

# Die Goubau-Leitung

Autor(en): **Hübner, R.**

Objektyp: **Article**

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**

Band (Jahr): **37 (1959)**

Heft 10

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875471>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Die Goubau-Leitung

## 1. Einleitung

Die Übertragung hochfrequenter Wellen bis in den Mikrowellenbereich geschieht bekanntlich im wesentlichen über Koaxialkabel oder drahtlos durch Abstrahlung über Antennen durch den freien Raum.

Der Bedarf an Nachrichtenverbindungen ist in ständiger Zunahme begriffen. Schon das klassische, einfache Nachrichtenmittel, das Telephon, hat bereits eine Ausbreitung von über 100 Millionen Sprechstellen auf unserem Erdball zu verzeichnen und laut Statistik der letzten Jahre einen jährlichen Zuwachs von über 3 Millionen. Nicht nur die Anzahl der Nachrichtenverbindungen, auch der Anspruch an *Bandbreite* für die Nachrichtenübermittlung, wächst stetig. Allein für das Fernsehen benötigt man mindestens 5 MHz Kanalbreite. So ergab sich die Notwendigkeit, zum Nachrichtentransport auf Trägerfrequenzen im Mikrowellengebiet überzugehen.

Mikrowellen lassen sich bekanntlich leicht bündeln, so dass sich Sender und Antennen ohne grossen Aufwand bauen lassen. Derartige *Richtstrahlanlagen* (auch Richtverbindungen, Relaisstrecken oder Hertzsche Kabel genannt) vermitteln als Mikrowellenverbindungen über weite Distanzen drahtlosen Telephonverkehr. Bis zu 900 Telefongespräche können heute gleichzeitig auf einem einzigen Richtstrahl (und je nach System 300 bis 2700 über ein Koaxialkabel) über Länder hinweg geführt werden, wobei Sendeenergien von wenigen Watt genügen. Allerdings ist man gezwungen, Sende- und Empfangsantenne innerhalb «Sichtweite» aufzustellen, so dass Langstreckenübertragungen nur über «Relaisstationen» zu bewältigen sind. In den USA versucht man dieser Notwendigkeit durch sog. «*Scatter*», das ist Überhorizont-Übertragung, aus dem Weg zu gehen, wobei man aber sehr grosse Sendeenergien bis zu mehreren Kilowatt einsetzen muss. Dem weiteren Ausbau drahtloser Verbindungen sind jedoch durch die Zahl der verfügbaren Frequenzbänder Grenzen gesetzt, so dass man trotz der Zuflucht zu immer höherer Kanalzahl je Richtstrahl bald zur Umschau nach weiteren Übertragungsmöglichkeiten gezwungen sein wird, so beispielsweise Leitern entlang. Koaxiale Leitungen lassen sich aber mit vernünftigem Aufwand kaum mehr für Wellenlängen unter 10 cm einsetzen, da ihre Dämpfung mit zunehmender Frequenz enorm ansteigt.

Kürzere Wellen lassen sich besser in *Hohlleitern* transportieren. Die Abmessungen der Hohlleiter hängen von der zu übertragenden Wellenlänge ab. Während sie für  $\lambda > 10$  cm zu unhandliche Bauelemente darstellen, nehmen sie für kürzere Wellen recht brauchbare Dimensionen an (für  $\lambda = 7$  cm muss beispielsweise ein runder Hohlleiter einen Durchmesser von 5 cm haben).

Ihre Dämpfung für kurze Verbindungsstücke ist wohl vernachlässigbar, doch kommt man für Übertragungen über grössere Entfernungen von mehr als etwa 100 m auf so hohe Werte, dass ihre Verwendung nicht mehr lohnend wird. Zwar experimentiert man in den Vereinigten Staaten von Amerika und in England in den Standard Laboratories an einer Hohlleiterkonstruktion in Form einer Drahtspirale (als anodisch oxydierter Al-Draht mit Aralditüberzug), die den zirkularelektrischen Wellenmodus vom  $H_{01}$ -Typ mit sehr geringer Dämpfung über längere Strecken zu transportieren vermag; man ist jedoch noch im Versuchsstadium. Dieser  $H_{01}$ -Modus ist insofern interessant, als er eine mit wachsender Frequenz stetig abnehmende Dämpfung besitzt, ein in der Fernmeldetechnik einmaliges Phänomen (!). Man hofft damit, mittels Puls-Code-Modulation eine (theoretische) Kanalzahl von 100 000 Fernsprech- oder 200 Fernsehkanälen fernübertragen zu können.

Mehr Erfolg versprechen die kürzlich in den USA erprobten Möglichkeiten der Fortleitung über eine *Eindrahtleitung*, die mit einem Dielektrikum umgeben ist. Auf diese Möglichkeit war bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts von *F. Harms* und *G. Goubau* hingewiesen worden [1, 2, 3, 4, 5]. Die damit bereits erzielten Erfolge sind so ermutigend, dass diese noch wenig bekannte Leitungsart einer näheren Besprechung wert ist.

## 2. Die Eigenschaften der Eindrahtleitung

Bei allen Zweidraht- und Koaxialleitungen findet der Transport der hochfrequenten elektrischen Energie im elektromagnetischen Feld statt, das die beiden Leiter verknüpft. Die Leiter übernehmen dabei nur die Führung des Feldes. Die Übertragungseigenschaften werden durch die Feldfigurationen bestimmt, die von den Leiterabmessungen und dem Leitermaterial abhängen. Die elektrischen und magnetischen Feldlinien verlaufen dabei in Ebenen senkrecht zu den Leitern (Fig. 1a). Ein kleiner Teil der elektrischen Komponente wird aber ausserdem in Richtung der Leitung gebildet und verursacht Erwärmung und Energieverlust. Denkt man sich den Aussenleiterdurchmesser immer mehr vergrössert (Fig. 1b), so werden immer mehr Feldlinien, ohne den Aussenleiter zu berühren, umkehren und sich um den Innenleiter schliessen, sofern der Zwischenraum teilweise mit einem Dielektrikum ausgefüllt ist. Schliesslich wird der Strom im Aussenleiter Null werden und als reiner dielektrischer Strom zurückkehren. Der gänzliche Wegfall des äusseren Leiters führt schliesslich zur *isolierten Eindrahtleitung*, auch *Goubau-* oder kurz *G-Leitung* bzw. Surface Wave Transmission Line genannt.

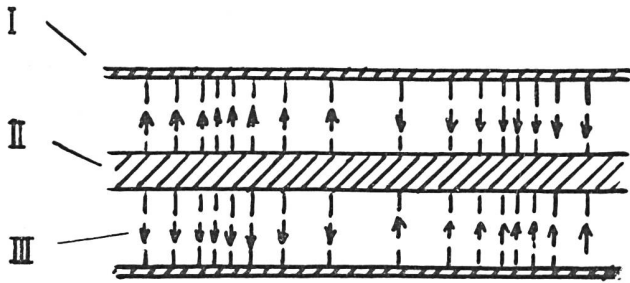


Fig. 1a. Koaxialkabel mit eingezeichneten elektrischen Feldlinien  
I = Aussenleiter, II = Innenleiter, III = Luft

Das elektrische Feld der G-Leitung ist zur Leiterachse rotationssymmetrisch, wobei die Felddichte mit wachsendem Abstand vom Leiter rasch abnimmt.

#### Aufbau, Grenzradius und Wellenwiderstand

Eine G-Leitung ist äusserst einfach aufgebaut. Äusserlich gleicht sie einem vollisolierten Koaxialkabel, nur mit dem Unterschied, dass dessen Aussenleiter fehlt. Sie besteht aus einem Einzelleiter aus Kupfer oder Bronze, den man zur weiteren Herabsetzung der Verluste eventuell versilbern könnte. In den USA wurden von der National Standard Company auch Versuche mit 5 % verkupferten Stahlleiter gemacht, der sich besonders preisgünstig stellen soll. Der Cu-Leiter ist mit einem Isolierstoffmantel (am besten eignet sich Polyäthylen) von bestimmtem Durchmesser umgeben (Fig. 2). Dieses Dielektrikum bewirkt, dass das Feld um den Draht bis auf einen kleinen Radius um ihn kontrahiert wird und – im Gegensatz zum nichtisolierten Leiter – nicht in den Raum abstrahlt, sondern sich in longitudinaler Richtung ausbreitet, so dass ein ausserordentlich geringer Energieverlust entsteht. Die Kontraktion wird um so stärker, je höher die Frequenz der zu übertragenden HF-Energie und je dicker der Isoliermantel im Verhältnis zum Leiter gemacht wird. Als charakteristische Kenngrösse für dieses Feld um den Leiter definiert man den sogenannten *Kritischen Grenzradius* ( $r_0$ ) [6] und versteht darunter den Radius jenes zylindrischen Raumes um die Drahtachse, der 90 % der übertragenen Feldenergie einschliesst. Innerhalb dieses Raumes dürfen sich dann keinerlei das Feld verändernde Fremdkörper (Leiter) befinden, da andernfalls störende Reflexionen und Verluste auftreten können. Bei der Verlegung der G-Leitung muss hierauf Rücksicht genommen werden, wie nachstehend noch ausgeführt wird. Der Grenzradius  $r_0$  errechnet sich (nach Faustformel) mit

$r_0 \approx 1/2 \cdot \lambda$ ; etwas genauer (aber auch näherungsweise) nach [7]

$$r_0 \approx r \lambda \frac{\epsilon}{(\epsilon-1) \cdot \ln \left( 1 + \frac{s}{r} \right)}, \text{ wobei}$$

$r$  = Leiterradius

$s$  = Dicke des Dielektrikums

$\epsilon$  = Dielektrizitätskonstante

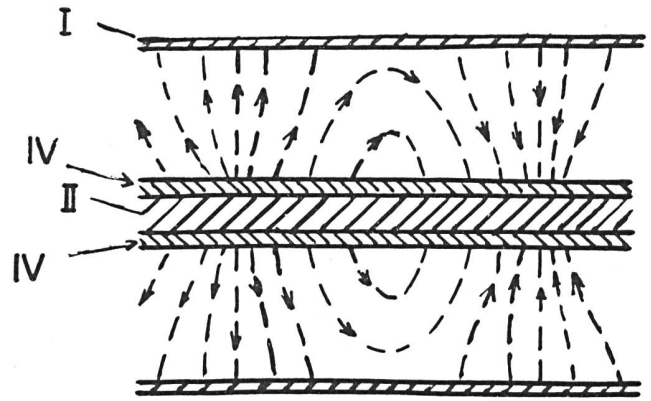


Fig. 1b. G-Leitung mit Feldlinien, aus dem Koaxialkabel abgeleitet  
IV = Dielektrische Umhüllung

Die Figur 3 vermittelt einen Begriff der Abhängigkeit von  $r_0$  von der Frequenz und den Leiterdimensionen. Zusätzlich ist noch die Funktion des Wellenwiderstandes eingezeichnet, der, wie man sieht, im Gegensatz zum Koaxialkabel, frequenzabhängig ist.

Für eine handelsübliche Ausführung (4/10 G-Leitung) [13] ergibt sich  $r_0$  mit 1,8 m bei 100 MHz, 0,7 m bei 200 MHz, 0,15 m bei 1000 MHz. Daraus folgt, dass die G-Leitung etwa von 150 MHz aufwärts für die Fortleitung von HF-Energie interessant wird, während für niedrigere Frequenzen der einzuhaltende Abstand ( $r_0$ ) von Masten und Leitern zu gross würde.

### 3. Die Dämpfung

Die Gesamtdämpfung einer G-Leitung setzt sich zusammen aus:

- Widerstandsverluste im Leiter und Querdämpfung durch dielektrische Verluste im Dielektrikum;
- Ankopplungsverluste;
- Verluste durch störende Gegenstände, die sich etwa innerhalb des Grenzradius befinden;
- Strahlungsverluste durch Knicke und Richtungsänderungen.

#### a) Die Leiterdämpfung

Durch Wahl eines grossen Grenzradius und grossen Leiterquerschnittes sowie verlustarmen Isoliermaterials lässt sich die Dämpfung klein halten. Wie aus Figur 3 ersichtlich, nimmt diese mit geringerer Frequenz und grösser werdendem Leitungsdurchmesser ab. Um die grosse Überlegenheit der G-Leitung gegen-

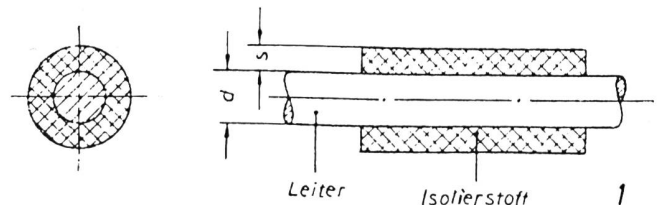


Fig. 2. Goubau-Leitung, mit Eindraht-Cu-Leiter  
 $d$  = Durchmesser des Leiters  
 $s$  = Dicke des Isolierstoffmantels

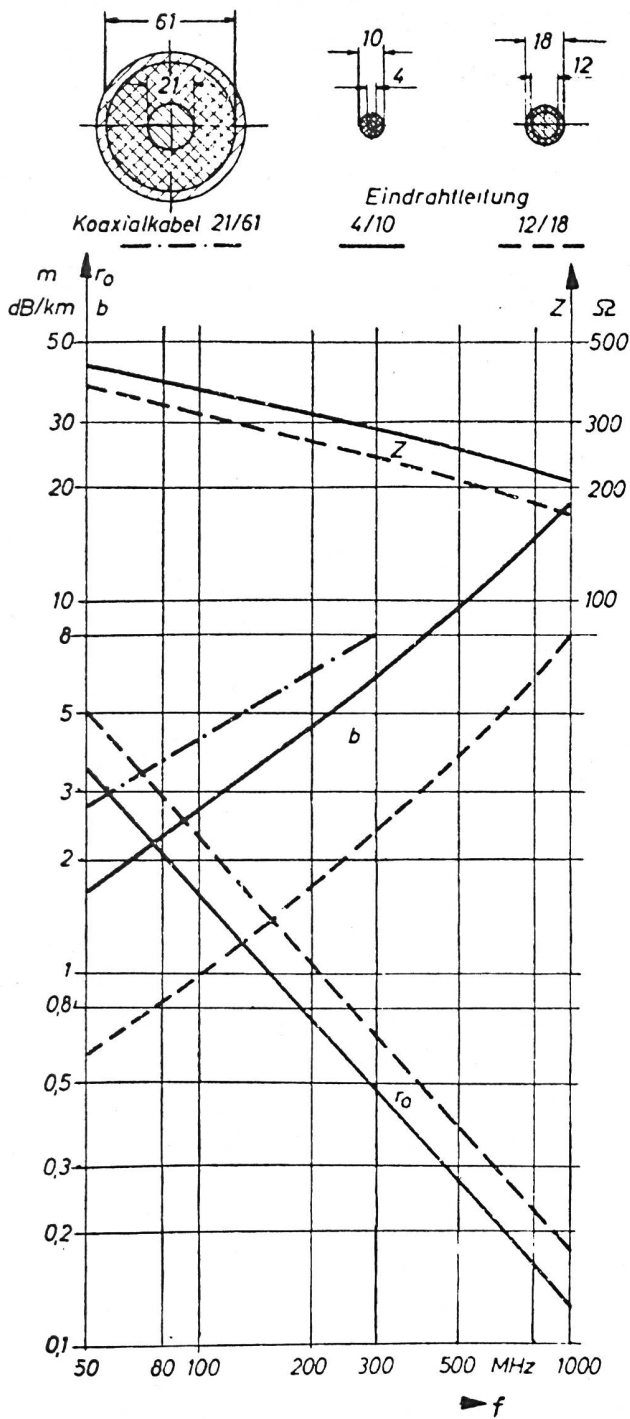


Fig. 3. Charakteristische Daten der Eindrath-Leitung  
Verhalten von Grenzradius  $r_0$ , Wellenwiderstand  $Z$ , Dämpfung  $b$ , in Funktion der Frequenz  $f$ , zweier G-Leitungen 4/10 und 12/18; zum Vergleich ist die Dämpfung eines Koaxialkabels 21/61 mit eingezeichnet, das aber trotz viel grösserer Dimensionen und daher höherer Kosten die günstigen Dämpfungswerte der um 1/6 kleineren G-Leitung nicht erreicht

über dem Koaxialkabel deutlich zu machen, seien einige gemessene Dämpfungswerte industriell gefertigter G-Leitungssorten einem Koaxialkabel der üblichen Ausführung gegenübergestellt:

#### Dämpfung je km Leitung

für 200 MHz ...	G-Leitung	1,7/ 4,7	$\approx$ 8 dB
	G-Leitung	4 /10	$\approx$ 5 dB
	G-Leitung	12 /18	$\approx$ 1,8 dB
	Koaxialkabel	2,3/10	$\approx$ 80 dB
für 1000 MHz ...	G-Leitung	4 /10	$\approx$ 18 dB
	G-Leitung	12 /18	$\approx$ 8 dB
	Koaxialkabel	RG 8 U	$\approx$ 300 dB
für 2000 MHz ...	G-Leitung	12 /18	$\approx$ 22 dB

#### b) Die Anregung der Eindrathleitung

Zur Ankopplung der G-Leitung über ein Koaxialkabel müssen Verbindungsglieder verwendet werden, die den Wellenwiderstand der Koaxialleitung von normalerweise 50 Ohm auf denjenigen der G-Leitung in der Grössenordnung von 300—400 Ohm reflexionsfrei transformieren. Die beste und einfachste Lösung bieten *Metalltrichter*. Ein solcher Trichter stellt eine Fortsetzung der Koaxialleitung dar, bei welcher der Manteldurchmesser und damit der Wellenwiderstand stetig anwachsen, so dass sich schliesslich die Feldfiguration einer G-Leitung ergibt (Fig. 4). Macht man die Trichteröffnung grösser als  $r_0$ , so fliesst am Rande

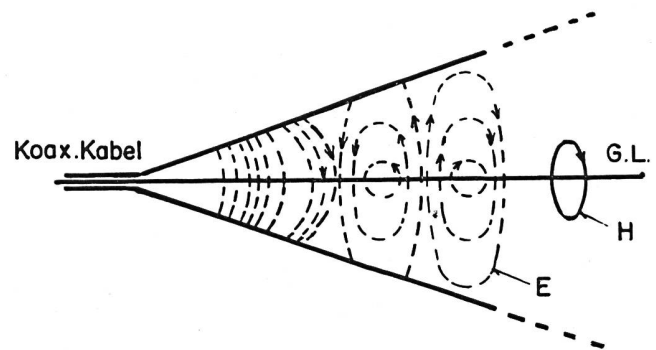


Fig. 4. Metalltrichter  
Zur Anpassung einer G-Leitung an ein Koaxialkabel, mit eingezeichneter Feldverteilung

der Öffnung kein Strom mehr, so dass man auf die Fortsetzung des Trichters überhaupt verzichten kann und nur den Innenleiter allein als Eindrathleitung fortführt. Dabei ergibt sich noch der Vorteil, dass man den Trichterrand erden kann. Man kommt mit relativ kleinen Abmessungen aus, beispielsweise bei 200 MHz 0,8 m Trichteröffnung und 1,2 m Trichterlänge. Die durch den Trichter hervorgerufene zusätzliche Dämpfung ist mit etwa 1 dB verhältnismässig gering.

#### c) Dämpfung durch Gegenstände innerhalb des Grenzradius

Die G-Leitung wird zweckmässig an Masten befestigt, wozu sich in vielen Fällen vorhandene Leitungsmaste der Post und Eisenbahn mit verwenden lassen. Die Art der Befestigung ist von der herkömmlichen dadurch verschieden, dass man der Forderung entsprechen muss, innerhalb  $r_0$  metallische Teile zu vermeiden. Dies führt zu Aufhängevorrichtungen aus Kunststoffseilen, die entweder, wie in amerikanischen

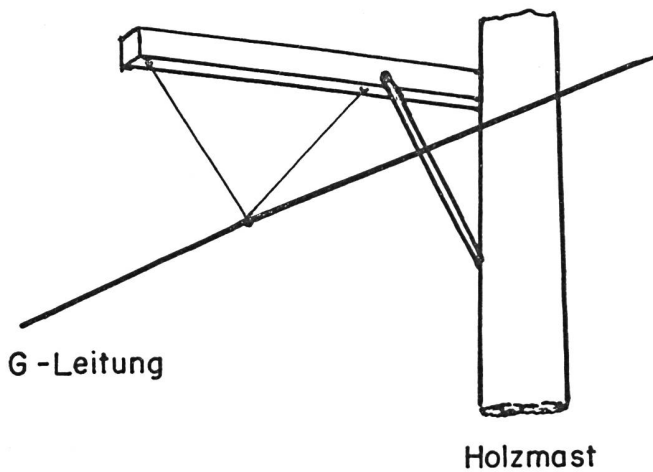


Fig. 5. Prinzip der Aufhängung der G-Leitung an Holzmasten mit V-förmig angeordneter Nylonschnur (nach Ausführung Helena, Mont. USA)

Anlagen, in V-Form ausgeführt (Fig. 5) oder einfach aufgehängt werden können (Fig. 6). Es lassen sich auch mehrere Leitungen an einem Mast anbringen.

d) Verluste durch Richtungsänderungen

Bei der Leitungsführung ist zu beachten, dass scharfe Knickwinkel von über 20° vermieden werden, da dies zu Reflexionsstörungen führt. Längere Leitungen werden aus Einzelstücken mit Kabelverbindern zusammengesetzt, die so gefertigt sind, dass sich dadurch keine zusätzlichen Verluste ergeben. Die Maste (keine Metallkonstruktionen) werden zweckmässig in 50 m Abstand gesetzt; in Gegenden mit rauhem Klima etwas näher.

4. Die Gesamtdämpfung eines G-Leitungssystems

Messungen, die in den USA bei Fort Monmouth an einer drei Kilometer langen G-Leitung (6/12) vorgenommen wurden, ergaben (nach Fig. 7) [12] beispielsweise für 200 MHz:

- Reine Leitungsverluste = 11 dB (ca. 3,7 dB/km)
- Ankopplungsverluste = 2 dB
- Verluste durch Richtungsänderung und Koaxialkabelzuführung = 3,5 dB
- Total der Verluste = 16,5 dB (ca. 5,5 dB/km)

Für längere Leitungen müssen dann, ebenso wie bei anderen Systemen, Leistungsverstärker eingeschaltet werden. Für die G-Leitung 4/10 (oder 6/12) sind beispielsweise bei 200 MHz etwa alle 8 km Zwischenverstärker mit 50...60 dB Gewinn (z. B. Kathrein 50 dB, 1,5 V Ausgangsspannung) vorzusehen. Die Verstärker bleiben dauernd eingeschaltet und können auch fernbedient werden. Während ein 12-cm-Koaxialkabel im 200-MHz-Band für eine Strecke von 180 km insgesamt 250...300 Verstärker benötigen würde, kommt man bei einer G-Leitung (4/10) mit nur 20 Verstärkern aus. Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich den gewaltigen Vorteil, den eine G-Leitung in bezug auf Dämpfungsverluste bringt. Besonders ins Gewicht fällt dabei noch ihre

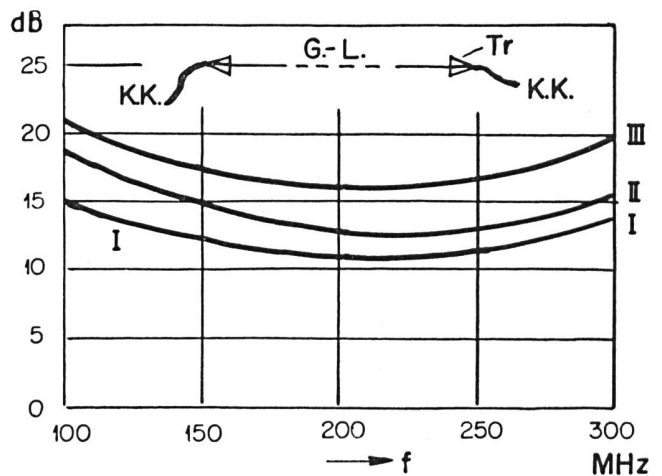


Fig. 7. Gemessene Verluste an einer G-Leitungs-Mikrowellenstrecke von 3 km Länge, über einen Frequenzbereich von 100 bis 300 MHz, Leitungstyp NO 4 G (0,5 "Ø)  
 I = Verluste der Leitung allein  
 II = Verluste Leitung und Trichter (Tr)  
 III = Totalverluste einschliesslich Trichter und kurzes Koaxialverbindungskabel (KK)  
 (aufgenommen vom US-Signal-Corps)



Fig. 6. Praktisch ausgeführte G-Leitungsstrecke als Fernzubringer, mit senkrechter Aufhängevorrichtung mittels Nylonschnur an Holzmasten (Photo Kathrein, Rosenheim)

hohe Wetterbeständigkeit, denn die Dämpfungsverluste werden durch Schnee, Frost und Regen nur wenig beeinflusst. Lediglich dicke Eisbelege können dämpfungserhöhend wirken. Durch die einfach anzuwendende elektrische Heizung der Leitung lassen sich diese aber leicht entfernen. Auch äussere Störungen, einschliesslich diejenigen von Autozündkerzen herrührend, haben keinen nennenswerten Einfluss, wie praktische Versuche in den USA erwiesen haben.

5. Die verschiedenen Ausführungsformen der Goubauleitung

In den USA wurden von der National Standard Company der Prodelin Inc. u. a. G-Leitungen in den

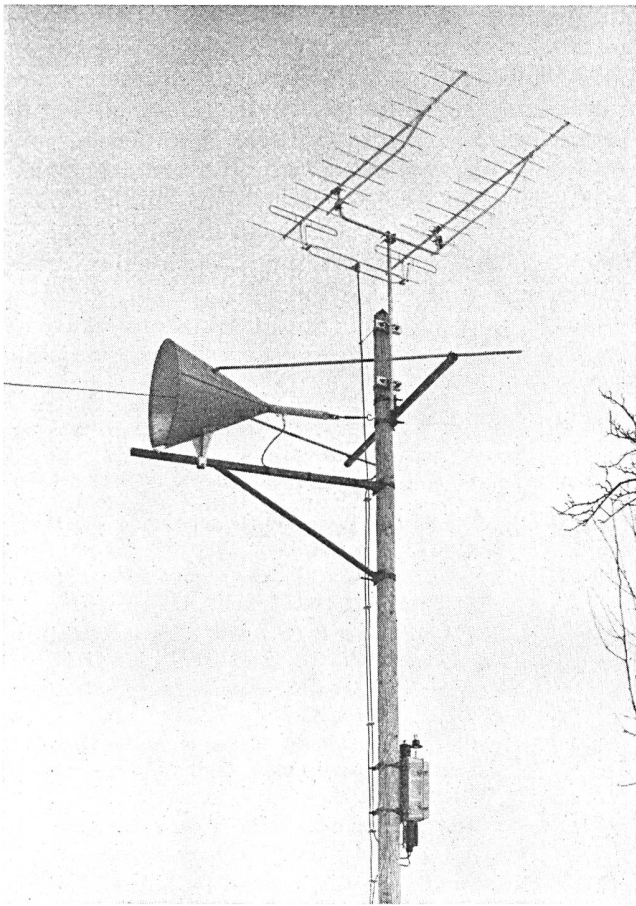


Fig. 8. Empfangsstation für eine Fernseh-Zubringerstrecke erstellt von den Kathrein-Werken, Rosenheim in Oberbayern (Beschreibung siehe Prinzipanordnung Fig. 9)

Abmessungen 0,3 inch Aussendurchmesser (Typ 8 G-Line); 0,4'' (Typ 6 G); 0,5'' (Typ 4 G) hergestellt. In Deutschland liefert *Kathrein*, Rosenheim, zwei Typen, nämlich 1,7/4,7 und 4/10.

Je grösser der Leitungsdurchmesser, umso geringer ist die Dämpfung und umso grösser kann daher auch der Abstand der Zwischenverstärker gewählt werden. Dadurch wachsen auch der durch den Grenzdurchmesser notwendige Mastabstand und natürlich auch die Kosten je Kilometer Leitungslänge. Es ist daher vor jeder Leitungserstellung die günstigste Kompromisslösung und der geeignetste Leitungstyp sorgfältig auszuwählen.

Es mag noch interessieren, dass in den USA Versuche hinsichtlich der Parallelführung mehrerer G-Leitungen am gleichen Mast angestellt wurden, und man versuchte auch, verschiedene Stromarten über den gleichen Leiter zu senden, so beispielsweise Gleichstrom, Wechselstrom 60 Hz oder NF-Träger und HF-Träger. Derart konnte man ein Breitband von 0...1000 MHz mit nur geringen Verlusten übertragen.

## 6. Anwendungen

Wegen ihrer kleinen Dämpfung und der geringen Kosten wird die G-Leitung in bestimmten Fällen mit

Feeder- und Koaxialkabeln, Hohlleitern und Hertz-schen Verbindungen erfolgreich konkurrieren können. Während sie in Europa erst in einigen Versuchsleitungen erstellt wurde [10, 11, 14], wird sie in den USA schon seit zwei bis drei Jahren, vor allem in *Fernsehzubringerstrecken* für Gemeinschaftsanlagen benutzt. Sie ermöglicht an ungünstig, im Bergschatten gelegenen Orten, guten Fernsehempfang. Eine an günstiger Empfangsstelle errichtete Antenne mit hohem Gewinn (von mindestens 10 dB) nimmt die Energie auf und leitet sie, allenfalls nach Verstärkung, dem Empfangsort über die G-Leitung zu (Fig. 8 und 9) [13], der viele Kilometer weit entfernt sein kann. In den USA hat man solche Leitungen schon bis zu mehreren Tausend Kilometer Länge gebaut [8, 9]. Ein kürzlich veröffentlichtes gigantisches Mikrowellen-G-Leitungsprojekt sieht die Versorgung weiter Gebiete mit Rundspruch und Television vor, wie Figur 10 zeigt [12]. Das «Helene-G-Liniensystem», das in den USA schon seit zwei Jahren in Betrieb steht, umfasst etwa 22 km Leitungslänge und kostete rund 1000 Dollar je Meile, während bei Verwendung von Koaxialkabeln die Kosten fünfmal höher gewesen wären. Man untersucht gegenwärtig Ausführungen mit verkupferten Stahlleitern, Verlegung auf vorhandene Masten usw.; ferner unter anderem Zusammenfassung mehrerer Leitungen. Man will damit die Kosten bis auf 600 Dollar je Meile senken. Die Helene-Leitung, die über 2000 m hohe Berge führt und ungünstigen klimatischen Verhältnissen ausgesetzt ist, versorgt gegenwärtig etwa 3000 Fernsehteilnehmer. Sie hat sich bis jetzt ausserordentlich gut bewährt. Sie ist in der Lage, entweder 10 Fernsehkanäle zu 6 MHz oder einige tausend Fernsprechanäle zu übertragen. Dabei liegt die Grenze für die übertragbare Leistung ausserordentlich hoch, da die entstehende verhältnismässig geringe Wärme un-

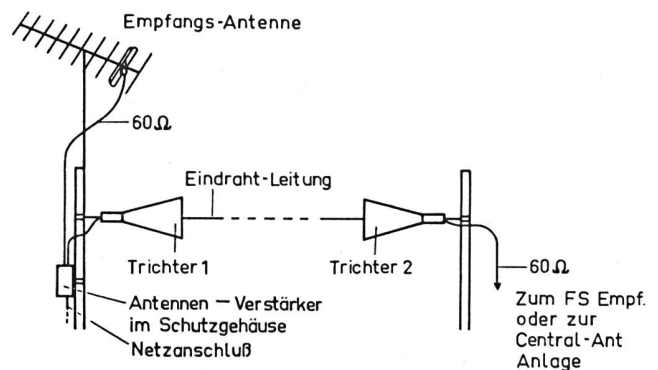


Fig. 9. Aufbauprinzip einer Goubau-Zubringerleitung für Fernsehband III  
TV-Signalaufnahme durch hochwertige, gut gelegene Mehrelemente-Empfangsantenne. Ein kurzes Koaxialkabel 60 Ohm führt zum Antennenverstärker (in Schutzgehäuse mit Netzanschluss). Von hier über ein 60-Ohm-Kabel zum Trichter 1 (der an die Eindrahtleitung anpasst) und über die G-Leitung zum Teilnehmer-Trichter 2, Verstärker und Koaxialzubringer zu den Teilnehmern oder besser zu einer Zentralanlage (wobei Trichter 2 die Rolle der Antenne bei einer üblichen Gemeinschaftsantennenanlage spielt) (Sämtliche Teile liefert die Firma Kathrein, Rosenheim (Oberbayern); in der Schweiz vertreten durch Werder & Schmid AG., Lenzburg)



Fig. 10. USA-Transkontinental-G-Leitungsprojekt (schwarz eingezeichnete Verbindungslinie)

mittelbar über den Leiter durch Strahlungskühlung abgeführt wird. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass man in den USA bereits versuchte, direkte Telefon-, Radio- und TV-Übertragung auf fahrende Züge oder Autos zu erreichen. Durch entsprechend gewählte Feldverteilung der G-Leitung ( $r_0 >$ ), lässt sich dieses Feld vom Fahrzeug aus mit einer geeigneten Antenne oder einem Stück G-Leitung «anzapfen».

### 7. Zusammenfassung

Die Eindrahtleitung mit Dielektrikum stellt ein neues Element in der Fortleitung von elektromagnetischen Wellen dar. Sie wird in erster Linie mithilfe, den Fernsehempfang überall dort zu verbessern oder überhaupt möglich zu machen, wo bisher ein solcher nicht zu erreichen war. Diese Fernsehzubringerstrecken werden ihrer geringen Dämpfung und relativ niedrigen Kosten wegen von etwa 250 m bis zu praktisch unbegrenzter Länge dem Koaxialkabel überlegen sein. Ihre Feldverteilung (Grenzradius) ge-

stattet deren Einsatz von etwa 150 MHz an; besonders im Band III (174...216 MHz) sowie im UHF-Band (470...585 MHz) wird sie interessante Anwendungsmöglichkeiten bieten. Unter 100 MHz dagegen wird sie wegen des schwer durchführbaren zu grossen Mastabstandes weniger in Frage kommen. Als Mikrowellenleitung verdient sie besonderes Interesse, da diese geeignet sein kann, manche Lücke für kommerzielle Funkdienste und Nachrichtenverbindungen von Post, Bahn und Polizei zu schliessen, wobei sie die vorhandenen Koaxialkabel und Richtstrahlverbindungen in vielen Fällen in einfacher Weise mit den notwendigen zusätzlichen Kanälen zu ergänzen in der Lage ist.

### Bibliographie

- [1] G. Goubau. The Surface Wave Transmission Line. *Electronics* **27** (1954), 180...184.
- [2] — The Surface Wave and their application. *J. of Applied Physics* **21** (1950), 1119...1128.
- [3] — Single Conductor Surface Wave Transmission Line. *Proc. Inst. Radio Engrs* **39** (1951), 619...623.
- [4] — The Surface Wave Transmission Line. *Electronics* **27** (1954), 180...184.
- [5] F. Harmes. Elektromagnetische Wellen an einem Draht mit isolierender zylindrischer Hülle. *Ann. Phys.* **23** (1907), 44...60.
- [6] H. Kaden. Grenzradius und Wellenwiderstand einer Eindrahtleitung. *A.E.Ü.* **5** (1951), 399...414.
- [7] G. Piefke. Zur Theorie der Harms-Goubau-Drahtwellenleitung bei Meterwellen. *A.E.Ü.* **9** (1955), 90.
- [8] F. D. Lucas. Cinderella. *Radio and Television News* **52** (1954), 47...90.
- [9] A. S. Taylor. Community TV Systems. Seventh Region Techn. Conference and Trade Show, Salt Lake City (Utah), 1956.
- [10] R. Greif. Die Anwendung der Oberflächenleitung. *Rohde und Schwarz Hausmitteilungen* **8** (1956), 48...58.
- [11] M. Lohr. Die Eindraht-Wellenleitung als Fernsehübertragungsstrecke. *Radio Mentor* **5** (1958), 298...301.
- [12] T. Hafner. A new transmission system for microwaves. *Electrical Engineering* (1959), 220...224.
- [13] Kathrein. Die Goubau-Leitung, Beschreibung und Aufbauanleitung. Druckschrift Kathrein-Werke, Rosenheim, S 28 (0559).
- [14] Rohde und Schwarz. Die Goubau-Leitung. *Funk-Technik* **17** (1959), 635.

Adresse des Verfassers: R. Hübner, Dipl.-El.Ing., Antoniusstr. 10, Wettingen.