die Verbindungswege zwischen OVST und KVST in der Regel zwischen 15 und 30 km lang. Die Kabel waren bereits sehr alt und auch zunehmend störanfällig. Deshalb mussten sie

¹¹ StAB Technikarchiv: Breitband-Richtfunksysteme mit Einseiten-Amplitudenmodulation. Abschlussbericht zum Vertrag 412-7491-TK 0114 8 zwischen dem Bundesministerium für Forschung und Technologie und ANT Nachrichtentechnik GmbH, Fachbereich Richtfunk. Vorhabenszeitraum: 1.9.1977 bis 30.6.1983.



Prinzip der Verbindungen in der Netzhierarchie der fernmeldetechnischen Struktur der Deutschen Bundespost.

für den Anschluss ans zukünftige ISDN-Netz¹² bundesweit für die Digitaltechnik hergerichtet werden. Allerdings wäre dies aufgrund der Menge sehr teuer geworden und hätte bei einer abschließlichen Erneuerung mit Glasfaser zu lang gedauert. Aus diesen Gründen musste man zweigleisig fahren: Dort wo sich eine Realisierung mit Glasfaser wirtschaftlich und zeitlich rechnete, wurde Glasfaser verlegt und in den anderen Fällen wurde Richtfunk eingesetzt – selbst dann, wenn neue Antennenträger erforderlich wurden. Die Entscheidung der Deutschen Bundespost das gesamte Fernsprechnet zu digitalisieren und anschließend in ein dienstintegrierendes Fernmeldenetz (ISDN) zu überführen, war auch für den Richtfunk von weitreichender Bedeutung.¹³

Der Übergang von der Analog- zur Digitaltechnik beim Fernsprechen führte zur Einführung einer Vielzahl von Richtfunksystemen unterschiedlicher Bitraten in verschiedenen Frequenzbereichen. Die Gunnediode – und für höhere Leistungen die Impattdiode – erlaubten den 15-GHz-Bereich zu nutzen.¹⁴ 1978 wurde in Backnang eine erste Übertragungsstrecke vom Betriebsgelände der AEG-Telefunken (Gebäude 9 in der Erbstetter Straße) zum Plattenwald (nahe der Gaststätte Waldheim) im Dauerbetrieb erprobt. Mit elektronischen Regenmessern wurden in Abhängigkeit von der Regenintensität Empfangspegelschwankungen registriert und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhielt man notwendige Planungshilfen, um bei späteren Streckenplanungen optimale Geräteparameter, wie beispielsweise Antennengewinn und Sendeleistung, zu bestimmen. All diese sehr frühen Studien sowie der Aufbau von Labormustern mit Erprobungen setzten die Richtfunkentwicklung in die Lage, bereits 1979 das erste Digital-Richtfunksystem DRS 2x8 (2x2)/15000 vom Lauberhorn zur Zugspitze unter harten Klimabedingungen erfolgreich in Betrieb zu nehmen. Da die Frequenzbereiche unterhalb von 12 GHz noch weitgehend mit Analogsystemen belegt waren, mussten zusätzlich höhere Frequenzbereiche bei 13 GHz,

15 GHz, 18 GHz und sogar oberhalb 20 GHz zum Einsatz von Digitalrichtfunksystemen erschlossen werden. Abhängig von der Kombination Übertragungsband und Bitrate ergaben sich dann unterschiedliche Gerätekonstruktionen.

Kurzbeschreibung der Richtfunkgruppen

Kurzstreckenrichtfunk
(auch als Split-Geräte bezeichnet)

Bei Frequenzen oberhalb von 12 GHz waren die Funkfeldlängen durch Dauer und Intensität der Niederschläge auf 5 bis 35 km beschränkt. Physikalisch bedingt, dämpfte die Energieleitung zwischen Antenne und Richtfunkgerät das Mikrowellensignal bei zunehmender Frequenzen zu stark. Eine brauchbare Signalleistung für den Sendepiegel an der Antenne und dem Empfangspegel am Empfänger war nur dann zu erreichen, wenn man das Funkgerät direkt hinter der Antenne anbrachte. Die technische Lösung war daher, das Funkgerät in einen auf der Sende-/Empfangsfrequenz arbeitenden Mikrowellenanteil direkt hinter der Antenne (RF-Teil, Außeneinheit oder Outdoor Unit genannt) und in einen Niederfrequenzanteil im Betriebsraum (Inneneinheit oder Indoor Unit) aufzuteilen. Diese Technik wurde bereits 1936 bei den ersten Richtfunkgeräten „Olympia“ angewandt.¹⁵ RF-Teil und Inneneinheit wurden mit dem Systemkabel verbunden. Die Datenübertragung erfolgte in der modulierten Zwischenfrequenzebene. Die üblichen Betriebsbereichsbereiche lagen für das RF-Teil zwischen –25 °C und +40 °C und für die Inneneinheit zwischen 0 °C und +40 °C. Später wurden die Temperaturbereiche auf –33 °C und +55 °C bzw. –5 °C und +45 °C verschärft. In späteren Jahren entwickelte sich ein hoher Gerätebedarf mit Übertragungsfrequenzen zwischen 7 GHz und 38 GHz. Die Bitrate erhöhte sich von 2 Mbit/s bis 140 Mbit/s bei PDH und 155 Mbit/s (1x STM-1)

¹² ISDN=Integrated Services Digital Network. Das dienstintegrierende digitale Netz ist ein internationaler Standard für ein digitales Telekommunikationsnetz, der in Deutschland 1989 offiziell eingeführt wurde.

¹³ Wolfgang Heinrich (Hg.): Richtfunktechnik, Heidelberg 1988 (= Technik der Telekommunikation – TTKom Bd. 12), S. 283 ff.

¹⁴ Die Gunnediode ist ein Halbleiter-Bauelement, das für die Mikrowellenerzeugung eingesetzt wird. Sie ist nach dem britischen Physiker John Battiscombe Gunn (1928 bis 2008) benannt. Die Impattdiode ist ein Hochfrequenz-Halbleiter-Bauelement. Die Abkürzung steht für Impact Ionization Avalanche Transit Time Diode und wird im Deutschen als Lawinen-Laufzeit-Diode bezeichnet.

¹⁵ Wollenhaupt (wie Anm. 1), S. 215 f.

bei SDH.¹⁶ Durch Gerätezusammenschaltung war eine Datenrate von 4 x STM (= Synchrone Transport Module) -1 bzw. 1 x STM-4 auf nur 2 RF-Kanälen und einer Antenne besonders wirtschaftlich. Über all die Jahre blieb die Grundversion der Split-Geräte in ihrer Bauweise unverändert. Dieser Richtfunktyp eignet sich besonders für Zubringerdienste aller Art. Dazu gehören heute die weit verbreiteten Mobilfunkstandorte.

Schmalbandrichtfunk

Dieser Gerätetyp arbeitete vorzugsweise um 7,5 GHz, vereinzelt aber auch im 2- und 13-GHz-Bereich. Die Bitrate bewegte sich zwischen 2 und 34 Mbit/s. Der Gerätetyp entwickelte sich hin zu einer äußerst kompakten und wirtschaftlichen Bauweise, das heißt Sender, Empfänger, Modulator, Demodulator, die komplette Digitalaufbereitung und die Stromversorgung waren in einem Gehäuse in Bauweise 7R untergebracht. Da der Temperaturbereich für den Betrieb in Innenräume ausgelegt war, wurde auch ein Außenraumbetrieb in belüfteten Wetterschutzgehäusen entwickelt. Anfangs hatten nur die Energieversorgungsunternehmen und diverse öffentliche Ämter Zugang zu dem 7-GHz-Richtfunkband. Zu Beginn der Digitalisierung kamen Fernmelde-Verwaltungen und letztlich auch die Mobilfunknetzbetreiber hinzu. Diesen Kunden reichten die kleinen und mittleren Kanalkapazitäten aus. Die ersten größeren Exportaufträge wurden mit diesem Gerätetyp erzielt.

Weitverkehrsrichtfunk

Die Gerätefamilie für den Weitverkehrsrichtfunk war seit ihrem Bestehen (ab 1985) so etwas

wie die „Königsfamilie“. Gebräuchlich ist auch die Bezeichnung Breitbandrichtfunk. Die Bitrate pro RF-Kanal lag immer bei den höchsten Werten und damit bei 140 Mbit/s (PDH) bzw. 2 x 155 Mbit/s (SDH = 2 x STM-1). Die ersten 15 Jahre war das Gerätedesign die BW 7R und danach herrschte die ETSI-Schrankbauweise¹⁷ vor. Seit mehr als zehn Jahren gehören die Kanalzahl und der Energieverbrauch zu den wichtigsten Kundenfragen. Die max. Anzahl der RF-Kanäle pro ETSI-Schrank bzw. die Anzahl der RF-Kanäle über eine einzige Antenne sind heute in unserem Fall: zehn RF-Kanäle pro Schrank-einheit und 20 Kanäle pro Antenne. Jeweils 4 x STM-1-Datenströme können zu 1 x STM-4 gebündelt werden. Der Energieverbrauch pro RF-Kanal wurde von ursprünglich 240 W auf zuletzt 80 W reduziert. Mit dem Weitverkehrsrichtfunk werden umfangreiche landesweite Netzstrukturen erstellt – eingesetzt in großflächigen Ländern mit entlegenen Bedarfsstellen.

Das erste deutsche digitale Richtfunksystem
DRS 2x8 (2x2)/15000 (4-PSK)

Seit der Einführung des Richtfunks bei der Deutschen Bundespost plante das Fernmelde-technische Zentralamt (FTZ) in Darmstadt alle Gerätetypen. Die Planung beinhaltete den Ablauf der Entwicklung vom Labormuster über die ersten seriell gefertigten Geräte mit den dazugehörigen Antennen bis zum Festschreiben der Unterlagen in einer Typmusterprüfung. Dem Start der Serienproduktion ging die Freigabe der Fertigung durch den Güteprüfdienst der Bundespost voraus, der dann auch noch jedes gefertigte Gerät freigeben musste. Getreu der „deutschen Wertarbeit“ mussten die Geräte damals eine Brauchbarkeitsdauer von rechnerischen 15 Jah-

¹⁶ Die Multiplextechnik arbeitet in Hierarchiestufen. Ausgangspunkt sind immer 2 Mbit/s. Damit können 30 Telefonkanäle mit je 64 kbit/s übertragen werden. Die weiteren im Richtfunk benutzten Stufen liegen bei 8, 34 und 140 Mbit/s. Die angelieferten untersten Hierarchiestufen sind untereinander plesiochron. Die nächst höheren Hierarchiestufen müssen daher durch bitweises Multiplexen zusammengefasst werden. Will man in der PDH (= Plesiochrone Digitale Hierarchie)-Technik beim Demultiplexen aus einer höheren hierarchischen Ebene auf das unterste 2-Mbit/s-Bündel zurückgreifen, müssen die einzelnen Bündel stufenweise wieder aufgelöst werden. Dieses etwas umständliche Verfahren vermeidet die synchrone Multiplextechnik bei SDH (= Synchrone Digitale Hierarchie). Die plesiochronen Kundensignale werden in sogenannten virtuellen Containern verpackt und anschließend auf den Takt der synchronen Netze synchronisiert. Durch zusätzliche Overhead-Informationen sind die Container markiert. Daraus ergibt sich dann das synchrone Transportmodul STM-1. Die Zusatzinformationen erhöhen die zu übertragende Bitrate von 140 Mbit/s auf 155 Mbit/s. Für die moderne Richtfunk-Digitaltechnik ist diese Datenerhöhung kein Nachteil. Der große Vorteil ist aber der völlig vereinfachte direkte Zugriff auf die unterste Hierarchieebene. Die einzelnen 2-Mbit/s-Bündel können jederzeit eingefügt oder abgezweigt werden.

¹⁷ Das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (European Telecommunications Standards Institute) ist eine der großen Normenorganisationen in Europa mit dem Ziel, europaweit einheitliche Standards im Bereich der Telekommunikation zu schaffen.

1979				1980									
Monate	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt
Entwicklung	[Bar chart: Oct-Dec 1979, Jan-Mar 1980]												
Labormuster						○							
Typmusterprüfung Gerät						○							
0,6m Parabolantenne							○						
1,2m Parabolantenne							○						
Freigabe zur Fertigung								○					
Serienfertigung									[Bar chart: Jun-Sep 1980]				

Zeitlicher Ablauf der Einführung des DRS-2x8-(2x2)/15000-Gerätes.

ren aufweisen. Dazu war eine spezielle Auswahl an Bauteilen erforderlich, die diese Brauchbarkeit über Alterungstests erfüllen mussten. Der enorme Aufwand schlug sich im Preis für die Geräte nieder, die damit international kaum konkurrenzfähig waren. Dafür nahm die Deutsche Bundespost fest vorgeplante Gerätemengen von ihren drei Zulieferern Siemens München, SEL Stuttgart-Zuffenhausen und AEG-Telefunken Backnang (ab 1983: ANT Backnang) zu guten Preisen ab.

Nachdem im Jahr 1979 zusammen mit dem FTZ die Temperatur- und Übertragungsprüfungen vom Lauberhorn zur Zugspitze erfolgreich abgeschlossen werden konnten, wurde die DRS 2x8/15000 zur Serienreife weiterentwickelt und schließlich in einer Typmusterprüfung als erstes deutsches Digitales Richtfunkssystem abgenommen sowie zur Beschaffung innerhalb der Deutschen Bundespost freigegeben.

Wegen seiner hohen Übertragungsfrequenz gehörte das DRS 2x8/15000 zur Gruppe der Kurzstreckenrichtfunkgeräte. Es war das einzige System dieser Gruppe ohne Aufspaltung in RF-Teil und Inneneinheit. Für die Außenmontage wurden Sender und Empfänger in nicht klimatisierten Wetterschutzgehäusen außerhalb von Betriebsräumen eingebaut. Die Gerätebauweise entsprach 7R.¹⁸

Im normierten Frequenzbereich 14500 bis 14620 MHz (Unterband) sowie 15230 bis 15350 MHz (Oberband) konnten acht Frequenzpaare in einem 14 MHz-Raster übertragen werden. Eine der wichtigsten Baugruppen in einem solchen Gerät war immer der Sende- bzw. Empfangsoszillator – in unserem Fall ein Gunn-Oszillator, der auf der Endfrequenz schwingt. Seine Frequenz

wurde mithilfe eines gasdichten Hohlraumresonators hoher Güte temperatur- und klopf-sicher als auch rauscharm stabilisiert. Mit einem verschiebbaren Abstimmstempel im Resonator konnte die Frequenz anhand einer Eich-tabelle auf jeden der acht Kanäle abgestimmt werden. Dieses Konzept hatte im Mikrowellenbereich wenig aktive Baugruppen, was ein großer Vorteil hinsichtlich der Zuverlässigkeit war. Im nachfolgenden Leitungslängenmodulator (auf der Endfrequenz = Direktmodulation) wurde das Träger-signal entsprechend dem anliegenden Datensignal in vier Phasenstufen umgetastet. Die Modulations-art hieß 4-PSK.

Weitere, für Digitalsysteme zukunftsweisende Eigenschaften, waren die Übertragung eines analo-gen Dienstkanals, von digitalen Dienstkanälen, von Fernüberwachungssignalen und eines system-eigenen Richtfunkrahmens (bei Analogsystemen unmöglich). Das Richtfunksystem war ausgelegt zur Übertragung von zwei voneinander unab-hängigen Digitalsignalen der Hierarchiestufen 2 bzw. 8 Mbit/s entsprechend maximal 240 Sprachkanälen. Es bekam daher zunächst die Bezeichnung PSK 120-240/15000. Erst während den Zulassungsarbeiten wurde es dann in DRS 2x8 (2x2)/15000 umbenannt.

Es wurden schließlich zwei Varianten des Sys-tems eingesetzt: Bei der einen konnten in dem Wetterschutzgehäuse zwei Sender und Empfänger sowie die zugehörige Fernüberwachung unter-gebracht werden. Darin integriert war außerdem eine 60-cm-Parabolantenne mit einer flachen, schräg gestellten Abdeckung – Radom genannt. Bei der zweiten Variante hatte das Wetterschutz-gehäuse keine integrierte Antenne und musste mit einer abgesetzten Antenne betrieben werden

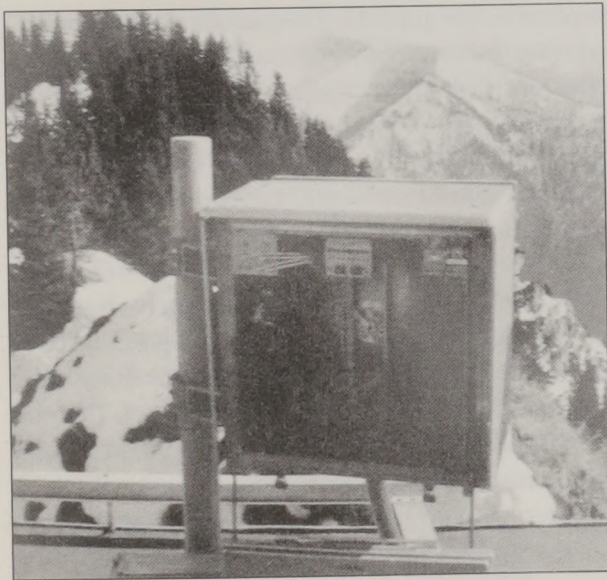
¹⁸ ANT Nachrichtentechnik Jahrbuch 1983/84, K 15-22.

Steigender Bedarf an weiteren digitalen Richtfunkgeräten

Kaum war das erste digitale Richtfunksystem DRS 2x8 (2x2)/15000 erfolgreich eingeführt, gab es steigenden Bedarf an weiteren digitalen Richtfunkgeräten in anderen Frequenzbereichen. Also überlegte man sich, ob kurzfristig analoge FM-Systeme mit einem digitalen Modem verbunden werden könnten. Das Digital-Tonkanalsystem PC 800 war jedoch so gut wie nicht brauchbar, da sein Ausgang zu keinem FM-Gerät ohne Umbau passte. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang noch das Schmalband-Richtfunksystem FM 300/7400 digital,¹⁹ das bereits Mitte der 1970er-Jahre Digitalsignale übertragen konnte. Es stammte ursprünglich aus der veralteten zweiten analogen Generation. Durch Tausch von steckbaren Funktionseinheiten konnten jedoch mit einer neuen Regeneratorschaltung Digitalsignale übertragen werden. Je nach Auslegung dieses Regenerators waren Bitraten bis 4,176 Mbit/s möglich. Dies entsprach aber nicht der CCITT-Norm mit $2 \times 2,048$ Mbit/s.²⁰

Die Suche nach einem passenden Gerät ging weiter. Schließlich waren die in Betrieb befindlichen analogen Richtfunkgeräte noch lange nicht verbraucht. Zwischenzeitlich war auch ein passendes Modem mit 34 Mbit/s in 4-PSK-Technik einsatzfähig. Man brauchte jetzt ein analoges Richtfunkgerät mit einer notwendigen 70-MHz-Schnittstelle. Trotzdem waren fast alle Systeme mit passender Schnittstelle unbrauchbar: Die Oszillatoren zur Erzeugung der Übertragungsfrequenz, kurz L.O.²¹ genannt, hatten keine genügende Kurzzeitstabilität. Ihre Ausgangsfrequenz neigte bei mechanischen, klopfartigen Berührungen zu sehr kurzen Frequenz- und/oder Phasensprüngen. Solche Ereignisse traten auch bei langsamen Temperaturschwankungen auf.

Eine einfache systemtheoretische Erklärung soll dieses empfindliche Verhalten erklären. Die PSK- (später QAM-) Modulationstechnik²² besteht aus einer kohärenten Demodulation, das heißt



Erstes Digital-Richtfunksystem DRS 2x8 (2x2)/15000 im Erprobungsaufbau (oben) und im Wetzerschutzhäuser (unten).

– dort eingesetzt, wo aus Systemgründen eine größere Antenne notwendig war. Realisiert wurden mit dem DRS 2x8 (2x2)/15000, das die Deutsche Bundespost ab 1980 in der unteren Netzebene einsetzte, ca. 1 000 Funkfelder (2 000 Geräte, davon 60% ANT-Anteil).

¹⁹ ANT Nachrichtentechnik Jahrbuch 1983/84, K 15-5.

²⁰ Das CCITT (= Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) wurde 1865 gegründet und erarbeitete die technische Normen, Standards und Empfehlungen für alle Gebiete der Telekommunikation.

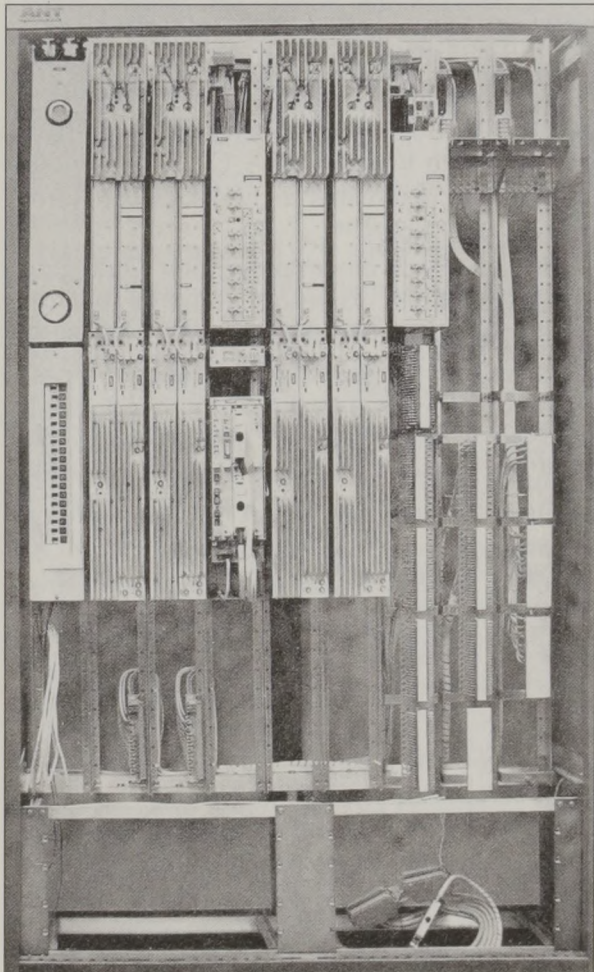
²¹ L.O. = Local Oscillator. Umsetz-Oszillator im Richtfunkempfänger bzw. -sender.

²² PSK = Phase-Shift Keying u. QAM = Quadrature Amplitude Modulation. Bei PSK wird das Trägersignal bei konstanter Amplitude in z. B. vier Phasenstufen (4-PSK) moduliert. Bei QAM wird das Trägersignal sowohl in Amplitude als auch in Phase moduliert. Damit ergibt sich ein höherer Informationsinhalt für den Träger. Entsprechend reduziert sich die benötigte Übertragungs- bzw. Kanalbandbreite.

aus dem ankommenden Datensignal muss das ursprüngliche Trägersignal zurückgewonnen werden. Diese Eigenschaft der Trägerrückgewinnung hat gegenüber der bisher üblichen Frequenzmodulation (FM-Technik) ein viel besseres Rauschverhalten. Dieser Vorteil ist in wirtschaftlicher Hinsicht unübertroffen. Man kann bei vergleichbarer Funkfeldlänge entweder die Sendeleistung fast halbieren oder den Antennendurchmesser entsprechend verringern. Allerdings bekommt man in diesem Geschäft fast nie etwas umsonst. So ist es auch hier: Die L.O.-Kurzzeitstabilität rückt sehr stark in den Mittelpunkt der digitalen Geräte. Bei der Trägerrückgewinnung ist der Demodulator auf die Anzahl der Datensignalfanken pro Sekunde angewiesen. Der Demodulator-Prozess reagiert daher bei kleinen Bitraten

empfindlicher auf L.O.-Frequenzsprünge als bei hohen Bitraten. Werden die Grenzwerte überschritten, fällt die Trägerrückgewinnung kurzzeitig aus der Synchronisation. Dadurch treten Bitfehler auf. Manchmal kann auch der Empfänger das ankommende Datensignal nicht mehr erkennen und schaltet deshalb ab. Er sendet dann das AIS-Signal.²³

Als geeignet erwies sich schließlich eine der zuletzt neu entwickelten Analoganlagen: die FM 960-1260-TV/6200 ... 8400 in Verbindung mit dem Modulationsgerät DRM 34/70.²⁴ Damit konnte man eine Digitalübertragung in drei weiteren Frequenzbereichen und höherer Bitrate anbieten. Ein weiteres gutes Verkaufsargument war die große wirtschaftliche Flexibilität, um in der noch bestehenden analogen Umwelt die jeweils angepasste digitale Konfiguration jederzeit nachholen zu können.



FM 960-1260-TV/6200 mit DRM 34/70 (im Gestell befinden sich vier RF-Kanäle).

Weitere Digital-Richtfunkgeräte

1983/84 kamen die Digital-Richtfunkgeräte DRS 34/1900, 13000 und 15000 (4-PSK) auf den Markt. Ihre Bitrate war 34 Mbit/s, also um eine PCM-Hierarchie-Stufe höher als 8 Mbit/s. Das Oszillatorkonzept und die Direktmodulation im Sender sowie die getrennten Gehäuse für Sender und Empfänger waren wie bei DRS 2x8 (2x2)/15000. Das Oszillatorkonzept wich bei 1,9 GHz ab. Ein VCO²⁵ wurde über einen Frequenzsynthesizer auf die gewünschte Frequenz eingestellt. Der Temperaturbereich war für Betriebsräume ausgelegt und damit gegenüber DRS 2x8 (2x2)/15000 eingeschränkt. Zwei Geräte passten nebeneinander in ein 7R-Gestell.

Ebenfalls 1983/84 kamen die Digital-Richtfunkgeräte DRS 34/7400 und 8400 (4-PSK) auf den Markt. Es handelte sich hierbei um Kompaktgeräte, in denen Sender und Empfänger in einem Gehäuse mit der 7R-Breite untergebracht waren und zusammen einen Oszillator hatten (Oszillatorkonzept wie bei den FM 960-1260-TV/6200 ... 8400 Geräten). Der Verstärker des Senders wurde mit einer Kompakt-Wanderfeldröhre betrieben.

²³ AIS = Alarm Indication Signal. Das abgehende Signal besteht aus einer Dauer-Eins. Es zeigt an, dass das Signal am Geräteeingang nicht detektiert wird.

²⁴ ANT Jahrbuch 1983/84, K 15-8 u. K 15-27.

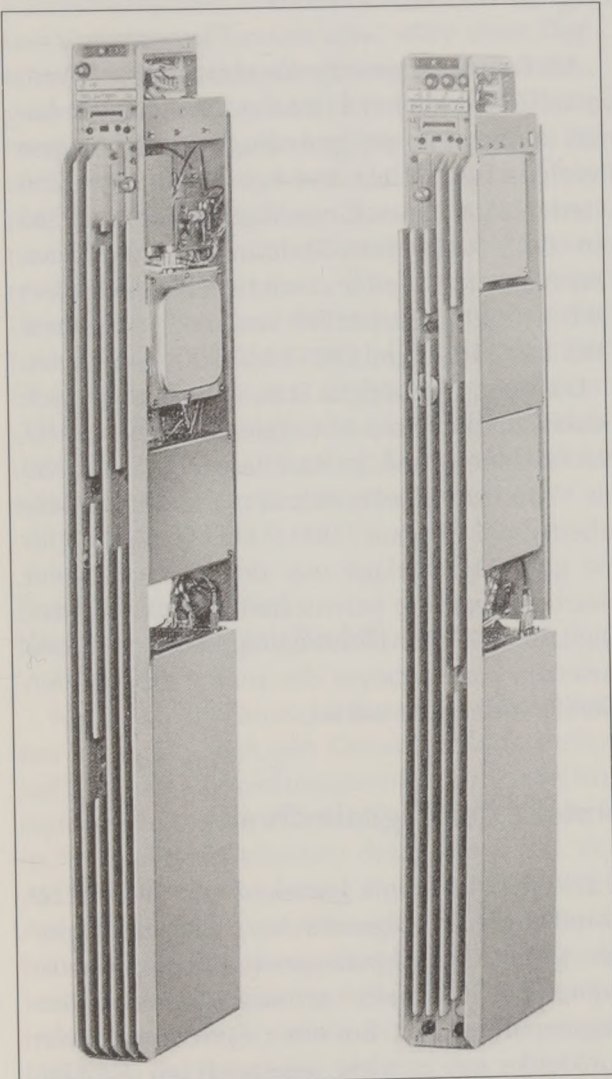
²⁵ VCO = Voltage Controlled Oscillator. Die Frequenz eines solchen Oszillators wird mittels einer Steuerspannung eingestellt.

Die Fernmeldeverwaltungen gingen immer mehr dazu über, Digital-Richtfunksysteme kleiner und mittlerer Kapazität einzusetzen. Entsprechend musste die Planung solcher Systeme vorangetrieben werden. Im 7-GHz-Bereich gab es mehrere Frequenzraster, die alle auf die spezifischen Belange der analogen FM-Systeme optimiert waren. Nach Vorgaben des CCIR²⁶ konnte der Frequenzbereich zwischen 7 125 MHz und 7 850 MHz genutzt werden. Innerhalb dieses Frequenzbereiches lagen mehr als vier Teilbänder mit unterschiedlichen Kanal- und Duplexabständen (Frequenzabstand zwischen Sende-

und Empfangssignal). Das neu entwickelte DRS 2-8/7400, das mit einem Mikroprozessor gesteuert wurde, konnte komfortabel auf alle Anwendungsbedingungen eingestellt werden und übertrug wahlweise 2 oder 8 Mbit/s. Sende- und Empfangsteil befanden sich gemeinsam in einem Einsatz der Bauweise 7R. Das Oszillatorkonzept kam mit nur einem Mikrowellenoszillator (L.O.) aus. Eine zweite veränderbare Sende-ZF gewährleistete die unterschiedlichen Duplexabstände. Als Modulationsverfahren wurde weiterhin die 4-Phasenumtastung (4-PSK) verwendet. Sie hatte sich weltweit für kleinere und mittlere Datenraten als optimal in der Richtfunktechnik durchgesetzt. Durch Optimierung der Systemkomponenten hinsichtlich Modulation, Filterung und Leistungsdaten war das System besonders in engen Stern- oder Maschennetzen gut einsetzbar. Bei Nutzung der orthogonalen Polarisationssebene einer Antenne konnte sogar Gleichkanalbetrieb (bei Analoggeräten unmöglich) durchgeführt werden. Die robuste Bauweise erlaubte auch extreme Einsatzorte wie Bohrinseln oder weit abgelegene Betriebsstellen.²⁷

Die DRS 2-8/7400 war das erste Richtfunksystem, in dem ein Mikroprozessor bei allen Einstellungen von Frequenzraster und Kanalfrequenz hilfreich mitwirkte und für die Frequenzstabilität sorgte. Testprogramme kontrollierten die korrekten internen Funktionsabläufe. Die Nutzung der Schaltungsintegration auch im Bereich radiofrequenter Baugruppen und die Einbeziehung elektronischer Komponenten in den Betriebsablauf sollte richtungsweisend für die nächsten Gerätegenerationen sein.

Nach der Entscheidung zur Digitalisierung des Telefonnetzes musste wegen der kurzfristigen Bereitstellung dieses Netzes in einer ersten Ausbaustufe zunächst für 2 Mbit/s und ab 1982 auch für 34 Mbit/s weitgehend auf Richtfunk zurückgegriffen werden.²⁸ Zur Übertragung der höheren Bitrate von 34 Mbit/s – mit Funkfeldlängen bis zu 50 km – musste ein neues Digitalsystem im Frequenzbereich unterhalb von 10 GHz realisiert werden. Damit konnte die vorhandene Infrastruktur des analogen Richtfunksystems genutzt werden. Nach dem Ersteintritt des neu entwickelten

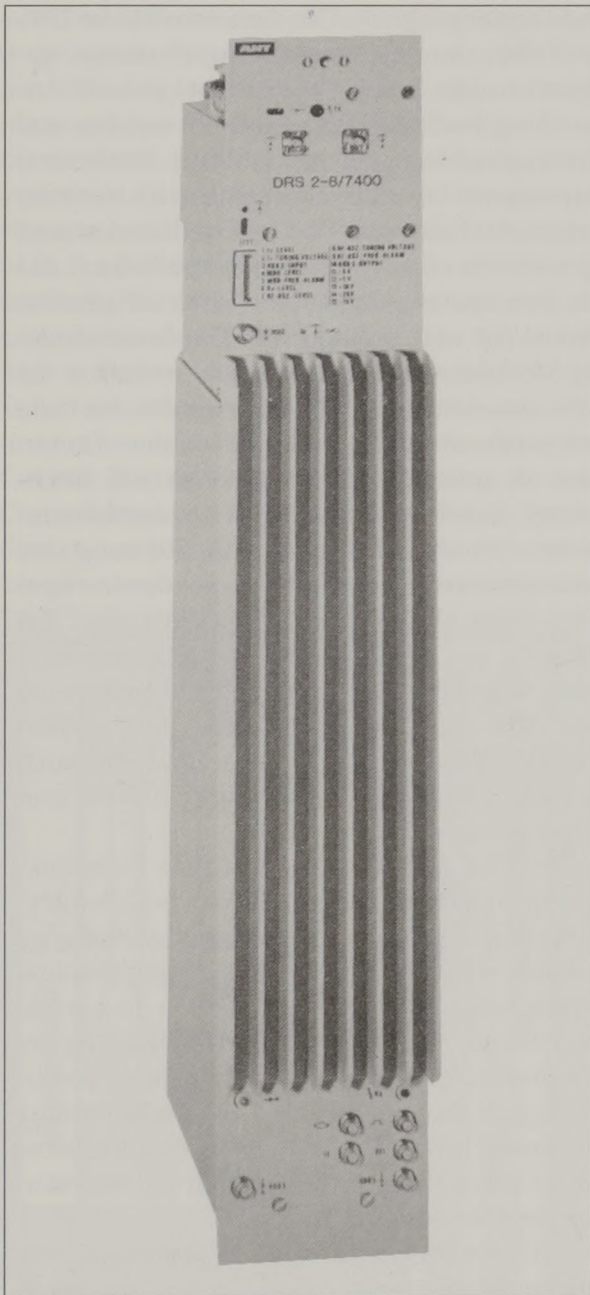


DRS 34/1900 – vergleichbar mit DRS 34/13000 und DRS 34/15000. Links befindet sich der Sender, rechts der Empfänger.

²⁶ Das CCIR (= Comité Consultatif International des Radiocommunications) war eine Unterorganisation der heutigen Internationalen Fernmeldeunion. Es wurde 1927 in Washington D.C. gegründet und bestand bis 1992.

²⁷ ANT Nachrichtentechnik Jahrbuch 1987/88, RF 4f. StAB Technikarchiv: Prospekt ANT Digital-Richtfunksystem DRS 2-34/2, 1557a 09.87.

²⁸ Heinrich (wie Anm. 13), S. 340.



Kompaktgerät DRS 2-8/7400 in Mikroprozessertechnologie.

Systems DRS 34/1900 im Jahr 1982 konnte ein Jahr später die erste Stufe des integrierten Text- und Datennetzes (IDN) praktisch ausschließlich mit Richtfunk in Betrieb genommen werden.

Neben der schon erwähnten schmalbandigen (2 bzw. 8 Mbit) 15-GHz-Anlage konnte AEG-Telefunken Backnang 1982 die 34-Mbit-Anlagen DRS 34/1900 und DRS 34/13000 bei der Deutschen Bundespost zu- und in Betrieb gehen lassen. Damit waren jedoch die Verbindungen

zwischen den acht digitalen Fernvermittlungsstellen (DIV-F) noch nicht abgedeckt. Für dieses überregionale Fernliniennetz war die notwendige digitale Übertragungstechnik mit Kapazitäten von 140 Mbit bei Richtfunk und 565 Mbit über Glasfaser bereitzustellen. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, sollte ab 1985 in mehreren Stufen ein neues digitales Breitbandnetz mit einer Übertragungskapazität von 140 Mbit/s je RF-Kanal aufgebaut werden.

Aufbau überregionaler Digital-Richtfunknetze

Als Frequenzbereiche für neue digitale Weitverkehrsnetze mit 140 Mbit/s mussten die bereits durch breitbandige Analogsysteme belegten Bereiche bei 4 GHz und bei 11 GHz gewählt werden. Auf dieser Grundlage wurde ab 1985 ein DRS 140-Mbit/s-Richtfunknetz errichtet. Das Netz stützte sich zunächst auf das System DRS 140/3900. Zusätzlich wurden die Systeme DRS 140/11200 und DRS 140/13000 eingesetzt.

Die oben geschilderte Entwicklung wirkte sich positiv auf die Firma AEG-Telefunken bzw. ANT Nachrichtentechnik in Backnang aus: Von 1980 bis 1986 verdoppelte sich der Umsatz, die Mitarbeiterzahl stieg auf 7 000.²⁹ Ein Hauptgrund für die gute Auftragslage war der Wunsch vieler Netzbetreiber, die inzwischen wirtschaftlichere Digitaltechnik zur Übertragung der Signale einzusetzen – noch bevor die analog arbeitenden Geräte verbraucht waren.

Vorteile der Digitaltechnik

Die Digitaltechnik hatte enorme technische Vorteile, die im Folgenden kurz dargestellt werden sollen: Die Signalregeneration auf Relaisstellen pro Funkfeld vermied kleinere Übertragungsstörungen. Bei einer Aufreihung vieler Funkfelder gab es nicht, wie noch bei der Analogtechnik, eine Addition dieser Störeinflüsse. Sowohl die Kurzstrecken- als auch die Schmalbandrichtfunkgeräte der hohen Frequenzbereiche schufen Freiräume bei der Frequenzplanung für den Weitverkehr. Obwohl die Digitalübertragung eine größere Bandbreite benötigte als ver-

²⁹ BKZ vom 2. Juli 1986.

gleichbare Informationsmengen bei analoger Übertragung, blieb die Frequenzökonomie erhalten, da beispielsweise wegen der größeren Störresistenz die Nachbarkanäle enger zusammenrücken konnten, Gleichkanalbetrieb möglich war und an Knotenpunkten kleinere Winkelabstände zu benachbarten Richtfunkstrecken gleicher Frequenz eine insgesamt höhere Belegung erlaubten.

Gleichzeitige Übertragung von Telefongesprächen, Einzelbildern und Telefax, die Vielzahl von Daten aus Rechnersystemen, wie sie in heutiger Zeit vorkommen, TV- und Tonprogramme der Rundfunkanstalten und Videos zur Überwachung von Verkehr und Tunnels usw., wäre ohne Digitaltechnik niemals kostengünstig zu realisieren – ganz zu schweigen von den heutigen Datenmengen im Mobilfunk- und Internetbereich. Bei analoger Übertragung war das Spektrum der Übertragung grundsätzlich von der Art der Information abhängig. Für eine bestmögliche Grenzreichweite musste man daher bei fast jeder Übertragungsart die Filtertechnik in den Richtfunkgeräten individuell einstellen. Bei digitaler Übertragung war das Übertragungsspektrum vollständig unabhängig vom Dateninhalt, sodass man bei der Signalfilterung keine zusätzliche Kompromisse eingehen musste.

Entwicklung eines Breitband-Digital-Richtfunksystems

Nachdem die Deutsche Bundespost beschlossen hatte, die analogen Ortsvermittlungsstellen auf digitale Vermittlungstechnik umzustellen, legte sie in einem Pflichtenheft die geforderte technische Beschaffenheit des Systems fest. Für AEG-Telefunken Backnang ergab sich daraus die Aufgabenstellung zur Entwicklung eines Breitband-Digital-Richtfunksystems. Seit 1982 wurde in zwei Jahren intensiver Arbeit ein Erprobungsmuster entwickelt, dann konnten die ersten Geräte in die Erprobung gehen.³⁰

Zur effektiven Nutzung der Frequenzbänder musste man von der bisherigen 4-PSK auf 16 QAM übergehen. Ein modulierter Träger wurde neben

der Phasenmodulation zusätzlich noch in der Amplitude so moduliert, dass sich 16 verschiedene Zustände ergaben. Insbesondere wegen der zusätzlichen Amplitudenmodulation mussten alle Teilschaltungen mit höchster Linearität arbeiten. Dies betraf besonders die Endstufen der Sendeverstärker. Bei 4 PSK konnten die Verstärker bis in den Sättigungsbereich ausgesteuert werden, während jetzt durch entsprechenden back off wertvolle Sendeleistung verloren ging. Letztlich mussten auch die Sendeverstärker mit neuen, die Linearität erhöhenden Rückkopplungsschaltungen ausgestattet werden. Zu Hilfe kam hier die kleinere Sendeleistung gegenüber Analog-Systemen.

Kurze Beschreibung der Gerätefamilien³¹

Die Gerätefamilie DRS 140/3900 bis 13000 waren klassische Breitbandgeräte, die Digitalsignale der vierten Hierarchiestufe übertrugen.³² Es wurde ein modulares Gerätekonzept entwickelt: Der Sender hatte genau die Breite eines 7R-Gestells, während die Einsätze für Empfänger, Modulator und Demodulator sowie der Stromversorgung nur die halbe Gestellbreite benötigten. Als Empfänger gab es den Hauptempfänger und für längere Funkfelder – mit Schwundereignissen, die durch Reflexionen an Luftschichten entstanden – einen Diversity-Empfänger mit ZF-Kombination. Modulator und Demodulator waren in der Systemfamilie einheitlich. Die Stromversorgung musste den unterschiedlichen Spannungs- und Leistungsanforderungen der Sender angepasst werden. Was den Kunden zu dieser Zeit immer wieder besonders interessierte, war die Einstellung der Frequenz: Es gab einen Synthesizer mit einem Stufenschalter für die Kanäle.

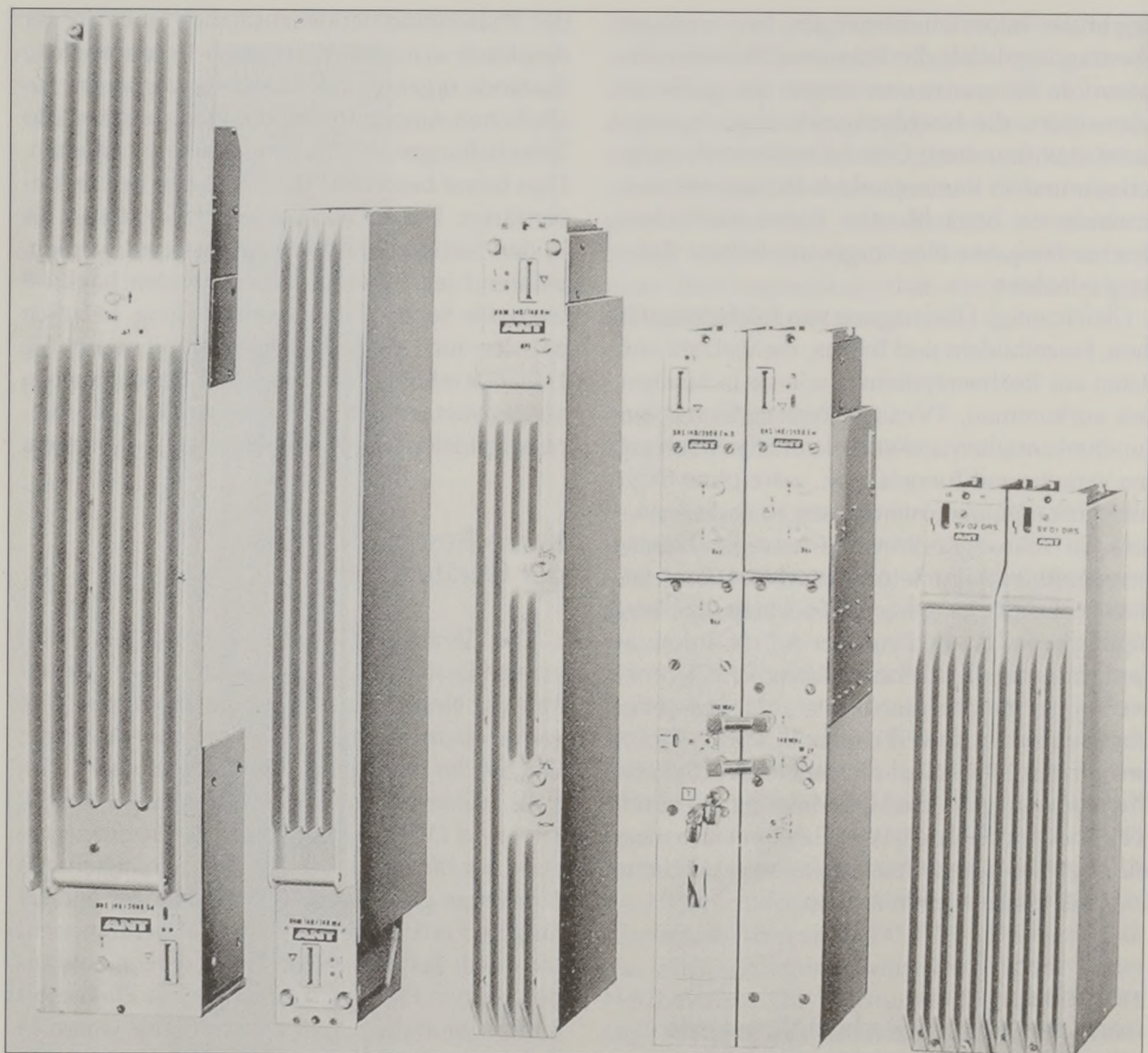
Die ersten DRS 140/3900-Geräte von ANT mit 1920 Sprachkanälen pro RF Kanal wurden 1984 erprobt und nach der Typmusterprüfung ab Ende 1984 ausgeliefert.³³ 1985 kam die DRS 140/3900 auf den Markt. In kurzen Abständen folgten die Frequenzbänder 6,7, 11,2 und 13 GHz. Aus technologischen Gründen war im 13-GHz-Sender noch eine Mini-Wanderfeldröhre nötig.

³⁰ ANT Nachrichten vom Mai 1984, S. 4.

³¹ Siehe dazu auch: ANT Nachrichtentechnik Jahrbücher 1985/86 u. 1987/88.

³² Die vier Hierarchiestufen sind 2, 8, 34 und 140 Mbit/s.

³³ ANT Nachrichten vom Mai 1984, S. 4.

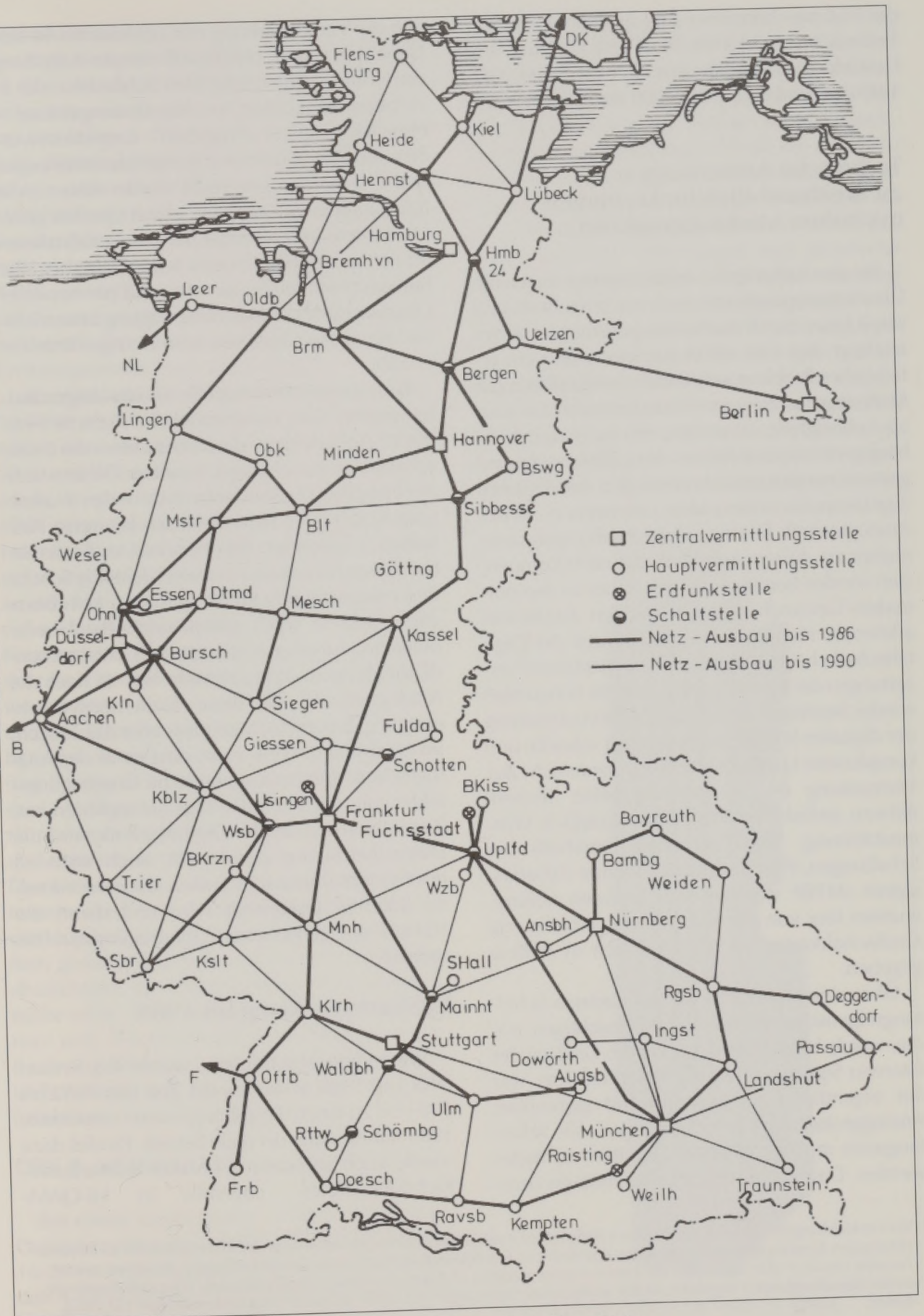


Baugruppen des Digital-Richtfunksystems DRS 140/3900.

Ein besonderer Auftrag: Digitale Richtfunkstrecke nach West-Berlin (1984f.)

Zwischen der Bundesrepublik und West-Berlin waren von AEG-Telefunken bzw. ANT Backnang gelieferte analoge Richtfunkstrecken mit überlangen Funkfeldern in Betrieb. Einerseits waren deren Kapazitäten ausgeschöpft, andererseits sehnte man sich in West-Berlin schon lange nach einer digitalen Anbindung an das Netz der Deutschen Bundespost in der BRD. Die einzige Digitalsignal-Richtfunktechnik in der Übertragung nach West-Berlin war eine 4-Funkfelder-Verbindung von Gartow in Niedersachsen über Dequede bei Osterburg (DDR), Rhinow (DDR), Perwenitz (DDR) bis nach Berlin-Schäferberg mit dem Gerät DRS 140/3900 im Ausbau 1+1, das heißt mit einem

Schutzkanal mit einer bitfehlerfreien Umschaltung. Diese Verbindung wurde 1984 zwischen der BRD und der DDR ausgehandelt. Die gesamte technische Ausrüstung stammte von ANT und wurde von der Deutschen Bundespost bezahlt. Der Aufbau in Gartow und Berlin-Schäferberg wurde von Mitarbeitern der ANT, in der DDR von Mitarbeitern der Deutschen Post durchgeführt. Weil die 565 Mbit/s-Koax-Kabelausrüstungen nicht rechtzeitig geliefert werden konnten, mussten die zentralen Vermittlungsstellen mit dem Richtfunksystem DRS 140/3900 innerhalb von zwei Jahren miteinander verbunden werden. Da die Übertragungsbirrate mit 140 Mbit/s gegenüber der geforderten 565 Mbit/s nur ein Viertel betrug, wurde das Netz in der maximal möglichen Kanalzahl mit Schutzkanal aufgebaut. Fast alle Funkfelder wurden von



Ausbau des Richtfunknetzes mit DRS 140 Mbit/s in der damaligen BRD.

der FTZ neu berechnet und in Raum-Diversity-Technik³⁴ verwirklicht. Bis 1993 konnten 900 Funkfelder in den Techniken DRS 140/3900, DRS 140/6700 und DRS 140/13000 realisiert werden.

Technische Anmerkungen zu Breitband-Richtfunksystemen mit hohen Modulationsstufen

Bei den bisherigen Gerätesystemen waren die Übertragungsspektren noch nicht so breit und somit kaum durch Ausbreitungsstörungen beeinträchtigt. Bei 140 Mbit/s trat hier schon ein erhebliches Problem auf: Durch funkfeldbedingte Mehrwegeausbreitungen (man kann sich das auch als Echosignale vorstellen, die zu frequenzabhängigem Schwund führen – kurz Selektivschwund genannt) entstanden Verzerrungen der digitalen Signalimpulse (intersymbol interference). In der Analogtechnik führten solche Ausbreitungsanomalien zu „Klirrgeräuschen“, die nicht kompensiert werden konnten und sich daher zu den normalen Geräuschen der folgenden Funkfelder addierten. Nun kam der große Vorteil der Digitaltechnik, bei der adaptive Laufzeitentzerrer Verzerrungen der Signalimpulse in einem hohen Maß wieder beseitigen konnten. Für die Verarbeitung der digitalen Signale waren extrem schnelle und komplizierte Logikschaltungen erforderlich. Zur Vermeidung der in konventioneller Technik nahezu unlösbaren Probleme bezüglich Wärmeableitung, Signallaufzeiten innerhalb der Schaltungen, Platzbedarf und höchste Zuverlässigkeit (MTBF = mean time between failure), wurden hier von der Entwicklung spezifizierte Großschaltkreise bei Spezialfirmen in Auftrag gegeben.

Über einen kleineren Teil der internen Schaltungseigenschaften, die zu berücksichtigen waren, wurde bereits berichtet. Da ein Großteil der internen Signalbearbeitung digital erfolgte, war der eigentliche Abgleichaufwand gegenüber Analoggeräten stark zurückgegangen. Alle Schaltungsteile mussten in bester Qualität verarbeitet werden. Dazu gehörte die Löttechnik genauso

wie die Verschraubung der Leiterkarten in den Gehäusen. Eine prinzipiell simple Erfindung waren die selbst furchenden Schrauben, die in vorbereitete Löcher im Aluminiumgehäuse – ohne Metallspäne abzugeben – eingedreht wurden und sich selbst durch Temperaturänderungen und Erschütterungen nicht wieder lösten. Alle Bauelemente mussten in höchster Qualität geliefert werden. Trotz all dieser Sicherheitsmaßnahmen im Fertigungsablauf waren teure Dauerbetriebe bei wechselnder Temperatur und permanenter Überwachung der Datenübertragung unverzichtbar. Bei diesen Tests war kein einziger Bitfehler erlaubt.

Eine weitere Fehlerquelle musste ausgeschaltet werden: Dies waren mögliche statische elektrische Aufladungen, die insbesondere die Großschaltkreise vorschädigen konnten. Daher wurde der komplette Fußbodenbereich in den Produktionsstätten mit einem elektrisch leitenden Fußboden ausgestattet. Das Personal in diesen Arbeitsbereichen musste elektrisch leitende Schuhe und entsprechende Kleidung tragen. Kein Besucher durfte in solch gekennzeichnete Arbeitsbereiche, außer er hatte ebenfalls entsprechende Kleidung an. Wie „einfach“ war da doch die Analogtechnik. All diese Sicherheitsvorkehrungen gab es nicht. Man muss aber dazu sagen, im Nachhinein weiß man, dass es in der Analogtechnik durchaus sporadische Übertragungsfehler gab, die man allerdings nie registriert hat. Zur Erinnerung: In der Digitaltechnik wird die Datenübertragung permanent, auch während des Betriebs überwacht, sodass fast jeder einzelne Bitfehler festgestellt wird und damit die Statistik der gemessenen Übertragungsqualität reduziert.

Weiterentwicklung bis 1989

Wie schon beschrieben, wurde das System DRS 140/3900 in der kurzen Zeit von 1982 bis 1984 bis zu einem Erprobungsmuster entwickelt. 1985 startete dann der reale Betrieb. Parallel dazu wurde auch an neuen 34-Mbit/s-Schmalband-Richtfunkgeräten, ebenfalls in 16-QAM-

³⁴ Bei Funkfeldlängen >30 km führt die durch Reflexionen entstehende Mehrwegeausbreitung des Richtfunkstrahls zu frequenzabhängigen Empfangspegelschwankungen und damit zu Qualitätseinbrüchen bei der Datenübertragung. Wird eine zweite Antenne räumlich über oder unter der ersten Antenne montiert und dann die beiden Empfangssignale über zwei Empfänger einem Signalkombinator zugeführt, ist der resultierende Signalpegel von tiefen, störenden Pegelschwankungen fast völlig befreit.

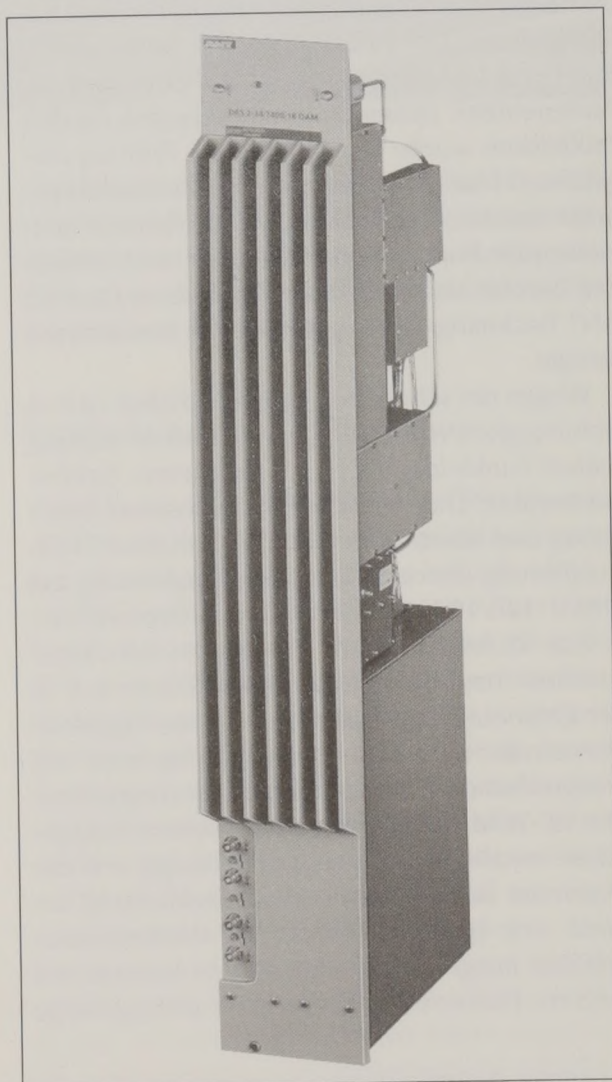
Technik entwickelt. Die bisherige robuste 4-PSK benötigte einen deutlich größeren Kanalabstand als 16 QAM. Bei theoretisch idealer Tiefpassfilterung reduzierte sich die Übertragungsbandbreite fast um den Faktor 2. Die Frequenzraster und damit auch die Kanalabstände waren international festgelegt – ohne die bestehenden und zukünftigen Modulationsarten auf ideale Weise anzupassen. Somit ergaben sich Situationen, bei denen innerhalb eines Frequenzrasters beim Übergang von 4-PSK auf 16 QAM die Anzahl der Übertragungskanäle verdoppelt werden konnte. Der stark zunehmende Datenstrom verlangte solche Bandbreiten sparende Modulationsarten.

Ab 1989 kam dann das Richtfunkssystem DRS 34/7400-16 QAM als Vorläufer und zwei Jahre später dann die Systemfamilie DRS 2-34/2000, 7400 und 8200, ebenfalls mit 16 QAM, auf den Markt. Im gleichen Zeitraum berichtete der Vertrieb immer wieder über Kundenbedarfe im Bereich der Kurzstrecken-Richtfunkgeräte, beispielsweise im 18-GHz-Band, von den kleinsten bis zu den höchsten Bitraten. Bei ANT plante man daher das Richtfunkssystem DRS 2-140/18700. Kurzstrecken-Richtfunkgeräte waren so konzipiert, dass sie schnell dort aufgebaut werden konnten, wo der Bedarf am dringendsten war. Meist wurden nur Einzelfunkfelder im Zubringerbereich benötigt. Betriebsräume wie bei Schmalband- und Breitband-Richtfunk sollten die Ausnahme sein. Man benötigte ein Gerät höchster Flexibilität mit einer leicht montierbaren Außeneinheit und einer Inneneinheit. Damit war an eine volle Durchstimmpbarkeit des Frequenzbandes, Datenratenwechsel und an einen Temperaturbereich von mindestens $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Außeneinheit) gedacht. Da sich eine teure Entwicklung abzeichnete, die ANT aufgrund seiner Personalstärke nicht allein stemmen konnte, entschloss man sich, die Arbeit mit Alcatel/SEL zu teilen. Backnang übernahm die Außeneinheit (Mikrowellenanteil) und SEL steuerte die Inneneinheiten bei.

DRS 2-34/2000, 7400, 8200 – 16 QAM

Bei dieser Gerätefamilie wurde erstmals die Gerätebezeichnung um die Modulationsart (hier 16 QAM) ergänzt. Notwendig war dies, um mit den 4-PSK-Geräten im gleichen Frequenzband Verwechslungen zu vermeiden. Aber auch wegen

den zukünftigen Geräten war dies notwendig, denn kaum waren 16-QAM-Geräte im Einsatz, zeichneten sich die nächsten, noch höheren Modulationstufen ab. Der prinzipielle Aufbau war wie bei DRS 2-8/7400, also ein Kompaktgerät. Für Sender und Empfänger wurde ein quarzstabilisierter DRVCO (Dielectric Resonator Voltage Controlled Oscillator) eingesetzt. Er arbeitete auf der Endfrequenz, war gegen thermische Effekte, mechanische Erschütterungen und akustische Störungen unempfindlich. Ein Frequenzwechsel erfolgte durch Tausch von Kanalquarzen. Ein weiteres besonderes Merkmal war eine Sendepegelregelung. Empfangspegelschwankungen wurden zur Nachregelung dem Sender auf der Gegenseite zurückgemeldet. Die nie ganz vermeidbare Restfehlerrate konnte durch eine Fehlerkorrekturschaltung FEC (Forward Error Correction) verbessert werden. Bitfehler durch selektives Fading



Kompaktgerät DRS 2-34/7400-16 QAM.

waren bei 2x8 oder 34 Mbit/s möglich und wurden durch einen adaptiven Entzerrer (wie beim Breitband-Richtfunk) reduziert. Die Digital-Richtfunksysteme übertrugen 2, 2x2, 8, 2x8 oder 1 x 34 Mbit/s in den Frequenzbändern 2 GHz, 7,4 GHz oder 8 GHz.³⁵

Splitanlage DRS 2-140/18700

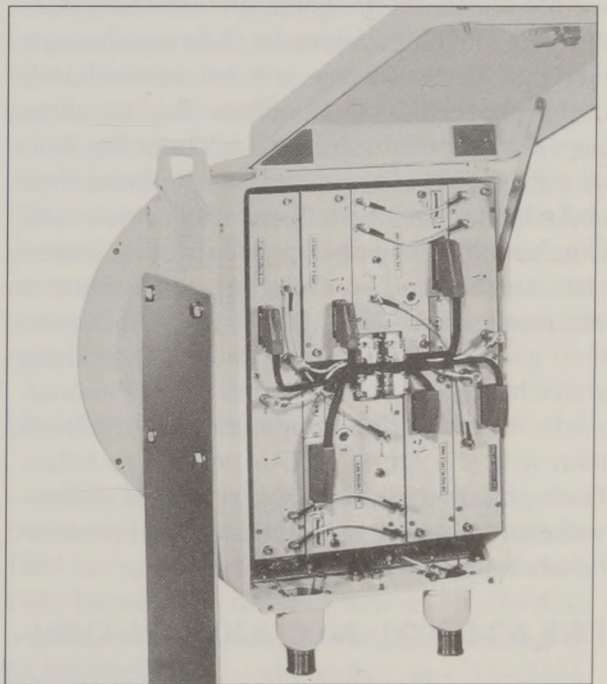
Aus der oben beschriebenen Gemeinschaftsentwicklung von ANT und Alcatel/SEL entstand ein kompaktes Richtfunkgerät mit integrierter 40-cm-Antenne sowie Koaxverbindung zwischen Außen- und Inneneinheit. Die technischen Anforderungen waren enorm: Es sollte im ganzen Frequenzbereich unterbrechungsfreie Durchstimmbarkeit sowie im Temperaturbereich von $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ Betrieb gewährleistet werden. In riesigen Anstrengungen gelang es den Spezialisten, dieses Ziel zu erreichen. SEL lieferte für 2, 8, 34 und 140 Mbit/s unterschiedliche, aber zur Außeneinheit passende Inneneinheiten. In den Prüffeldern wurde die dynamische Prüfung eingeführt.³⁶ Nur die fehlerfreien Geräte durften geliefert werden. Der Aufwand wurde dadurch zeitweise sehr hoch, machte sich aber nach einiger Zeit bezahlt, da nicht zuletzt durch diese Qualität ANT Backgang seinen guten Ruf im Kundenkreis festigte.

Wegen der sehr hohen Frequenz ließen sich in Abhängigkeit von der Regenrate und der Verfügbarkeit Funkfelder bis 10 km realisieren. Nebenbei erwähnt: Die Deutsche Bundespost war forschgenug und übertrug in Notfällen mit ihrer FND-Ausführung (Fernmeldenotdienstausführung mit DRS 2-140/18700) TV-Programme über 40 km.

Das Richtfunksystem gehörte zu den Kurzstrecken- bzw. Splitgeräten. Der Einsatz war in der Ortsnetzebene, auf der untersten Regionalebene oder zum Anschluss für Teilnehmer mit entsprechendem Datenaufkommen vorgesehen. Die RF-Teile wurden in einem Wetterschutzgehäuse installiert und waren unabhängig von der Datenrate (lediglich eine Zusatzbestückung änderte sich bei 140 Mbit/s). Im Wetterschutzgehäuse integriert war eine 40-cm-Antenne mit Radom. Damit erhielt man eine preisgünstige

Grundausrüstung. Das Gehäuse bot Platz für zwei RF-Teile. Aufgrund seiner kompakten Bauweise konnte das Wetterschutzgehäuse leicht an Rohren oder Gebäudewänden montiert werden. Alle für den Betrieb wichtigen Schnittstellen des Digital-Richtfunksystems waren im Anschaltkasten im Inneren von Gebäuden zugänglich. Ein oder zwei mehradrige Systemkabel verbanden das Wetterschutzgehäuse mit der Inneneinheit. Eine Blitzschutzeinrichtung, jeweils in der Außen- und der Inneneinheit, schützte die wertvolle Elektronik. Als Stromversorgung kamen 24 bis 60 V Gleichspannung oder 220 V Wechselspannung mit einem wartungsfreien Ladungsspeicher gegen kurze Netzausfälle (≤ 5 min) in Frage. Die Gerätebedienung erfolgte über die Inneneinheit. Änderungen der Bitrate (2, 8, 34 oder 140 Mbit/s) wurden durch Wechsel der relevanten Einschübe erzielt.

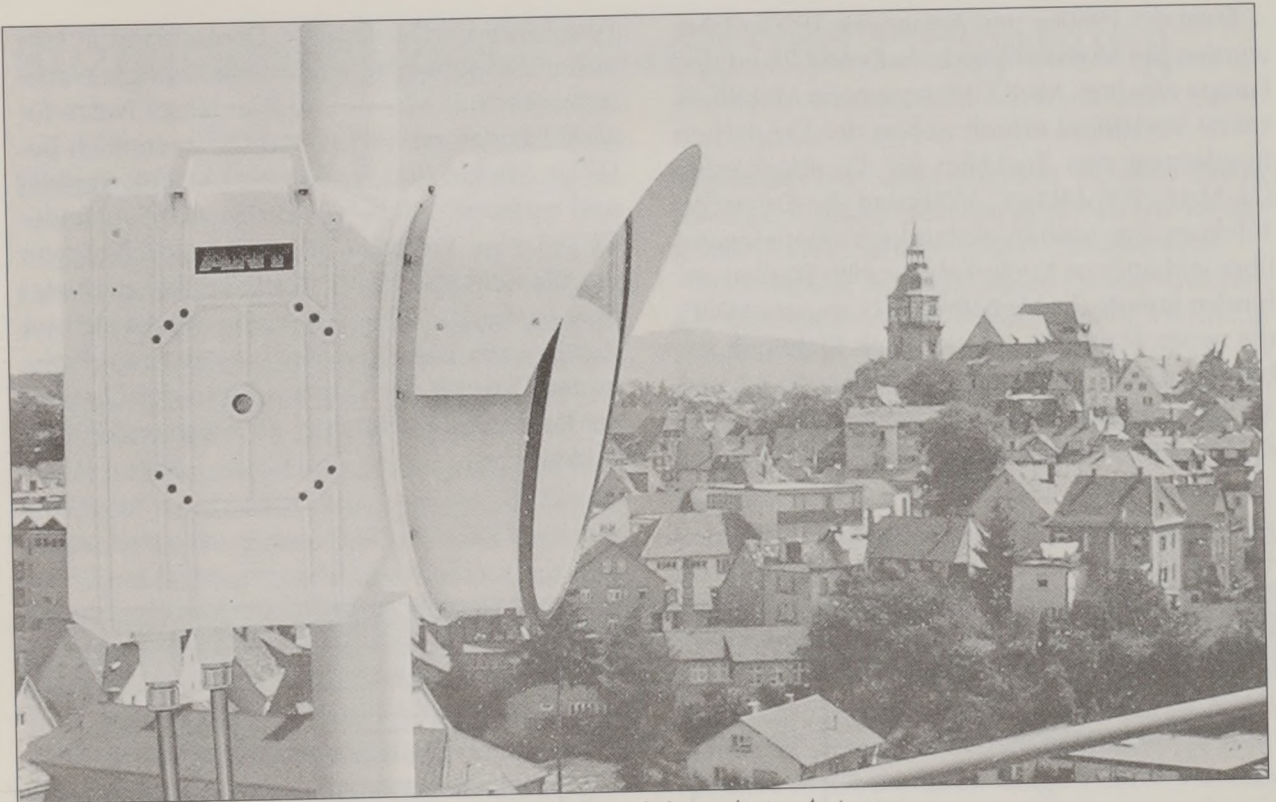
Wie bei den kompakten Schmalbandgeräten hatte auch das RF-Teil für Sender und Empfänger einen gemeinsamen Oszillator. Es handelte sich um einen Synthesizer mit einem 2-GHz-Feldeffekttransistor. Die Kanalfrequenzen wurden an einem Minieinschub mit Hakenschaltern nach einer Tabelle eingestellt. Serviceexperten verlöte-



Blick in ein geöffnetes Wetterschutzgehäuse des DRS 2-140/18700.

³⁵ StAB Technikarchiv: ANT 777 046, Digitalrichtfunksysteme DRS 2-34/2, 7, 4, 8.

³⁶ Die Endprüfung der Geräte ist ein Dauerlauf in Klimaschränken, deren Temperatur zyklisch zwischen den Extremen verändert wird. Dabei muss die Datenübertragung bitfehlerfrei bleiben.



Kurzstrecken-Richtfunksystem DRS 2-140/18700 mit integrierter Antenne.

ten später diese Hakenschalter und hatten somit einen kostengünstigen Einschub für eine bestimmte Frequenz zur Verfügung. Da der Grundoszillator für eine zusätzliche Rauschgüte noch einen durchstimmbaren Resonator hatte, musste bei einem Frequenzwechsel nachgestimmt werden. Dieser Vorgang konnte schnell vollzogen werden, da er an zwei LED verfolgt werden konnte oder weil es alternativ auch möglich war, mit einem externen Anzeigeinstrument 100 Skalenteile einzustellen (hatte sich schon in der Analogtechnik bewährt). Den Duplexabstand erzielte man mit einer von der Empfänger-ZF abweichenden Sendez-F. Durch Frequenzvervielfacher erhielt man die Endfrequenz.

Zusatzgeräte für ein vollständiges Richtfunkssystem

Bisher wurden die Herzstücke einer Richtfunkanlage erläutert. Zu einer vollständigen, funktionsfähigen Anlage gehören jedoch noch viele weitere, hochtechnologische Einzelbaugruppen. Die wichtigsten sind: Antennen mit den Hohlleiterverbindungen, Diversity-Empfänger mit den internen Kombinatoren, Schutzschaltgeräte in 1+1 Heißreserve und n+1-Technik zur automatischen Ersatz-

schaltung von Richtfunkkanälen bei Geräteausfall, Fernüberwachungseinrichtungen zur zentralen Geräteüberwachung sowie Überwachungsgeräte und Messgeräte für den örtlichen Service zur Einmessung und eventuellen Fehlersuche.

Ausblick auf die 1990er-Jahre

Durch die Wiedervereinigung 1990 wurden von den deutschen Telekommunikationsfirmen in großen Anstrengungen ganze Netzplanungen und Realisierungen in sogenannten Turn-Key-Projekten durchgeführt. Dafür wurden allein bis 1994 über 200 neue Antennenträger errichtet. Zusätzlich wurden die Netze der EVU (= Europäische Versorgungsunternehmen) in diesen Jahren digitalisiert und in den neuen Bundesländern komplett erneuert. Mitte der 1990er-Jahre wurde das TV-Netz komplett digitalisiert. Es war zu 100% mit Richtfunk realisiert und bestand aus dem Modulations- und Austauschleitungsnetz. Eine Realisierung im Glasfasernetz war nur bedingt möglich, weil einerseits die TV-Senderstandorte nur sehr aufwendig mit Glasfaser hätten angebunden werden können und andererseits bei erforderlichen Ersatzschaltungen eine bitfehlerfreie Umschaltung erforderlich machten ($<1/140\,000\,000$ s).

Ende der 1980er- und Anfang der 1990er-Jahre wurden die Mobilfunknetze in Deutschland und Europa errichtet. MMO (Mannesmann Mobilfunk später Vodafone) erhielt neben der Deutschen Bundespost den Zuschlag für das sogenannte D2-Netz (900 MHz/s). Während die Deutsche Telekom ihre Mobilfunkstandorte überwiegend über vorhandene Kupferkabel in den Städten anbinden konnte (im Verhältnis 9:1), musste MMO die neuen Standorte zu 100% mit Richtfunk anbinden. Dafür wurden mit 23, 26, 28, 32 und 38 GHz neue Frequenzbänder erschlossen (für 2 und $n \times 2$ Mbit/s Bitraten). Die Anzahl der

Funkfelder wuchs damit in Deutschland in kürzester Zeit sehr stark an. Die Backnanger Nachrichtentechnik war am Ausbau dieser Netze für MMO/Vodafone, E-Plus und O2 wesentlich beteiligt. Sie hat den Ausbau zu ca. 90% geplant und realisiert. Teilweise wurden 150 Funkfelder für einzelne Betreiber pro Monat errichtet (von der Planung über die Realisierung bis zur Netzüberwachung).³⁷ Diese Leistung musste sich im Wettbewerb immer wieder beweisen: im Preis, in der Qualität der Geräte und in der Qualität der Realisierung, Planung, Montage und Pünktlichkeit.

Zusammenstellung der Geräte

System	von	bis	Technologie/Technik
<i>Historische Geräte</i>			
PPM 24/2200, PPM24R/ 2200	1950er	1960er	Digitaler Richtfunk der 1950er-Jahre
Digital-Tonkanalsystem PC 800	1970er	1970er	Interne Digitalisierung von 5 Tonprogrammen auf 2 Mbit/s. Kann auch an analoge FM-TV-Geräte der letzten Generation angeschlossen werden.
FM 300/7400 digital	ca. 1975	1981	Analoggerät, digital mit Regeneratorschaltung
<i>Kurzstrecken-Richtfunk</i>			
DRS 2x8(2x2) / 15000 (4 PSK)	1978	1992	Gunnoszillator
DRS 2-140/18700 (4 PSK)	1987	1993	L.O. 2 GHz + Vervielfacher Synthesizer
<i>Schmalband-Richtfunk</i>			
DRS 34/1900 (4 PSK); Sd und Em getrennt	1982	1991	Synthesizer
DRS 34/7400, 8400 (4 PSK), Sd und Em in einem Kompaktgehäuse	1983	1991	Kompaktwanderfeldröhren
DRS 34/13000 (4 PSK); Sd und Em getrennt	1983	1991	geeichte Abstimmspindel
DRS 34/15000 (4 PSK); Sd und Em getrennt	1987	1993	geeichte Abstimmspindel
DRS 2-8/7400 (4 PSK), Sd und Em in einem Gehäuse	1985	1993	Einstellung über Mikroprozessor, Synthesizer
FM 960-1260-TV/6200 ... 8400 mit DRM 34/70	1983	1993	
DRS 34/7400-16 QAM	1989	1992	Quarzwechsel, LO= DRVCO
DRS 2-34/7400-16 QAM	1991	1995	Quarzwechsel, LO= DRVCO
<i>Breitband-Richtfunk</i>			
DRS 140/3900, 6700, 11200, 13000 (16 QAM)	1985	1993	Synthesizer (Kanalschalter)

³⁷ Der Funkfeldbestand lag 1990 bei ca. 8000, 2000 bei ca. 40000 und 2010 bei ca. 80000.