

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Band:** 37 (1964)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Neue Bauelemente im Nachrichtenverkehr  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-562834>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

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

## Neue Bauelemente im Nachrichtenweitverkehr

Grobe Schätzungen über den Zuwachs der Bewohner unserer Erde sagen eine Bevölkerungsvermehrung für die nächsten 30 Jahre auf das Doppelte, also etwa 6 Milliarden voraus. Diese enorme Wachstumsrate bedingt natürlich auch weitere Anstrengungen und Fortschritte auf dem Gebiete der Kultur, Zivilisation und nicht zuletzt auch der Technik. Schliesslich wird auch hievon die Nachrichtentechnik betroffen, so dass man damit rechnet, dass die jetzt vorhandenen Fernsprechanlüsse von etwa 130 Milliarden auf etwa 500 Milliarden erhöht werden müssen. Das bedeutet, dass einer Verdoppelung der Bevölkerung eine Vervierfachung der Anzahl der Telefonanschlüsse gegenübersteht. Daher müssen die Nachrichtentechniker schon jetzt Vorsorge treffen, dass die nötigen Kanalzahlen zur Verfügung gestellt werden können. Wie eine einfache Rechnung zeigt, lassen sich Fernsprechanäle grösseren Ausmasses nur im Gebiet höchster Frequenzen unterbringen. Während im Bereich von 10 KHz—10 MHz nur etwa 2500 Kanäle (zu  $4 \cdot 10^2$  Hz gerechnet) Platz finden, sind es in einem etwas höheren Frequenzbereich von 0,1 GHz—10 GHz bereits über 2 Millionen.

Für noch höhere Frequenzen werden diese Unterschiede noch krasser. Es ist daher verständlich, dass das Bestreben der Nachrichtentechniker und -planer aller Länder dahin geht, zu immer höheren Frequenzen aufzurücken.

### Die verschiedenen Nachrichtenübertragungssysteme

Zunächst bediente man sich der Zweidrahtleitungen, die heute nur noch selten und für kleine Übertragungsstrecken Anwendung finden. Sie wurden durch neue moderne Systeme abgelöst:

#### Die Koaxialkabel

Ihre Verwendung bleibt jedoch auf nicht zu hohe Frequenzbereiche beschränkt. In höheren Bereichen (GHz)—(=  $10^9$  Hz) sind sie kaum mehr einsetzbar, weil die mit steigender Frequenz notwendige Homogenität des Kabels immer schwerer realisierbar wird und sich ausserdem Reflexionen einstellen, die zum sog. Long-line-Effekt und damit zu Nebensprechen führen. Ausserdem nimmt die Dämpfung eines Koaxialkabels mit steigender Frequenz schliesslich untragbar hohe Werte an; so beträgt beispielsweise die Dämpfung eines 8/24 Kabels bei 1 GHz etwa 50 db/km, die bei 5 GHz auf über 100 db/km ansteigt. Man kann aber die Dämpfung nicht etwa durch Vergrösserung des Kabeldurchmessers herabsetzen, da man diesen mit steigender Frequenz verkleinern muss. Diese Eigenschaft des Koaxialkabels führt dazu, dass man es allgemein nur bis maximal 2,5 GHz einsetzen kann. Für höhere Frequenzen verwendet man besser Hohlleiter oder in Sonderfällen Eindrahtleitungen.

#### Eindrahtleitungen

Leistungen dieser Art sind in jüngster Zeit unter der Bezeichnung Harms-Goubau-Leitungen verschiedentlich über kurze und weitere Strecken versucht worden. Es handelt sich dabei um eine Eindrahtleitung, die sich durch besonders geringe Verluste auszeichnet. Sie ähnelt einem vollisolierten Koaxialkabel, nur mit dem Unterschied, dass dessen Aussenleiter fehlt. Es besteht lediglich aus einem Innenleiter mit einer dicken Isolierschicht (meist Polyäthylen). Damit wird erreicht, dass der grösste Teil der fortzuleitenden Welle im Raum um den Leiter gesammelt wird. Die Isolationschicht kann aber aus Dämpfungs- und Kostengründen nicht beliebig dick gemacht werden, man muss einen Kompromiss schliessen und kommt so auf annehmbare Grössen. In Deutschland liefern beispielsweise die Kathreinwerke Rosenheim die Ausführungen G 1,7/4,7 (1,7 mm  $\phi$  des Cu-Innenleiters, 4,7 mm  $\phi$  der Vollisolation) mit einer Dämpfung von 8 db/km; eine etwas grössere und teurere Type G 4/10 weist dann nur 5 db/km auf. Bei der ersteren benötigt man etwa alle 6—8 km einen Leitungsverstärker, bei der letzteren alle 10—12 km. Genügend Sorgfalt ist den Einrichtungen zu schenken, die den Übergang zwischen Koaxialzuführungsleitung und G-Leitung bilden (Bild 1). Man fand, dass das einfachste Transformationsglied ein Metalltrichter ist (Bild 2), dessen Dämpfung, je nach Ausführung bei etwa 0,3 — 1 db liegt. Er stellt nichts anderes dar, als eine Fortsetzung der Koaxialleitung, auf die er aufgesetzt wird, bei der der Durchmesser und damit der Wellenwiderstand stetig wachsen, so dass sich schliesslich die im Bild 2 dargestellte Feldfiguration ergibt. Man kommt so auf Trichterabmessungen von  $\phi = 0,8$  (bzw. 1,5) m bei einer Länge von 1,2 (bzw. 3) m. Um die zusätzliche Dämpfung durch Gegenstände innerhalb des sog. Grenzradius<sup>1</sup> herabzusetzen, wird die G-Leitung mittels Kunststoffseilen an Holzmasten aufgehängt (Bild 3), wobei sich auch mehrere Leitungen an einem Masten anbringen lassen; im allgemeinen geht man nicht über Knickwinkel von 20°, um Verluste zu vermeiden. In den USA werden G-Leitungen schon seit einigen Jahren verwendet. Man verlegte sie hier bereits über Hunderte von km, um fernentlegene Teilnehmer mit schlechten Empfangsverhältnissen mit Fernsehempfang zu versorgen. Der wesentliche Vorteil einer G-Leitung gegenüber einer Koaxialleitung ist ihre geringe Dämpfung und damit eine beträchtliche Ersparnis an Leitungsverstärkern; ferner ihr breites Frequenzband, sie kann vom Meterwellen- bis zum cm-Wellenbereich eingesetzt werden. Nachteilig ist ihre Witterungsab-

<sup>1</sup> Der Grenzradius stellt ein Mass für die Feldverteilung und -verdichtung um den Leiter dar; er wird, als Kompromiss, zwischen 0,3 bis 1 m gewählt.

Offizielles Organ des Eidg. Verbandes der Übermittlungstruppen (EVU) und der Vereinigung Schweiz. Feldtelegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere. Organe officiel de l'Association fédérale des Troupes de Transmission et de l'Association suisse des Officiers et Sous-officiers du Télégraphe de campagne. Redaktion: Erwin Schöni, Mürgelistrasse 6, 4528 Zuchwil, Telephon (065) 2 23 14. Postcheckkonto der Redaktion: 80-15666. Druck und Administration: Fabag, Fachschriften-Verlag und Buchdruckerei AG, Zürich. Erscheint am Anfang des Monates. Abonnementsbestellungen sind an die Redaktion zu richten.



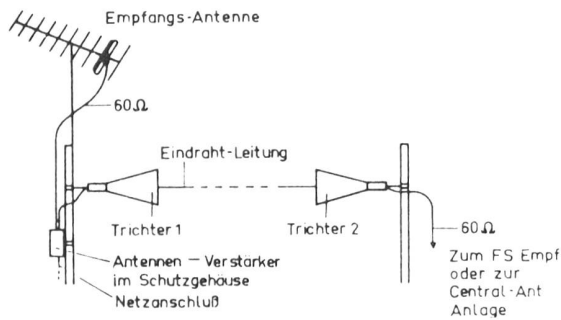


Abb. 1 Aufbauschema einer Goubauleitung (nach Kathrein).

hängigkeit. In Deutschland wurde die G-Leitung bereits von Rohde & Schwarz speziell für Fernsehzubringerleitungen anstelle von Koaxialkabel oder Richtstrahlverbindungen mit Erfolg eingesetzt.

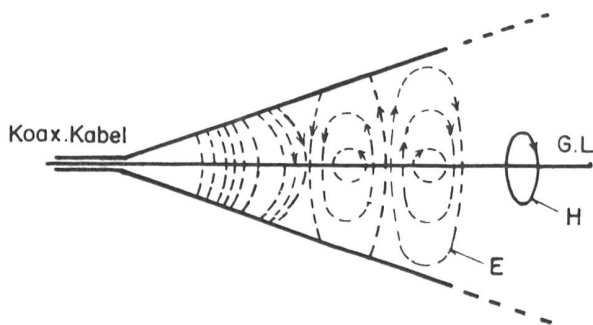


Abb. 2 Metalltrichter zur Anpassung einer Goubauleitung (G.L.) an ein Koaxialkabel. E = elektrische Feldlinien, H = magnetische Feldlinien.

### Hohlrohrleitungen

Auf Grund ihrer vorzüglichen Übertragungseigenschaften im Höchstfrequenzgebiet kommt den Hohlleitern eine ausserordentliche Bedeutung im cm- und mm-Wellengebiet zu. Es soll hier nicht weiter auf ihre Theorie eingegangen werden, sondern nur kurz erwähnt, dass man vorzugsweise Hohlleiter mit rundem oder rechteckigem Querschnitt (Bild 4) verwendet.

Sie sind dünnwandig und aus gutleitendem Metall, meist Cu oder Cu-versilbert oder vergoldet, ausgeführt. Die Fortleitung der elektromagnetischen Wellen erfolgt hier ähnlich wie bei der Ausbreitung der Rundfunkwellen im Raum, der aber hier von der Hohlleiterwand begrenzt ist. Der Hauptunterschied zwischen Hohlleiterwellen und Raumwellen liegt darin, dass durch die elektrisch gut leitenden Wände die Wellen zusammengehalten und entlang der Achse des Hohlleiters geführt werden (Bild 5). Hieraus resultiert die Möglichkeit, sie für die Nachrichtenübertragung, bis zu grossen Leistungen, ohne Verlust durch Energieabstrahlung, zu verwenden. Die Ausbreitung erklärt man sich mit ebenen Wellen, die sich zwischen Boden und Decke wie in einer Zweiplattenleitung fortpflanzen und die an den beiden Seitenwänden reflektiert werden. Bei der Ausbreitung erfährt die ebene Welle Verluste, einmal durch

Ströme, die in den Wänden induziert werden, zum andern durch Reflektionen an den Seitenwänden. Erstere wachsen durch Stromverdrängung mit der Frequenz, die letzteren nehmen mit ihr ab (Bild 6). Beim Hohlleiter kommt es darauf an, seine Abmessungen so zu wählen, dass sich nur eine einzige Betriebswellenlänge ausbreitet. Eine Welle kann sich überhaupt erst dann bilden, wenn die Betriebswellenlänge kleiner ist als die sog. «Grenzwellenlänge», bei der die Welle eine unendlich grosse Dämpfung erfährt. In Bild 7 sind die Dämpfungsverhältnisse in Funktion der Frequenz für verschiedene

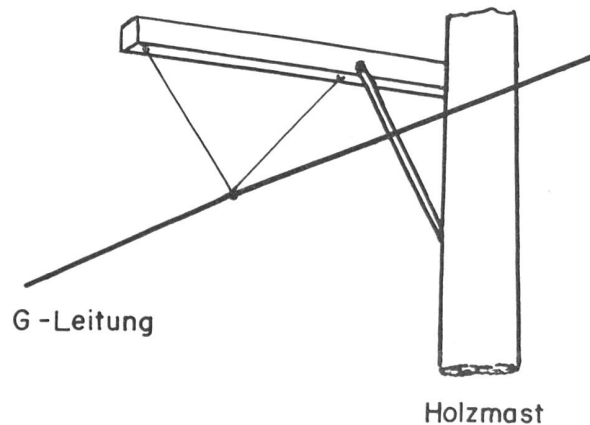


Abb. 3 G-Leitung wie sie beispielsweise für Fernsehübertragung im Band III verwendet wurde. Der Mastabstand beträgt hierbei 150 m. Die G-Leitung wird mittels Kunststoffseil im notwendigen Abstand von 0,6 m von dem Holzmast gehalten. Das Kabel hat einen Durchmesser von 10 mm.

Wellentypen (und für einen Hohlleiter bestimmter Abmessungen) dargestellt. Wie man daraus ersieht, beträgt im runden Hohlleiter die Grenzfrequenz für die  $H_{11}$ -Welle<sup>1</sup> etwa 2 GHz — für den Rechteckleiter liegt diese für die sich bei ihm ausbildende  $H_{10}$ -Welle bei etwa 1,7 GHz. Diese Grenzwellenlängen sind vom Hohlleiterquerschnittsprofil abhängig und weisen für die verschiedenen in einem Hohlleitertyp existenzfähigen Moden verschiedene Werte auf. Nur Wellen, welche kleiner als diese Grenzwellenlängen sind, sind im betreffenden Hohlleiter existenzfähig. Da man keineswegs daran interessiert ist, mehrere Wellenmoden gleichzeitig zu erhalten, wählt man die Querschnittsabmessungen des Hohlleiters so, dass nur ein einziger Wellenmode ausbreitungsfähig ist und alle anderen weggedämpft werden. So wird dafür gesorgt, dass im Rechteckrohrleiter nur die  $H_{10}$ - und im runden Leiter nur die  $H_{11}$ -Welle angeregt und fortgeleitet wird, wodurch, wie aus Bild 6 hervorgeht, alle rechts von der Grenzwellenlänge liegenden anderen möglichen Moden so stark gedämpft werden, dass sie nicht ausbreitungsfähig sind. Diese beiden Moden sind so stabil, dass man sie mittels geeigneter Rohrkrümmer auch im Bogen verlegen kann, ohne dass eine wesentliche Dämpfung auftritt.

<sup>1</sup> Die verschiedenen Wellentypen oder «Moden», deren es eine grosse Zahl gibt, werden mit bestimmten Indexzahlen gekennzeichnet, in ähnlicher Weise, wie man beispielsweise höhere Harmonische unterscheidet.



Abb. 4 Rechteckhohlleiter mit Flansch (Philips).

Um einen Begriff von den in Frage stehenden Querschnittsabmessungen zu geben, seien diese für 2 Wellenbereiche angeführt.

Wellenlänge $\lambda$	Frequenz $f$	Aussenabmessungen	Grenzwellenlänge $\lambda_{gr}$ der $H_{10}$ -Welle
17,7—11,5 cm	1,7— 2,6 GHz	113×58,7 mm	21,8 cm
1,67—1,13 cm	18—26,5 GHz	12,7×6,35 mm	2,135 cm

$\lambda$  = Betriebswellenlänge, die im Rechteckhohlrohrleiter mit den angegebenen Abmessungen ausbreitungsfähig ist.

Noch eine interessante Tatsache offenbart Bild 6. Man erkennt, dass bei sämtlichen Wellenarten, mit Ausnahme einer einzigen, im runden Leiter auftretenden Welle vom  $H_{01}$ -mode, die Dämpfung, nach Durchlaufen eines Minimums, mit zunehmender Frequenz allmählich ansteigt. Da ausserdem durch

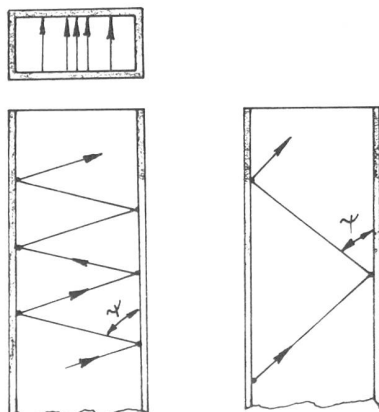


Abb. 5 Wellenfiguration im Rechteckleiter. Links die Wellenausbreitung nahe der Grenzfrequenz, rechts bei hohen Frequenzen. Eine ebene Welle passt gerade dann in den Rechteckhohlleiter, wenn sie nach 2 Reflexionen an den Seitenwänden wieder in sich selbst übergeht. Mit steigender Frequenz wird der Winkel  $\psi$  immer kleiner.

Inhomogenitäten, Querschnittsveränderungen und Krümmungen weitere Wellenmoden und damit Leitungsverluste entstehen können, ist es im allgemeinen ökonomisch nicht möglich, Hohlleiter über grössere Entfernungen als 100—200 m zu verwenden. Daher liegt ihr Hauptanwendungsgebiet nicht in der Fortleitung von Signalen über grosse Entfernungen, sondern in Fernzubringerstrecken, in Radarsendern als Verbindung zum Strahler sowie in der Richtfunktechnik, die ihrerseits dann zur Weitverkehrsnachrichtenübermittlung eingesetzt wird. Während sich nach neuestem Stand der Technik über ein Kabel mit 8 Koaxialleitungen, bei voller Belegung, gleichzeitig 10 800 Gespräche in einem Übertragungsband von 0,3—12 MHz (bei 4,5 MHz Verstärkerabstand) führen lassen, ermöglicht es die Breitband-Richtfunktechnik in jedem radiofrequenten Kanal 960 Gesprächskanäle unterzubringen; es sind aber bereits Systeme mit 1800 Sprechkreisen in Betrieb und die Tendenz besteht, diese Zahl noch beträchtlich zu erhöhen. Acht hochfrequente Kanalpaare können somit 14 400 Sprechkreise bewältigen!

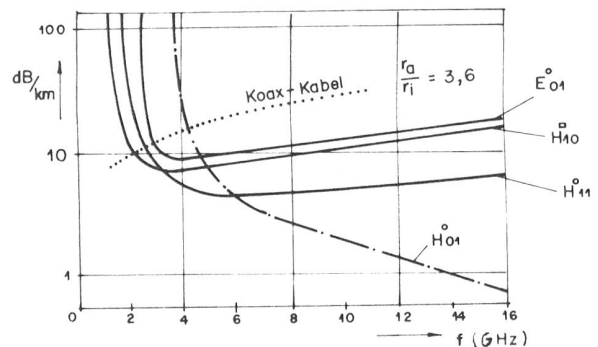


Abb. 6 Dämpfung (in db/km) in Funktion der Frequenz ( $f$ , in GHz) für verschiedene Wellenmoden im runden Hohlleiter  $\bigcirc$  ( $\phi = 10$  cm) bzw. im Rechteckleiter  $\square$  gleichen Umfangs; zum Vergleich sind noch die Verhältnisse im Koaxialkabel ähnlicher Grösse aufgetragen.

Neue Pläne gehen dahin, Satelliten als Zwischenstationen für Richtfunk zur Nachrichtenübertragung über weite Strecken und Ozeane einzusetzen. Die ideale Lösung werden die Synchronsatelliten bringen, welche in 36 000 m Höhe synchron mit der Erde umlaufen und daher stets über dem gleichen Punkt der Erde (Sender/Empfänger) unverändert stehen. Drei dieser Satelliten werden genügen, um die gesamte Erde mit Nachrichtendienst und Fernsehprogrammen zu versorgen.

#### Der Wellenrohrhohlleiter

Für die Fortleitung von Nachrichten auf Höchstfrequenzen über weite Entfernungen eignet sich weder der Rechteckhohlleiter noch der runde mit dem Standard-Wellenmode  $H_{11}$ , da dieser, auf grosse Entfernungen gerechnet, eine viel zu hohe Dämpfung ergeben würde, die um so mehr zunimmt, zu je höheren Frequenzen man übergeht. Die Nachrichtenfachleute befassen sich jedoch schon seit einiger Zeit mit der Ausarbeitung eines der modernsten Verfahren zur Nachrichtenübermittlung mittels runder Hohlleiter im Millimeterwellengebiet unter Verwendung der  $H_{01}$ -Welle (Bild 6 und 7), die infolge ihrer äusserst niedrigen Dämpfung bei kürzeren Wellen die

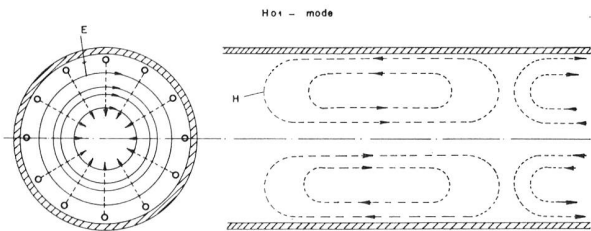


Abb. 7  $H_{01}$ -Welle im runden Hohlleiter, mit eingezeichneten elektrischen Feldlinien (E) und magnetischen Feldlinien (H). Wie man sieht, sind die E-Linien konzentrische Kreise um die Achse, welche die Wand nicht berühren, daher die geringe Dämpfung. Die Welle wird gewissermassen wie ein Richtstrahl im Innern des Rohres geführt.

besten Aussichten bietet, dämpfungsarme Nachrichtensysteme über grosse Entfernungen einmal realisieren zu können. Von Vorteil ist dabei, dass sich auch die Übertragung der Energie in den Hohlleiter sehr einfach gestaltet. Ein Mikrowellensender strahlt die modulierte elektromagnetische Welle unmittelbar als  $H_{01}$ -Welle in den runden Hohlleiter ein, an dessen anderem Ende sich dann der Empfänger befindet, der die Welle verstärkt (oder eventuell noch in einen weiteren Hohlleiter und Endverstärker weitersendet), der dann die demodulierte Nachricht ans Fernsprechnetzt weitergibt. Bekanntlich können Richtfunkstrecken lediglich bis zu Frequenzen von 10–15 GHz eingesetzt werden, weil oberhalb dieser Grenze bereits Störungen und starke Dämpfung durch die Atmosphäre die Ausbreitung der kurzen Welle empfindlich stören. Aber gerade an den hohen Frequenzen ist man interessiert, weil sich, wie eingangs dargelegt, nur in den

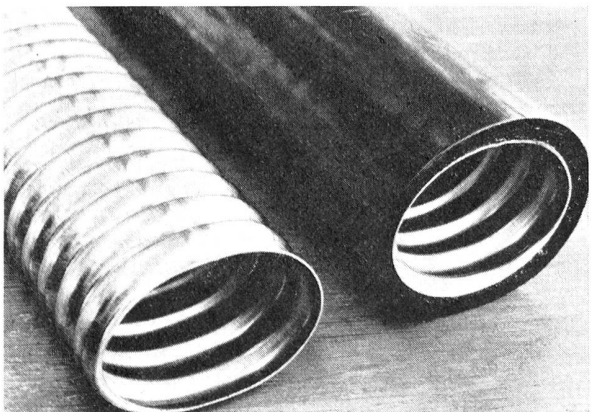


Abb. 8 Wellenrohrleiter (Flexwell). Neues Telefunkenmodell für den Aufbau von beweglichen Richtfunkstationen im cm-Wellengebiet (Telefunkenbild).

höheren Frequenzbereichen die gewünschten hohen Bandbreiten unterbringen lassen. Hier kann der Wellenrohrhohlleiter mit der  $H_{01}$ -Welle in die Bresche springen. Denn dieser hat ja die günstige Eigenschaft, dass einerseits seine Dämpfung mit wachsender Frequenz abnimmt (um schliesslich für  $\lambda \approx 0$  ebenfalls Null zu werden) und andererseits die Absorption durch die Atmosphäre wegfällt. Daher kommt der Übertragung mit der  $H_{01}$ -Welle hohe technische Bedeutung zu.

Bei einem Rohr-Durchmesser von 5 cm und 20 GHz Übertragungsfrequenz, beträgt die Dämpfung nur ca. 0,5 N/km; bei 50 GHz sogar nur 0,134 N/km. Über ein solches Kabel ist es möglich, sehr grosse Kanalzahlen mit bis zu 30 000 (man spricht schon von 100 000) Gesprächen zu übermitteln, das sind zehnmal mehr als mit einer 8-Koaxialkabeltube. Man rechnet damit, dass der Verstärkerabstand etwa 30 km betragen kann.

Eine grosse Schwierigkeit ist aber noch zu bewältigen und diese liegt darin, dass die  $H_{01}$ -Welle äusserst empfindlich auf kleinste Abweichungen des Hohlleiters von der Geraden ist. Die geringsten Krümmungen führen bereits zur Bildung von unerwünschten Wellenmoden ( $H_{11}$ ,  $H_{21}$ ,  $E_{01}$ ), die eine erhöhte Dämpfung bringen und ausserdem stören. Um diese Schwierigkeiten zu überbrücken sind verschiedene Lösungen im Versuchsstadium:

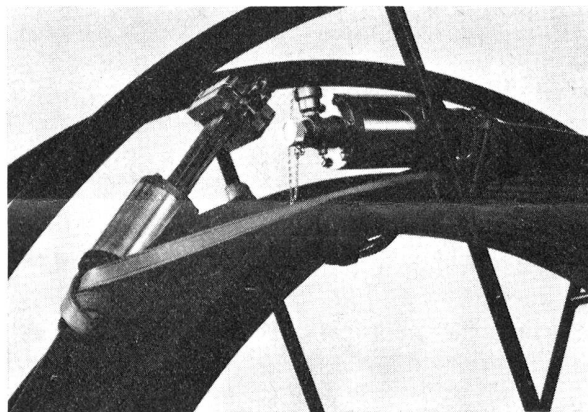


Abb. 9 Flexwell-Hohlleiter auf einer Trommel aufgerollt für mobilen Einsatz (Telefunkenbild).

- der Hohlleiter mit dielektrischem Belag, der die Funktion hat, die Nebenwellen stark zu dämpfen, während er die  $H_{01}$ -Welle fast ungehemmt passieren lässt. Mit diesem Leiter sind sogar leichte Krümmungen zulässig;
- es wurden auch Hohlleiter mit scheibenförmigem Dielektrikum versucht, bei denen die Dielektrizitätskonstante von innen nach aussen abnimmt und so eine einheitliche  $H_{01}$ -Welle herstellt;
- es sind auch noch verschiedene andere Projekte wie Wendelhohlleiter oder solche mit prismatischen Einsatzdielektrika versucht worden, doch würde es zu weit führen, über diese, noch weit von ihrer Realisierung entfernten Versuche zu berichten. Ernst zu nehmen sind dagegen die Versuche verschiedener japanischer Firmen im mm-Wellengebiet;
- eine neue deutsche Entwicklung stellt der Wellenhohlleiter (Bild 8) dar, der in Gemeinschaftsarbeit von den Firmen Hackethal und Telefunken entwickelt wurde. Er besteht aus einem schraubenförmig gewellten Kupferrohr mit ovalem Querschnitt, der die Umwandlung der  $H_{01}$ -Welle in die  $E_{11}$ -Welle stark vermindert, so dass er auch in Krümmungen verlegt werden kann. Zweifellos ist diese Lösung für Weistreckenübertragung aussichtsreich. Vorderhand erprobt ihn Telefunken im cm-Wellengebiet unter der Bezeichnung «Flexwell-Hohlleiter» als Ersatz für starre Hohlleitersysteme mit vielen Krümmern. Der Flexwell-Hohlleiter lässt sich wie ein

Rasch sichere  
Verbindung mit

# SE 18



Das Kleinfunkgerät SE 18 der Autophon ist leicht, handlich, leistungsfähig. Es wiegt nur 2,6 kg. Es ist nur 19,8 cm breit, 16,6 cm hoch und 5,5 cm dick: etwa halb so gross wie ein Telefonbuch.

Die Reichweite beträgt in offenem Gelände bis 20 km, im Innern von Ortschaften oder in hügeligem Terrain noch gute 3 km.

Der Nickel-Cadmium Akkumulator liefert Strom für 110 Stunden reine Empfangszeit oder 25 Betriebsstunden mit 10% Sendezeit. Er kann leicht und beliebig oft aufgeladen werden.

SE 18 Kleinfunkgerät

Ausführungen mit 1...4 oder 1...6 Kanälen; eingerichtet für Wechselsprechen oder bedingtes Gegensprechen. Auf Wunsch Prospekte oder Vorführungen.

**AUTOPHON**

Zürich: Lerchenstrasse 18, Telefon 051/27 44 55  
Basel: Peter-Merian-Str. 54, Telefon 061/348585  
Bern: Belpstrasse 14, Telefon 031/2 61 66  
St. Gallen: Schützengasse 2, Telefon 071/233533  
Fabrik in Solothurn

Kabel auftrommeln und bei der Verlegung ebenso behandeln wie ein Koaxialkabel (Bild 9). Er ist so dimensioniert, dass er eine für ein Richtfunkgerät und die Übertragung ausreichende Anpassungsqualität besitzt und nicht mehr Verluste bringt wie ein üblicher, fester rechteckiger Hohlleiter.

Durch den elliptischen Querschnitt wird verhindert, dass sich eine Welle mit einem parallel zur Achse stehenden elliptischen Vektor ausbilden kann, weil ihre Wellenlänge dann oberhalb der Grenzwellenlänge liegt. Für den 7-GHz-Bereich beträgt beispielsweise die grosse Achse 32,4 mm, die kleine 22,6 mm. Damit wird eine eindeutige Polarisierung längs des Hohlleiters gewährleistet und das Auftreten von Querpolarisation verhindert. Inzwischen ist es auch gelungen, den Hohlleiter mit

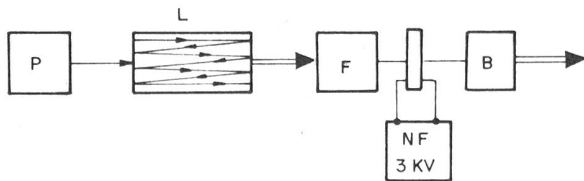


Abb. 10 Prinzip eines Lichtfrequenz-Nachrichtensenders. P = anregendes «Pumplicht» hoher Impulsenergie, das zur «induzierten Emission» von Photonen im Rubin führt. L = Laser-Rubin, zugleich Resonator (an beiden Enden verspiegelt), so dass die Photonen mehrmals, sich dauernd dabei verstärkend, hin- und herpendeln, bevor sie als kohärentes Lichtbündel einer diskreten Frequenz (z. B. 6943 Å) austreten. F = Polarisator. D = Piezo-keramische Glasplatte, die von einem Signalgenerator (NF) im Takte der Modulation erregt wird. NF = Signalgenerator. B = Analysator. Polarisiertes, durch D geschicktes Licht kann in seiner Amplitude moduliert werden.

entsprechenden, wenig reflektierenden Flächen zu versehen, an die Übergänge auf Rechteckhohlleiter oder Koaxialkabel in einfacher Weise angeschlossen werden können. Die Entwicklung geht zu kürzeren Wellen hin weiter. Höhere Frequenzen führen nämlich zu einer wesentlichen Verkleinerung der Abmessungen und Verringerung der Kosten/km Leitungslänge.

Ohne Zweifel bietet der Hohlrohr-Rundleiter entsprechender Formgebung neue Möglichkeiten der Nachrichtenübertragung auf weite Entfernungen. Die günstigen Dämpfungseigenschaften des  $H_{01}$ -Wellenmodes wie auch die in mm-Wellengebiet sich bietenden Möglichkeiten der Unterbringung grosser Bandbreiten von  $> 100$  GHz lassen erwarten, dass derartige Nachrichtenübertragungssysteme schon in einigen Jahren zur Verfügung stehen werden.

### Optische Nachrichtenübertragung

Seit einigen Jahren befassen sich die Techniker in aller Welt, voran in den USA, mit dem Problem, das Licht zur Nachrichtenübertragung heranzuziehen. Dies ist deswegen so verlockend, weil sich in diesem Gebiet höchstmöglicher Frequenzen Hunderte Millionen von Fernspreckanälen unterbringen lassen würden. Das gewöhnliche Licht ist zur Nachrichtenübertragung ungeeignet, da es ein inkohärentes Signal darstellt, ähnlich Wellen in einem Teich, in den man eine Hand-

voll Sand geworfen hat. Solche Signale sind nicht periodisch, ihre Amplituden klingen sofort ab. Dieses Verhalten ist in der Quantentheorie (Photonenemission) begründet, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. Es sei nur betont, dass ein Lichtspektrum nicht wie ein solches von einem Nachrichtensender aus einer einzigen Spektrallinie, sondern aus einem breit streuenden Spektrum der verschiedensten Form besteht. Ein solches unregelmässig zusammengesetztes Wellenbündel lässt sich natürlich nicht modulieren.

Erst über die Maser- und Laser-Technik gelang es, kohärentes Licht auf einer einzigen spezifischen Frequenz zu erzeugen. Dieser Prozess beruht im Grunde auf einer phasenrichtigen Emission von Energiequanten (Photonen) und ihrer Verstärkung in einem speziellen Lichtresonator, so dass hieraus ein äusserst energiereicher, gebündelter kohärenter Lichtstrahl resultiert. Diese an sich komplizierten Zusammenhänge sollen an dieser Stelle nicht weiter behandelt werden, es sei nur erwähnt, dass es bestimmte Materialien gibt, wie synthetische gedopte Rubine oder bestimmte Calcium-Fluorverbindungen oder Gasgemische (Ne-He) und als neueste Entdeckung gewisse Halbleitermaterialien, mit welchen man kohärentes Licht (meist im Infrarotgebiet gelegen) zu erzeugen vermag. Laser-Strahlen lassen sich ausserordentlich gut und scharf (bis auf  $\frac{1}{2}^\circ$ ) bündeln. Wenn es einst gelingt, mit einfachen Mitteln diesen Strahl zu modulieren, so wäre damit ein neuer Träger für Millionen von Nachrichtenkanälen gewonnen. Leider erfährt ein Lichtstrahl in der Atmosphäre eine starke Dämpfung, so dass Laser-Licht hauptsächlich für Nachrichtenverbindungen mit Satelliten und in der Raumfahrt geeignet sein wird. Es sind verschiedentlich Versuche im Hinblick auf eine einfache und zweckmässige Modulationsmöglichkeit im Versuchsstadium, die beispielsweise auf magneto-optischem (Faraday-)Effekt mittels zweier gekreuzter Nicolprismen oder auf dem elektro-optischen (Kerr-)Effekt beruhen. Eine Firma versucht auch einen piezoelektrischen Modulator. In allen Fällen findet eine äussere Lichtamplitudenmodulation statt, wobei die Bandbreite einige MHz beträgt. Man versuchte auch eine innere Modulation, indem man durch ein elektrisches Feld die inneren Energieniveaus zu verschieben trachtet, wodurch indirekt eine Frequenzmodulation bewirkt wird. In allen Fällen muss noch das Problem der mechanischen Stabilität für die Plattform des Lasers für Sender und Empfänger gelöst werden, da schon eine Verschiebung des genau ausgerichteten Strahles um  $\frac{1}{2}^\circ$  genügt, um die Nachrichtenverbindung zu unterbrechen. Bild 10 zeigt das Prinzip eines zukünftigen Licht-Laser-Nachrichtensenders.

### Zu unserem Titelbild

**Der Funker — mit seinem Gerät die einzige Verbindung zu den rückwärtigen Stellen. Er allein ist dafür verantwortlich, dass dieses unsichtbare Band nicht abreisst. Wieviel Verantwortungsbewusstsein, Können und technisches Verständnis mit dieser Aufgabe verbunden ist, kann nur ermassen, der sich in ähnlichen Situationen schon bewähren musste.**