

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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 68 (1990)

Heft: 11

Artikel: Die Entwicklung von Richtfunkantennen bei den PTT-Betrieben = Le développement d'antennes de faisceaux hertziens à l'entreprise des PTT

Autor: Hügli, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876222>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 30.04.2026

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

Die Entwicklung von Richtfunkantennen bei den PTT-Betrieben

Le développement d'antennes de faisceaux hertziens à l'Entreprise des PTT

Peter HÜGLI, Bern

Zusammenfassung. Mit dem Ziel, sowohl den Frequenzbereich von 2 bis 12 GHz als auch die Infrastrukturen der Höhenstationen optimal auszunützen, wurden die Eigenschaften der Richtfunkantennen laufend verbessert. An diesem Prozess sind die PTT-Betriebe mit der Entwicklung von Multibandantennen aktiv beteiligt. Die Erschliessung neuer, höherer Frequenzbänder für kurze Verbindungen laufend verbessert. An diesem Prozess sind die PTT-Betriebe mit der Entwicklung von Multibandantennen aktiv beteiligt. Die Erschliessung neuer, höherer Frequenzbänder für kurze Verbindungen laufend verbessert. An diesem Prozess sind die PTT-Betriebe mit der Entwicklung von Multibandantennen aktiv beteiligt.

Résumé. Les propriétés des antennes de faisceaux hertziens ont constamment été améliorées dans le but d'utiliser de manière optimale tant la gamme de fréquences de 2 à 12 GHz que l'infrastructure des stations situées en haute altitude. Les PTT participent activement à cette évolution par le développement d'antennes multibandes. En recourant à des installations compactes et des antennes simples, il est possible de mettre à contribution des bandes de fréquences situées plus haut dans le spectre radioélectrique, et ce pour des liaisons à courte distance. En constante augmentation, la densité du réseau des stations va imposer de plus hautes exigences pour ce qui est des antennes.

Lo sviluppo di antenne direttive per radiocomunicazioni nell'azienda delle PTT

Riassunto. Le caratteristiche delle antenne direttive sono state continuamente migliorate allo scopo di sfruttare al massimo la gamma di frequenze da 2 a 12 GHz e le infrastrutture delle stazioni ubicate in alta montagna. L'azienda delle PTT partecipa attivamente a questo processo sviluppando antenne multibande. Per poter impiegare nuove bande di frequenza più elevate per collegamenti a breve distanza sono sufficienti all'inizio impianti costruiti in maniera compatta e antenne semplici. Poi la crescente densità della rete richiede antenne con maggiori specifiche tecniche.

1 Der Antennengewinn hilft grosse Distanzen zu überbrücken

Die ersten breitbandigen Funkverbindungen zwischen festen Standorten wurden von den Schweizerischen PTT-Betrieben vor etwa 40 Jahren gebaut. Man benutzte dazu Trägerfrequenzen von 2 GHz und dehnte das Frequenzband im Laufe der Zeit nach oben hin aus. Weil sich diese *Mikrowellen* ähnlich wie das Licht ausbreiten, muss zwischen der Sende- und der Empfangsantenne Sichtverbindung bestehen. Mit vernünftigen Turmhöhen können in flachem Gelände wegen der Erdkrümmung nur Distanzen bis etwa 50 km überbrückt werden. Durch geschickte Ausnützung der natürlichen Geländehöhen sind in der Schweiz jedoch Streckenlängen bis zu 120 km möglich geworden. Um ein genügend starkes Empfangssignal zu erhalten, war es beim damaligen Stand der Gerätetechnik unbedingt erforderlich, Antennen einzusetzen, die das Signal in Richtung der Gegenstation bündeln. In Anlehnung an die geometrische Optik benutzte man dazu einen rotationssymmetrischen Parabolreflektor, den man von einer im Brennpunkt angebrachten Dipolantenne ausleuchtete. Die so erzeugte Richtwirkung, bezogen auf das Strahlungsverhalten des Kugelstrahlers, bezeichnet man als *Antennengewinn*, der sich proportional zur wirksamen Antennenfläche und zum Quadrat der Frequenz verhält. Der gerichtete Strahl der Antenne gab der gesamten zugehörigen Technik den Namen «Richtstrahltechnik» oder «Richtfunktechnik».

2 Der Platz auf den Türmen wird knapp

Der steigende Bedarf an Übertragungskapazität führte zwangsläufig zur Belegung neuer, höherer Frequenzbänder. Wenn andernorts dazu auf den Stationen zusätzliche Antennen montiert wurden, machte man sich bei den PTT-Betrieben Gedanken über eine bessere Nut-

1 Le gain d'antenne aide à couvrir de grandes distances

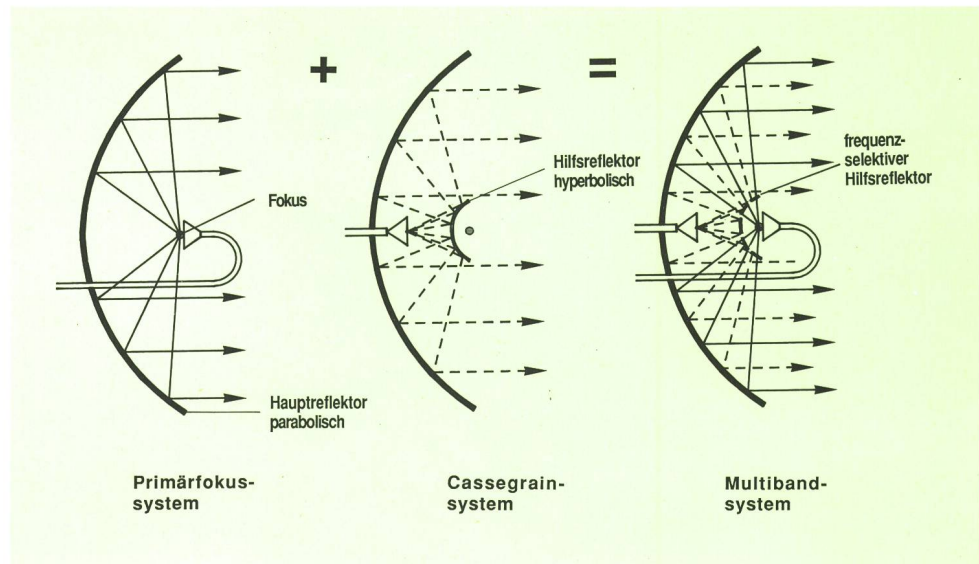
Les premières liaisons radioélectriques à large bande entre points fixes ont été établies par l'Entreprise des PTT suisses il y a 40 ans environ. On utilisait alors des fréquences porteuses de 2 GHz et l'on a étendu, au cours du temps, la bande de fréquences vers le haut. Vu que ces *micro-ondes* se propagent comme la lumière, il est nécessaire d'avoir une liaison visuelle entre l'antenne d'émission et celle de réception. Si l'on veut maintenir les tours ou mâts d'antennes à des hauteurs raisonnables, la distance maximale qui peut être couverte en un seul bond est de 50 km environ, étant donné la courbure de l'écorce terrestre. En Suisse, l'utilisation habile de la topographie naturelle a permis de couvrir des distances allant jusqu'à 120 km. A l'époque, la technique des équipements nécessitait l'utilisation d'antennes assurant la focalisation du signal en direction de la station distante, afin que le signal reçu soit suffisamment puissant. En s'appuyant sur l'optique géométrique on utilisait un réflecteur parabolique offrant une symétrie de rotation, illuminé par une antenne dipôle placée en son foyer. L'effet directionnel ainsi obtenu, rapporté au comportement d'une antenne isotropique est appelé *gain d'antenne*, qui est proportionnel à la surface d'antenne efficace et au carré de la fréquence. Le faisceau d'antenne dirigé a donné à l'ensemble de la technique faisant appel à ces antennes le nom de «technique des ondes dirigées» ou «technique à faisceaux hertziens».

2 La place sur les tours se fait rare

Le besoin croissant en capacité de transmission a conduit à l'occupation inévitable de nouvelles bandes de fréquences toujours plus élevées. Si, ailleurs, on a monté des antennes supplémentaires dans les stations existantes, l'Entreprise des PTT a cherché à mieux utiliser la place disponible et les installations d'antennes,

Fig. 1
Prinzip der Multibandstrahleinheit für PTT-Antennen – Principe de l'unité de rayonnement multibande pour les antennes PTT

- Fokus – Foyer
- Hauptreflektor – Réflecteur principal
- Hilfsreflektor – Réflecteur auxiliaire
- Frequenzselektiv – Dichroïque
- Parabolisch – Parabolique
- Hyperbolisch – Hyperbolique
- Primärfokussystem – Système de foyer primaire
- Cassegrainsystem – Système Cassegrain
- Multibandsystem – Système multibande



zung der besonders auf den Höhenstationen teuren Standplätze und Antenneninstallationen. Weil auf dem Markt nicht erhältlich, wurden in der Direktion Forschung und Entwicklung der PTT erstmals Speisesysteme entwickelt und gebaut, die es ermöglichten, zwei unterschiedliche Frequenzbänder mit demselben Parabolreflektor zu übertragen. Das Prinzip dieser Multiband-Strahleinheiten ist die Verschachtelung eines Primärfokus-Speisesystems mit einem Cassegrain-System¹, wobei der Cassegrain-Hilfsreflektor für das eine Frequenzband reflektierend und für das andere durchlässig sein muss, wie in *Figur 1* dargestellt. Im Laufe der Zeit wurde, den Bedürfnissen des Betriebes entsprechend, eine ganze Familie von Mono- und Multibandstrahleinheiten entwickelt, wie *Tabelle I* zeigt. Sie bilden zusammen mit den drei normierten Reflektorgößen ein äußerst flexibles Baukastensystem, das jederzeit ein Umrü-

onéreses en particulier sur les points situés en haute altitude du réseau. Vu qu'ils n'étaient pas disponibles sur le marché, la Direction des recherches et du développement a développé et construit pour la première fois des systèmes d'alimentation qui permettaient de transmettre deux bandes de fréquences différentes à l'aide du même réflecteur parabolique. Le principe de ces unités rayonnantes multibandes repose sur l'imbrication d'un système d'alimentation d'un faisceau primaire et d'un système Cassegrain¹, où le réflecteur auxiliaire Cassegrain est réfléchissant pour l'une des bandes de fréquences et doit être perméable pour l'autre, tel que le montre la *figure 1*. Au cours du temps, et selon les besoins de l'exploitation, toute une famille d'unités rayonnantes pour une seule bande ou multibandes ont été développées, qui font l'objet du *tableau I*. Elle forme, avec les trois grandeurs de réflecteurs normalisées un système modulaire très flexible permettant un changement de fréquence par simple remplacement de l'unité de rayonnement depuis l'arrière du réflecteur [1, 2, 3].

Tabelle I. Zusammenstellung der Strahleinheiten zu den PTT-Antennen

Tableau I. Assortiment des unités rayonnantes des antennes PTT

Strahleinheit Unité rayonnante	Frequenzbereich(e) [GHz] Plage(s) de fréquences [GHz]	Reflektordurchmesser [m] Diamètre du réflecteur [m] 1,75 3,0 4,28		
Monoband	1,65 – 2,35		x	x
Monobande	2,3 – 2,7		x	x
Monobande	3,6 – 4,2	x	x	x
Monobande	5,925 – 6,425	x	x	x
Monobande	6,425 – 7,125	x	x	x
Monobande	7,125 – 7,725	x	x	x
Monobande	10,7 – 11,7	x	x	x
Multiband	1,65 – 2,35 / 5,925 – 6,425		x	x
Multibande	1,65 – 2,35 / 6,425 – 7,125		x	x
Multibande	1,65 – 2,35 / 7,125 – 7,725		x	x
Multibande	2,3 – 2,7 / 5,925 – 6,425		x	x
Multibande	2,3 – 2,7 / 7,125 – 7,725		x	x
Multibande	3,4 – 4,2 / 6,425 – 7,125	x	x	x
Multibande	3,4 – 4,2 / 10,7 – 11,7	x	x	x

3 Les fréquences sont aussi une denrée rare

Le nombre croissant de nouveaux bonds à faisceaux hertziens dans le spectre utilisable restreint de fréquences a conduit obligatoirement à la réutilisation des mêmes fréquences sur des bonds différents. Cela s'est traduit aux points névralgiques, comportant de nombreuses directions de rayonnement, par des perturbations sur le même canal. La *figure 2* montre que ces perturbations ne peuvent être supprimées qu'en recourant à des antennes dont le niveau relatif de lobe secondaire est très bas. La *figure 3* indique les types d'antennes paraboliques les plus utilisées de nos jours. Dans les antennes paraboliques à réflecteur circulaire le foyer, donc le système de rayonnement primaire, est toujours sur le parcours de rayonnement de l'antenne. Les rayonnements de dispersion de cet élément engendrent des lobes dans la plage de 10° à 90° suivant la construction

¹ 1672 durch den französischen Wissenschaftler N. Cassegrain für ein optisches Teleskop vorgeschlagen; von ihm ist sonst praktisch nichts bekannt (Red.)

¹ Proposé en 1672 par le scientifique français N. Cassegrain pour un télescope optique; on ne connaît pratiquement rien d'autre de sa part (Réd.)

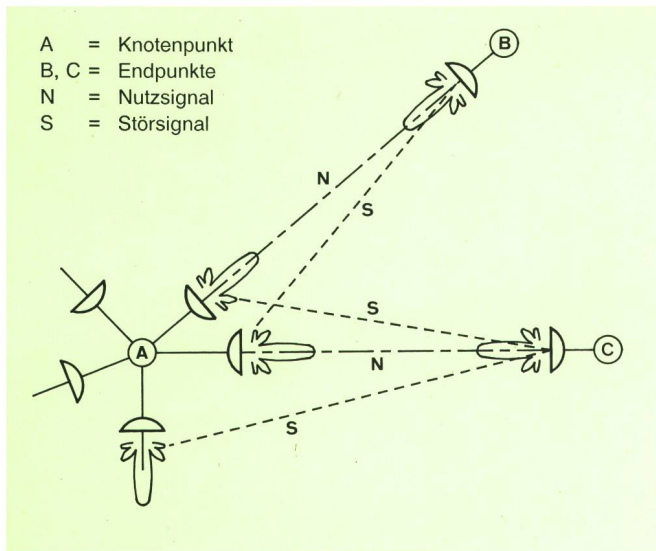


Fig. 2
Entstehung von Gleichkanalstörungen auf Richtfunk-Knotenpunkten
– Apparition de perturbations sur le même canal dans les nœuds de transmission par faisceaux hertziens

Knotenpunkt – Nœud
Endpunkte – Terminaisons
Nutzsignal – Signal utile
Störsignal – Signal perturbateur

sten der Antenne durch Auswechseln der Strahleinheit von der Rückseite des Reflektors her erlaubt [1, 2, 3].

3 Auch Frequenzen sind Mangelware

Die wachsende Zahl neuer Richtfunkstrecken im beschränkt nutzbaren Frequenzspektrum führte zwangsläufig zur Wiederverwendung derselben Frequenzen auf verschiedenen Strecken. Dies führte in Knotenpunkten mit vielen verschiedenen Abstrahlungsrichtungen zu Gleichkanalstörungen. Anhand von *Figur 2* wird gezeigt, dass diese Störungen nur mit erhöhter Nebenzipfeldämpfung der Antennen unterdrückt werden können. *Figur 3* zeigt die meisten heute verwendeten Typen von Parabolantennen. Bei den Kreisparabolantennen befindet sich der Brennpunkt und somit das Primärstrahlungssystem immer im Strahlengang der Antenne. Streustrahlungen an diesem Bauteil erzeugen erhöhte Nebenzipfel im Winkelbereich von 10 bis etwa 90°, je nach Bauart des Reflektors. Bei Muschel-, Hornparabol- und anderen *Offset-Antennen*, deren Brennpunkt ausserhalb des Strahlengangs liegt, tritt dieser Effekt nicht auf, und die Nebenzipfel sind in diesem Winkelbereich entsprechend kleiner. In *Figur 4* sind die Hüllkurvendia-gramme von vergleichbaren Antennen dargestellt. Man sieht, dass die PTT-Kreisparabolantenne mit Kragen und Radom ein erheblich besseres Strahlungsdiagramm aufweist als eine einfache, billige Antenne. Asymmetrische Offset-Reflektoren sind aufwendiger herzustellen als Kreisparabol-Reflektoren.

Zwei orthogonal zueinander stehende elektromagnetische Felder sind theoretisch ideal voneinander entkoppelt. Praktisch sind der Nutzung dieses Effekts für die Übertragung von zwei verschiedenen Informationen auf derselben Frequenz jedoch Grenzen gesetzt, sowohl von der Antenne als auch von der Wellenausbreitung her. Bei genügender Formgenauigkeit der Reflektoren und präziser Bauweise der Primärstrahler sind in der Haupt-

du Reflektor. Für les antennes coquille, celles à cornet parabolique et les autres *antennes à source primaire décalée*, dont le foyer se trouve en dehors de la direction de rayonnement, cet effet n'apparaît pas et les lobes dans cette plage angulaire sont d'autant plus petits. La *figure 4* montre les diagrammes des courbes enveloppes d'antennes comparables. On voit que les antennes à réflecteur circulaire des PTT avec couronne absorbante et radôme offrent un diagramme de rayonnement notablement meilleur que les antennes simples et bon marché. Les réflecteurs asymétriques à source primaire décalée sont plus coûteux que les réflecteurs paraboliques circulaires.

Deux champs électromagnétiques orthogonaux sont théoriquement découplés de façon idéale. En pratique, l'utilisation de cet effet pour la transmission de deux informations sur la même fréquence est cependant limitée, tant en ce qui concerne l'antenne que la propagation des ondes. Avec une précision de la forme des réflecteurs suffisante et une construction précise du rayonneur primaire, il est possible d'atteindre des valeurs de découplage (XPD, Crosspolar Discrimination) de 30 dB dans la direction principale de rayonnement. Pour des antennes alimentées par le foyer primaire (à distance focale courte) les lobes secondaires peuvent atteindre des valeurs XPD de 18 dB à proximité de la direction principale de rayonnement. Pour la transmission planifiée d'un autre signal dans la même direction et sur la même fréquence en polarisation orthogonale, il est nécessaire d'avoir des valeurs XPD de 35 dB à l'intérieur du profil à 1 dB du lobe de rayonnement principal. Cela implique à la fois l'allongement de la distance focale par

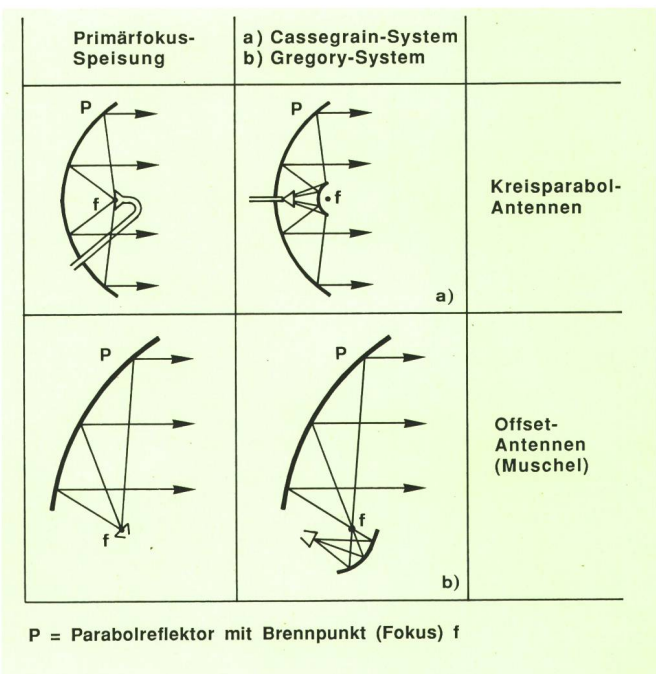


Fig. 3
Die am meisten verwendeten Richtfunkantennen – Antennes à faisceaux dirigés les plus utilisées

Primärfokusspeisung – Alimentation au foyer primaire
Cassegrain-System – Système Cassegrain
Gregory-System – Système Gregory
Kreisparabolantennen – Antennes paraboliques à réflecteur circulaire
Offsetantennen (Muschel) – Antennes à source primaire décalée
Parabolreflektor mit Brennweite (Fokus) f – Réflecteur parabolique avec foyer f

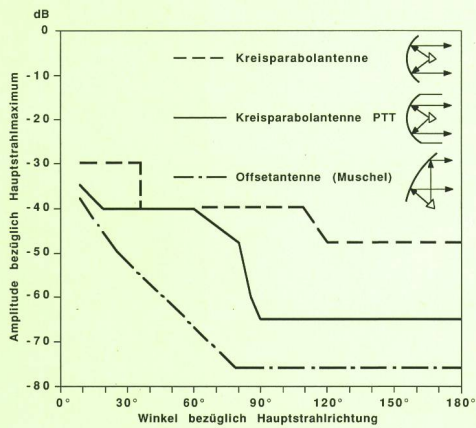


Fig. 4
Hüllkurve der Richtcharakteristik verschiedener Reflektorantennen mit etwa 42 dB Gewinn bezüglich der isotropen Antenne – Courbe enveloppe de la caractéristique directionnelle de différentes antennes à réflecteur avec un gain d'environ 42 dB par rapport à l'antenne isotrope

Amplitude bezüglich Hauptstrahlmaximum – Amplitude par rapport au maximum du lobe principal
Winkel bezüglich Hauptstrahlrichtung – Angle par rapport à la direction du lobe principal
Kreisparabolantenne – Antenne parabolique à réflecteur circulaire
Offsetantenne (Muschel) – Antenne à source primaire décalée (coquille)

strahlungsrichtung Entkopplungswerte (XPD, Crosspolar Discrimination) von 30 dB möglich. Bei Primärfokus gespeisten (kurzbrennweitigen) Antennen treten jedoch in der Nähe der Hauptstrahlrichtung Nebenzipfel mit XPD-Werten von 18 dB auf. Für die geplante Übertragung einer anderen Information in derselben Richtung auf derselben Frequenz in der orthogonalen Polarisation sind XPD-Werte innerhalb der 1-dB-Kontur der Hauptstrahlungskeule von 35 dB nötig. Dies bedingt sowohl eine Verlängerung der Brennweite durch Anwendung der Cassegrain- oder Gregory-Technik² als auch den Einsatz von Primärstrahlern mit hoher Polarisationsreinheit wie Rillenhörner oder dielektrische Strahler. Mit dieser «Crosspolar-Co-channel-Technik» wurde vorläufig das letzte aus dem nutzbaren Frequenzspektrum herausgeholt.

4 Qualität dank technischem Fortschritt

Heute werden auf dem Markt XPD-optimierte Offset-Antennen in Mono- und Multibandtechnik angeboten. Für die Multibandtechnik wird ein breitbandiges Rillenhorn als Strahlungsquelle mit nachgeschalteten Frequenz- und Polarisationsfiltern eingesetzt, wie das Beispiel in *Figur 5* zeigt. Dabei liegen die kombinierbaren Frequenzen etwa innerhalb einer Oktave. Die von den PTT-Betrieben benötigte Kombination von 3,4 mit 11,7 GHz kann auf diese Art nicht erreicht werden. Die Entwicklung einer völlig neuen Antenne lag ausserhalb der Möglichkeiten des PTT-Forschungsteams, weshalb in einer Entwicklungszusammenarbeit mit einem ausländischen

l'utilisation de la technique Cassegrain ou Gregory² et l'utilisation d'un rayonneur primaire avec une unité de polarisation élevée tels que des cornets cannelés ou des rayonneurs diélectriques. Avec cette technique «Crosspolar Co-channel» on a pu tirer, jusqu'ici, le maximum du spectre utilisable des fréquences.

4 Qualität grâce au progrès technique

Aujourd'hui, des antennes à source primaire décalée optimisées du point de vue des valeurs de découplage XPD sont offertes sur le marché, tant en technique monobande qu'en technique multibande. Pour la technique multibande, on a recours, en tant que source de rayonnement, à un cornet cannelé à large bande avec des filtres de fréquence et de polarisation connectés en aval, tel que le montre l'exemple de la *figure 5*. En ce cas, les fréquences pouvant être combinées se situent à l'intérieur d'une octave environ. La combinaison de fréquences de 3,4 et 11,7 GHz utilisée par l'Entreprise de PTT ne peut pas être atteinte de cette manière. Le développement d'une antenne entièrement nouvelle n'était pas dans les possibilités du groupe de recherche des PTT, raison pour laquelle l'antenne coquille à double bande, pour 3,4...4,2 et 10,7...11,7 GHz, optimisée du point de vue des valeurs de découplage XPD, a été réalisée avec la collaboration d'un fabricant d'antennes étranger. On utilise à cet effet une antenne coquille optimisée à 4 GHz avec un cornet cannelé en tant que source de rayonnement primaire et un réflecteur auxiliaire elliptique de Gregory. La bande de 11 GHz est découplée du rayonneur diélectrique à rayonnement vertical par un miroir défecteur sélectif en fréquence. Tel que le montre la *figure 6* le système Gregory améliorant les valeurs de découplage XPD est efficace pour les deux bandes de fréquence [4].

Au début, on utilisait de grandes antennes, vu leur gain élevé. Les grandes antennes offrent, de par leur nature, une meilleure atténuation des lobes secondaires que

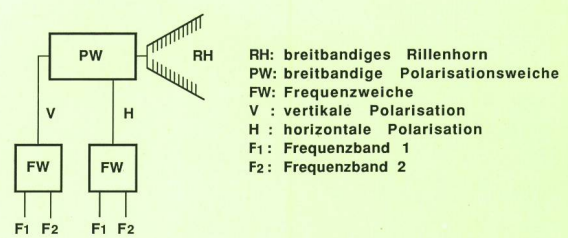


Fig. 5
Beispiel eines Multiband-Erregersystems in Breitbandtechnik – Exemple d'un système d'excitation multibande en technique à large bande

RH: Breitbandiges Rillenhorn – Cornet à large bande cannelé
PW: Breitbandige Polarisationsweiche – Diplexeur de polarisation à large bande
FW: Frequenzweiche – Diplexeur de fréquence
V: Vertikale Polarisation – Polarisation verticale
H: Horizontale Polarisation – Polarisation horizontale
F₁ Frequenzband 1 – Bande de fréquence 1
F₂ Frequenzband 2 – Bande de fréquence 2

² Benannt nach dem schottischen Astronomen und Mathematiker J. Gregory (1638–1675), der 1661 ein optisches Spiegelteleskop nach diesem Prinzip entwickelte (Red.)

² Portant le nom d'un astronome et mathématicien écossais J. Gregory (1638 – 1675) qui a développé en 1661 un télescope à miroir selon ce principe (Réd.)

dischen Antennenhersteller die XPD-optimierte Dualband-Muschelantenne für 3,4...4,2 und 10,7...11,7 GHz verwirklicht wurde. Sie verwendet die bewährte XPD-optimierte 4-GHz-Muschelantenne mit einem Rillenhorn als Primärstrahlungsquelle und einem elliptischen Gregory-Hilfsreflektor. Das 11-GHz-Band wird von einem dielektrischen Stielstrahler über einen frequenzselektiven Umlenkspiegel eingekoppelt. Wie *Figur 6* zeigt, ist das XPD-verbessernde Gregory-System dabei für beide Bänder wirksam [4].

Anfänglich wurden grosse Antennen ihres hohen Gewinnes wegen benötigt. Grosse Antennen weisen naturgemäss auch eine bessere Nebenzipfeldämpfung auf als kleinere des gleichen Typs. Oft wird aus diesem Grund die grosse, teure Antenne verwendet. Gegenwärtig sind Antennen in Entwicklung, die bei gleichbleibendem Hüllkurvendiagramm kleiner und somit auch billiger und platzsparender sind als die heute bestehenden.

Den Schwunderscheinungen durch Mehrwegeausbreitung auf Richtfunkstrecken kann durch Raumdiversity-Empfang begegnet werden. Dazu sind jedoch zwei im Abstand von einigen zehn Metern übereinander angeordnete Antennen nötig. Erste Ergebnisse von laufenden Untersuchungen deuten darauf hin, dass ähnliche Verbesserungen durch die Kombination der Signale von mehreren Hauptstrahlungskeulen einer einzigen Empfangsantenne erreicht werden können. Für diesen Winkeldiversity-Empfang gibt es heute XPD-optimierte Muschelantennen. Diese besitzen neben der doppelt linear polarisierten Summenkeule (normale Hauptstrahlungskeule) noch zwei ebenfalls doppelt linear polarisierte Diversitykeulen in der Elevation, die mit Hilfe von höheren Hohlleitermoden im Speisesystem erzeugt werden [5, 6].

Ein weiteres wirksames Mittel gegen Mehrwegeschwund, das gleichzeitig Schutz gegen Geräteausfall bietet, ist das Frequenzband-Diversity-Verfahren, bei dem Multibandantennen wesentlich zur Senkung der Kosten beitragen.

Alle hier chronologisch aufgeführten Entwicklungsschritte bei den Richtfunkantennen dienen nicht zuletzt auch der Steigerung der Übertragungsqualität. Veränderungen der Strahlungseigenschaften durch Schnee- und Eisansatz können diese Qualität stark verschlechtern. Die Antennenverkleidung spielt deshalb in unserem Klima eine wichtige Rolle. Die Primärstrahlungsquellen der PTT-Antennen werden durch Zufuhr von getrockneter Luft unter schwachem Überdruck gehalten. Auf diese Weise wird schädliche Feuchtigkeit im Innern des Strahlerkopfs verhindert. Der Reflektor ist durch ein in der Öffnungsebene gespanntes, als Radom wirkendes ebenes Flattertuch gegen Schnee- und Eisansatz geschützt. Allfällig an diesem Radom haftender Schnee wird durch die vom Wind verursachten Flatterbewegungen abgeworfen. Obwohl dieses Verfahren effizient und billig ist, müssen an gewissen Orten geschlossene Antennenkavernen mit starren Radomen gebaut werden. Es gibt verschiedene kompakte und geschäumte Kunststoffe mit geringen Durchstrahlungsverlusten, die dem geforderten Staudruck von 400 kg/m² standhalten. Trotz intensiver Bemühungen wurde bis heute noch kein Material gefunden, an dessen Oberfläche kein Schnee und Eis ansetzt.

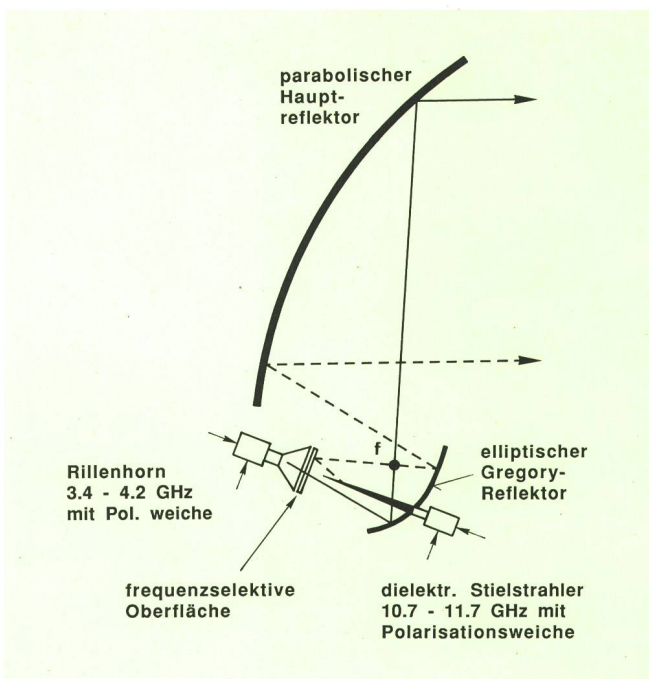


Fig. 6
Prinzip der XPD-optimierten Dualband-Offsetantenne für 4 und 11 GHz – Principe de l'antenne à source primaire décalée pour 4 et 11 GHz – optimisée en ce qui concerne les valeurs de découplage XPD

Parabolischer Hauptreflektor – Réflecteur principal parabolique
Rillenhorn 3,4 – 4,2 GHz mit Polarisationsweiche – Cornet cannelé 3,4 – 4,2 GHz avec diplexeur de polarisation
Dielektrischer Stielstrahler 10,7 – 11,7 GHz mit Polarisationsweiche – Rayonneur diélectrique rayonnement vertical
Frequenzselektive Oberfläche – Surface dichroïque
Elliptischer Gregory-Reflektor – Réflecteur Gregory elliptique

des Antennen plus petites du même type. C'est pourquoi, des Antennen coûteuses de grande dimension sont souvent utilisées. Actuellement on travaille au développement d'Antennen qui, pour le même diagramme de courbe enveloppe sont plus petites, meilleur marché et utilisent moins de place que les Antennen existantes.

Il est possible de pallier les évanouissements dus aux propagations par trajets multiples sur les sections hertziennes par la réception en diversité d'espace. A cet effet, il est toutefois nécessaire de disposer de deux Antennen placées l'une au-dessus de l'autre à quelques dizaines de mètres de distance. Les résultats d'essais en cours permettent de penser que des améliorations semblables peuvent être obtenues par la combinaison des signaux de plusieurs lobes de rayonnement principaux d'une seule Antenne de réception. Il existe aujourd'hui des Antennen coquille optimisées en ce qui concerne les valeurs de découplage XPD pour la réception dans ce mode appelé en diversité d'angle. Celles-ci possèdent en élévation, en plus du lobe principal double polarisé linéairement encore deux lobes en diversité également polarisés linéairement à double qui peuvent être créés dans le système d'alimentation à l'aide de guides d'ondes opérant selon un mode de propagation d'ordre supérieur [5, 6].

Un autre moyen efficace contre les évanouissements de propagation par trajets multiples, qui offre en même temps une protection contre la défaillance des appareils, est le procédé en diversité de bande de fréquences dans lequel l'utilisation d'Antennen multibandes contribue largement à la réduction des coûts.

5 Was wird in Zukunft benötigt?

Richtfunkverbindungen über grosse Distanzen (Fernnetz) können wegen der bei höheren Frequenzen auftretenden starken Dämpfung durch Regen nur bis etwa 12 GHz genügend sicher gebaut werden. Wie die Vorgesichte zeigt, steht heute dazu eine grosse Auswahl verschiedener Antennen zur Verfügung. Die bestehenden Systeme erfahren laufend partielle Verbesserungen.

Die höheren Frequenzen bis etwa 50 GHz können im Bereich der Teilnehmeranschlüsse bis zu einigen Kilometern Entfernung verwendet werden. Entsprechend der kürzeren Wellenlänge sind bei gleichbleibenden Eigenschaften die Antennenabmessungen kleiner. Antennen von etwa 0,6 m Durchmesser sind oft integrierender Bestandteil von Anlagen, die für die Aussenmontage konzipiert sind.

Heute wird mit dem Bau einzelner Strecken begonnen, die später zu sternförmigen Netzen zusammenwachsen werden. Die Antennenparameter Nebenzipfeldämpfung, Kreuzpolarisationsentkopplung und Multibandtauglichkeit, die jetzt noch unbedeutend sind, werden mit Sicherheit in Zukunft stärker gewichtet. Die Verbindungen werden in bewohnten Gebieten benötigt, wo Antennen heute vielen Leuten aus ästhetischen Gründen ein Dorn im Auge sind. Eine an die Fassade gehängte flache Antenne, die an einen Sonnenkollektor erinnert, würde eher akzeptiert. Phasengesteuerte Gruppenstrahler schneiden aber im Vergleich mit Reflektorantennen bezüglich Bandbreite, Nebenzipfeldämpfung, Kreuzpolarisationsentkopplung, internen Leitungsverlusten und Kosten so schlecht ab, dass sie in der Richtfunktechnik noch keine Alternative darstellen. Durch bauliche Massnahmen, wie elektromagnetisch durchlässige Fassadenelemente oder Fenster, können handelsübliche Antennen und Anlagen geschützt und gut zugänglich im Gebäudeinnern aufgestellt werden.

In sternförmigen Netzen könnte die Vielzahl von Einzelantennen im Sternpunkt durch wenige Mehrstrahlantennen ersetzt werden. Zurzeit wird eine solche Antenne auf der Basis der Luneberg-Linse entwickelt [7].

Der Mobilfunk wächst sehr stark und braucht neue Frequenzen. Mittelfristig dehnt er sich von heute 1 GHz bis in den Bereich von 3 GHz aus. Auf diesen Frequenzen könnten einfache Gruppenstrahler als adaptive Antennen eine Zukunft haben. Flache, gedruckte, billige Antennen auf dem Fahrzeugdach, die sich auf einen Mobilfunksatelliten ausrichten, sind heute keine Utopie mehr.

Bibliographie

- [1] *Wilhelm R.* Entwicklung einer Doppelstrahlereinheit für das 2000-MHz-TV-Richtstrahlernetz / Développement d'une antenne directive pour le réseau hertzien de télévision dans la bande des 2000 MHz. Techn. Mitt. PTT 42 (1964) 5, S. 206...211.
- [2] *Hügli P.* und *Mutti M.* Neue Strahlereinheit für PTT-Richtfunkantennen im 2,5-GHz-Band. Bern, Techn. Mitt. PTT 56 (1978) 6, S. 222...225.
- [3] *Hügli P.* und *Mutti M.* 4- und 11-GHz-Multibandstrahler für PTT-Richtfunkantennen. Bern, Techn. Mitt. PTT 58 (1980) 6, S. 207...211.
- [4] *Hügli P., Mutti M., Petry H.-P., Mierzwiaik K.-H.* XPD-optimierte Doppelband-Muschelantenne mit neuartigem Erregerkonzept für die Frequenzbereiche 3,4-4,2 und

Toutes les étapes de développement d'antennes à faisceaux dirigés mentionnées ici dans l'ordre chronologique contribuent également à l'amélioration de la qualité de transmission. Les modifications des propriétés de rayonnement par la neige ou une carapace de glace peuvent diminuer cette qualité de manière prononcée. C'est pourquoi la protection des antennes joue un grand rôle dans nos climats. Les sources de rayonnement primaires des antennes PTT sont maintenues en légère surpression par l'apport d'air sec. De cette façon, on empêche la pénétration d'humidité nuisible à l'intérieur de la tête du rayonneur. Le réflecteur est protégé contre la neige et la formation de glace par une toile légèrement flottante tendue sur son ouverture et ayant l'effet d'un radôme. Les mouvements de la toile dus aux flottements provoqués empêchent la neige d'adhérer à la toile. Bien que ce procédé soit efficace et bon marché, il est nécessaire, en certains endroits, de construire des cavernes d'antennes fermées avec des radômes fixes. Il existe différentes matières synthétiques compactes et sous forme de mousse n'entraînant que de faibles pertes de rayonnement et pouvant soutenir la pression superficielle de 400 kg/m² exigée. Malgré de nombreuses recherches, il n'a pas été possible jusqu'ici de trouver un matériel à la surface duquel la neige n'adhère pas et la glace ne puisse pas se former.

5 De quoi aurons-nous besoin dans le futur?

Les liaisons à faisceaux hertziens sur de grandes distances (réseau interurbain) ne peuvent être construites avec suffisamment de sécurité que pour des fréquences jusqu'à 12 GHz environ, étant donné l'affaiblissement important dû à la pluie dans les fréquences élevées. Comme le montre la réalité, on dispose aujourd'hui d'un grand choix d'antennes à cet effet. Les systèmes existants font l'objet de continues améliorations partielles.

Les fréquences plus élevées jusqu'à environ 50 GHz peuvent être utilisées dans le domaine des raccordements d'abonnés pour couvrir des distances jusqu'à quelques kilomètres. Étant donné les longueurs d'ondes plus courtes, la dimension des antennes est plus petite à propriétés égales. Des antennes d'environ 0,6 m de diamètre sont souvent partie intégrante d'installations conçues pour le montage à l'extérieur.

Aujourd'hui, on commence à construire des bonds isolés qui, plus tard, deviendront les éléments de réseaux en étoile. Les paramètres d'antennes, niveau relatif de lobes secondaires, découplage de la polarisation croisée et l'aptitude à l'exploitation en multibande, qui aujourd'hui encore n'ont que peu d'importance, en prendront certainement davantage à l'avenir. Les liaisons doivent être utilisées dans des zones habitées où, pour des raisons esthétiques, les antennes gênent de nombreuses personnes. Une antenne plate suspendue à la façade rappelant un panneau de cellules solaires serait mieux acceptée. Les rayonneurs en groupe excités en phase ont des caractéristiques en ce qui concerne la largeur de bande, le niveau relatif des lobes secondaires, le découplage de polarisation, les pertes de puissance internes et les coûts, si mauvais par rapport aux antennes à réflecteur qu'elles ne représentent pas en-

10,7–11,7 GHz. ITG-Fachbericht 111 «Antennen» (1990), VDE-Verlag, Berlin.

- [5] *Leupelt U. und Tauscheck E.* Winkeldiversityerreger nach dem Mehrmodenprinzip für den Einsatz in zweifach orthogonal polarisierten Parabolantennen. ITG-Fachbericht 111 «Antennen» (1990), VDE-Verlag, Berlin.
- [6] *Mörz G., Mierzwiak K.-H., Mahr U.* Doppelreflektor-Muschelantenne für Winkeldiversity-Betrieb in zwei orthogonalen Polarisierungen. ITG-Fachbericht 111 «Antennen» (1990), VDE-Verlag, Berlin.
- [7] *Mitchell M.A., Sanford J.R., Corey L.E., Moore R.A., Pusateri V.P.* A Multiple-Beam Multiple-Frequency spherical Lens Antenna System providing hemispherical Coverage. ICAP 89, IEE-Conference Publication No 301, Vol. 1.

core une alternative. En prenant des mesures dans le domaine de la construction, telle que l'utilisation d'éléments de façade ou de fenêtre perméables aux champs électromagnétiques, il est possible d'installer des antennes et des équipements du commerce à l'intérieur du bâtiment tout en assurant leur protection et un accès facile.

Dans les réseaux en étoile, le nombre élevé d'antennes individuelles au point central pourrait être remplacé par quelques antennes à rayonnement multiple. Actuellement, une telle antenne reposant sur le principe de la lentille de Luneberg est en cours de développement [7].

Les radiocommunications mobiles se développent très fortement et doivent pouvoir recourir à de nouvelles fréquences. A moyen terme, elle s'étend de 1 GHz jusque dans le domaine de 3 GHz. Sur ces fréquences, des rayonneurs de groupe simples, en tant qu'antennes adaptables, pourraient être la solution de l'avenir. Des antennes bon marché plates, imprimées sur le toit du véhicule et pointées sur un satellite de radiocommunication ne sont aujourd'hui plus une utopie.

Die nächste Nummer bringt unter anderem:

Vous pourrez lire dans le prochain numéro:

12/90

- Bosshard H.-J. Die Synchroner Digitale Hierarchie, Grundlagen und Anwendungen
La hiérarchie numérique synchrone, principes et applications
- Nyffenegger A. TelcaStar – un sistema per apparecchi telefonici a prepagamento pubblici
- Mohr dieck Ch. Nichtlineare Dynamik – Erste Einsätze in der Industrieforschung