

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe
Band:	27 (1949)
Heft:	2
Artikel:	Richtstrahl-Übertragungsversuche in den Alpen : Möglichkeiten einer Nord-Süd-Verbindung mit einer Höhenstation im Jungfraujochgebiet
Autor:	Klein, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-876378

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: 24.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGBEN VON DER SCHWEIZERISCHEN POST-, TELEGRAPHEN- UND TELEPHONVERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE/BOLLETTINO TECNICO

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES SUISSES

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DELLE POSTE, DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI

Richtstrahl-Übertragungsversuche in den Alpen

Möglichkeiten einer Nord-Süd-Verbindung mit einer Höhenstation im Jungfraujochgebiet

Von W. Klein, Bern

621.396.43.029.6

Wenn man daran denkt, ein schweizerisches Richtstrahlnetz für den Nachrichtenaustausch auf weite Sicht zu planen, so muss ein erstes Ziel zweifellos darin bestehen, ein Basisnetz für Mehrkanaltelephonie zu schaffen, das ermöglicht, unabhängig vom Fernkabel bzw. von der Fernleitung zu funktionieren. Dies will nun nicht heissen, dass eine weitere Aufgabe zu vernachlässigen wäre, nämlich die Koordinierung der drahtlosen Uebertragungssysteme mit den bestehenden Kabelträgersystemen, wobei den Richtstrahlverbindungen die Aufgabe zufällt, gegebene Trägerbündel einfach drahtlos weiterzutransportieren bzw. das Trägerkabel zeitweilig zu ersetzen oder zu ergänzen. Die grossen Linien einer solchen Zielsetzung sind bereits in einer früheren Veröffentlichung eingehend dargelegt und begründet worden¹⁾.

¹⁾ W. Gerber und F. Tank. Höhenstationen und Höhenverbindungen. Techn. Mitt." PTT 1947, Nr. 5, S. 177.

In diesem Rahmen betrachtet, kommt einer Richtstrahlverbindung über die Alpen in nord-südlicher Richtung eine grosse Bedeutung zu. Dies gilt nicht bloss mit Rücksicht auf den Anschluss des Tessins an die nördlich der Alpen gelegene Schweiz und eine vorübergehende Knappheit an Drahtverbindungen, sondern auch im Hinblick auf die Möglichkeit eines allfälligen internationalen Richtstrahlnetzes, sei es für die Uebermittlung von Telephonesprächen oder für einen Musik- und Fernseh-Programmaustausch im End- oder Transitverkehr. Die Schweiz ist infolge ihrer zentralen Lage und des Ausbaues ihrer Alpenverbindungen von jeher ein bedeutender Verkehrsknotenpunkt für den Güter- wie den Nachrichtenaustausch gewesen. Richtstrahltechnik und Uebertragungssysteme sind in den letzten Jahren allenthalben mächtig entwickelt worden, wodurch auch die Möglichkeit eines internationalen Richtstrahlnetzes heute in absehbare Nähe gerückt ist.

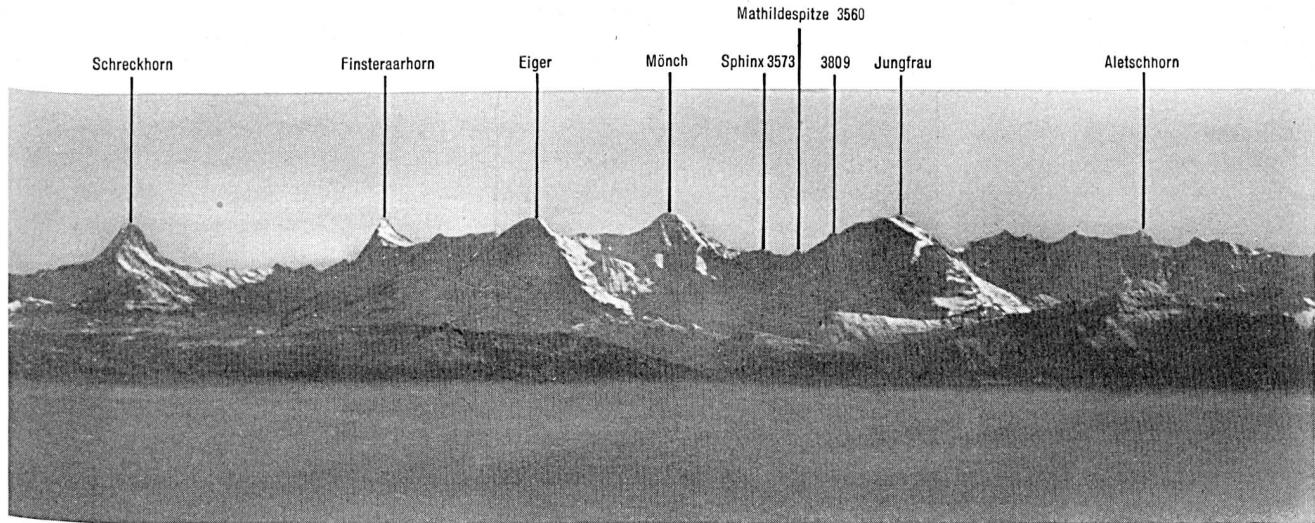


Fig. 1a. Jungfraujoch von der Höhenstation Chasseral aus gesehen (Entfernung rund 100 km)

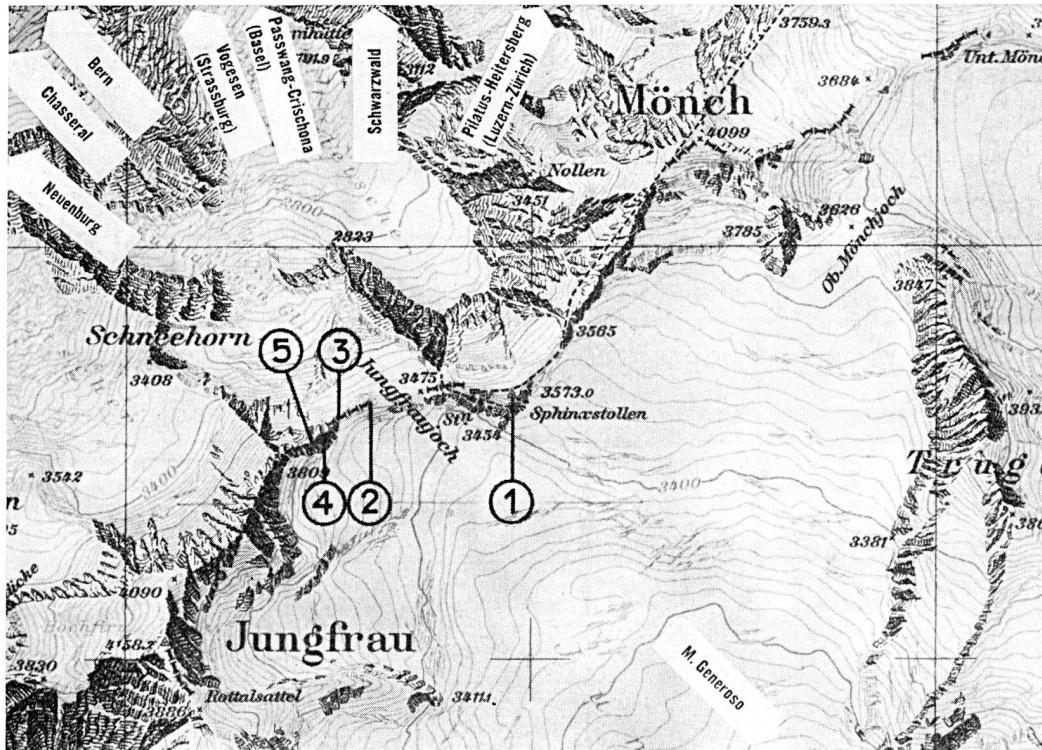


Fig. 1b.
Jungfraujoch in den Berner Alpen; Reproduktion aus der Landeskarte der Schweiz 1 : 50 000.

Die Nummern bezeichnen die in Betracht gezogenen Höhenstandorte, die Pfeile einige interessante Richtstrahl-Verbindungsmöglichkeiten

Aus allen diesen Ueberlegungen hat sich der Forschung die Aufgabe gestellt, zunächst eine technisch annehmbare Lösung für eine Richtstrahlverbindung über die Alpen zu suchen und die besonderen Uebertragungsbedingungen hinsichtlich der Wellenausbreitung, der Apparate-technik usw. zu studieren. Die im folgenden kurz dargelegten Untersuchungen waren ein erster Schritt in dieser Richtung.

1. Die Wahl der Höhenstandorte

Das Jungfraujoch ist infolge seiner einzigartigen Höhenlage und der praktisch während des ganzen Jahres sichergestellten Bahnverbindung und elektrischen Stromversorgung gewissermassen a priori ein für Höhenstationen interessanter Punkt. Nördlich der Alpen erstreckt sich die freie Sicht von hier aus über einen grossen Ausschnitt des schweizerischen Mittellandes vom Neuenburgersee bis gegen Zürich, auf die dahinter liegende Jurakette und darüber hinaus bis zu den Vogesen und zum Schwarzwald. Anlässlich von Uebertragungsversuchen mit 15-cm-Wellen zwischen dem Sphinx-Pavillon (3573 m) und der Höhenstation Chasseral im Winter 1946/47 konnte aus den Sichtverhältnissen festgestellt werden, dass auch die Möglichkeit besteht, vom Jungfraujoch aus, ohne weitere Zwischenstation, eine Richtstrahlverbindung mit der Alpensüdseite zu erstellen, indem von bestimmten Punkten dieses Gebietes aus optische Sicht mit dem Monte Generoso, am Südende des Lagonersees, bestehen musste. Der Monte Generoso bietet als hervorragender Aussichtsberg ähnliche interessante Aspekte in bezug auf

Richtstrahlverbindungen wie das Jungfraujoch. — Durch seine weit nach Süden vorgeschoene Lage beherrscht er sichtmässig, ausser der Gegend von Lugano, einen grossen Teil der Poebene und den nördlichen Apennin auf Entfernung von mehr als 200 Kilometern.

Optische Sicht zwischen den Fixpunkten einer Uebertragungsstrecke kann man bekanntlich in erster Näherung als Minimalbedingung für eine einwandfreie, universell verwendbare Richtstrahlverbindung betrachten. Daher eignet sich auch unser Land mit seinen zahlreichen, leicht zugänglichen Aussichtshöhen besonders gut für die Anwendung der Richtstrahltechnik.

Das Studium zahlreicher anderer Uebertragungswege in nord-südlicher Richtung über die Alpen, im besondern durch die Zentralschweiz, führte schliesslich immer mehr zu der Ueberzeugung, dass eine Verbindung mit dem Tessin über das Jungfraujoch unter den heutigen Gegebenheiten doch die besten Aussichten hat, indem anderweitige Lösungen sich stets als komplizierter erwiesen (mehr Relaisstationen und / oder weniger gute Zugänglichkeit). Dabei soll keineswegs verkannt werden, dass ein vollständiger Ueberblick bei der komplizierten Oberflächengestalt der Alpen schlechthin unmöglich ist.

Die Verbindungsstrecke Jungfraujoch—Monte Generoso stellte jedoch übertragungstechnisch einen Grenzfall dar, indem einerseits die bestehenden Gebäulichkeiten auf dem Jungfraujoch sich etwas unterhalb der Sichtgrenze des Monte Generoso befanden, und man anderseits aus leicht begreiflichen



Fig. 2.

Monte Generoso am Südende des Lugarnersees; Reproduktion aus der Landeskarte der Schweiz 1 : 50 000.

Die Nummern bezeichnen die in Betracht gezogenen Höhenstandorte, die Pfeile einige interessante Richtstrahl-Verbindungsmöglichkeiten

Gründen sich nicht weiter als notwendig von den vorhandenen Einrichtungen entfernen wollte. Es war daher Aufgabe praktischer Uebertragungsversuche, die möglichen Standorte, besonders auf dem Jungfraujoch, und die erforderlichen technischen Mittel für eine allfällige Mehrkanalverbindung in den grossen Zügen abzuklären. Sehr wesentlich war in diesem Zusammenhange zum Beispiel die Frage der geeigneten Wellenlänge (Beugung), die Beobachtung abnormaler Ausbreitungserscheinungen, die Verwendungsmöglichkeit künstlicher Sekundärstrahler (passive Relais), der Einfluss natürlicher Sekundärstrahler mit Rücksicht auf Laufzeitverzerrungen bei gewissen Mehrkanalsystemen und sodann natürlich auch eine möglichst genaue Erfassung der Sichtbeziehungen. Zur Frage der Wellenlänge ist allerdings zu bemerken, dass, mit Rücksicht auf die zukünftige Entwicklung der Richtstrahltechnik und die Möglichkeit der Fernsehübertragung, in erster Linie auf einen Wellenbereich von 5...20 cm abgestellt werden muss. Anderseits spielt aber die örtliche Lage einer allfälligen Relaisstation in dieser Höhe mit Rücksicht auf die Baukosten auch eine ausschlaggebende Rolle. So war es gegeben, die Versuche mindestens mit zwei um eine Grössenordnung verschiedenen Wellenlängen durchzuführen. Entsprechend den verfügbaren Apparaturen wurden die Messungen zwischen dem Jungfraujoch und dem Monte Generoso mit 15-cm- und 2-m-Wellen vorgenommen, während für die später errichtete Demonstrationsverbindung Chasseral—Jungfraujoch—Monte Generoso—Zentrale Lugano ein Armeegerät mit Wellenlängen um 90 cm benutzt wurde (Fig. 10).

2. Messapparate und übrige Ausrüstung

Die 15-cm-Messeinrichtung, hergestellt von der Firma AG. Brown Boveri & Cie., Baden/Aargau, bestand senderseitig aus einem impulsgetasteten Magnetron (einem sogenannten Turbator), wobei die Impulsfolge aus einem ungefähr 4 μ sec breiten Taktimpuls und einem ungefähr 1 μ sec breiten, in der Lage modulierbaren Kanalimpuls zusammengesetzt war (PTM). Die Impulsspitze entsprach einer Leistung von rund 30 Watt, die Speisung des Antennen-dipols im Brennpunkt des Parabolspiegels erfolgte über ein konzentrisches Kabel bekannter Dämpfung. Der Hauptstrahl des Spiegels war etwa auf einen Bereich von ± 7 Grad konzentriert. Empfängerseitig wurde das Signal über die übliche Kristalldiode mit Hilfe einer Turbatorschwingung auf eine Zwischenfrequenz umgesetzt und nach geeigneter Verstärkung über eine automatisch dem Signalpegel nachlaufende Spannungsschwelle gleichgerichtet. Die Höhe dieser zwischenfrequenten Spannungsschwelle diente, in Verbindung mit einem geeichten Verstärkungsregler, als Messwert für die Empfangsspannung. Ein Kathodenstrahlrohr erlaubte die dauernde Beobachtung der Impulse. Die Messwerte wurden auf eine Uebertragungsstrecke mit guter optischer Sicht bezogen, von der angenommen werden konnte, dass die Ausbreitungsverhältnisse annähernd gleich der freien Raumausbreitung wären (Bezugsstrecke). Für die 15-cm-Anlage war dies die Strecke Uetliberg—Baden bzw. Chasseral—Bern/Schönberg. An die absolute Genauigkeit der Messungen dürfen somit keine zu grossen Anforderungen gestellt werden. Die relative Konstanz der Anzeige war dagegen sehr gut,

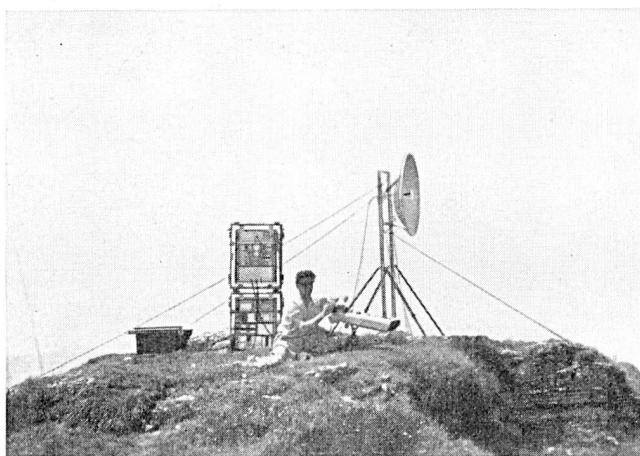


Fig. 3. Sender der 15-cm-Impulsanlage auf dem Monte Generoso, in der Nähe des Hauptgipfels; Parabolspiegel nach dem Jungfraujoch gerichtet

so lange Sender und Empfänger dauernd überwacht werden konnten, wie verschiedene Kontrollen gezeigt haben.

Der 2-m-Sender war ein abgeändertes, amplitudenmoduliertes Flugzeuggerät amerikanischer Herkunft mit einer Winkelreflektor-Antenne (sogenannter corner-reflector), bei der die Dipolspannung kontrolliert werden konnte. Diese Winkelreflektor-Antennen weisen ein ziemlich breites Strahlungsdiagramm auf (etwa $\pm 45^\circ$) und sind auch nicht rückstrahlungsfrei. Ein Zusatzgerät erlaubte den Sender mit 3000-Hertz-Impulsen von ungefähr 4 μ sec Breite zu tasten. Leider war aber die Impulsleistung für die Untersuchung



Fig. 4. Oberste Terrasse der Sphinx, gegen die Jungfrau gesehen; zuoberst Winkelreflektor-Antenne für den 2-m-Empfänger. Mitte rechts: Empfangsantenne für 1-m-Feldstärke-Registrierung des Chasseral-Senders

von allenfalls störenden Geländerefexionen etwas gering. Empfängerseitig wurde ein Feldstärkemessgerät der *Measurements Corporation Boonton* verwendet, das mit einer Rauschdiode dauernd nachgeeicht werden konnte. Es wurde auch hier auf der Strecke Gurten—Weissenstein eine Feldstärke-Benutzungsmessung durchgeführt, die gut mit der Annahme freier Ausbreitung übereinstimmte. Für die Impulsbeobachtungen diente ein besonderer Empfänger von etwas grösserer Bandbreite in Verbindung mit einem Kathodenstrahlzosiloskop.

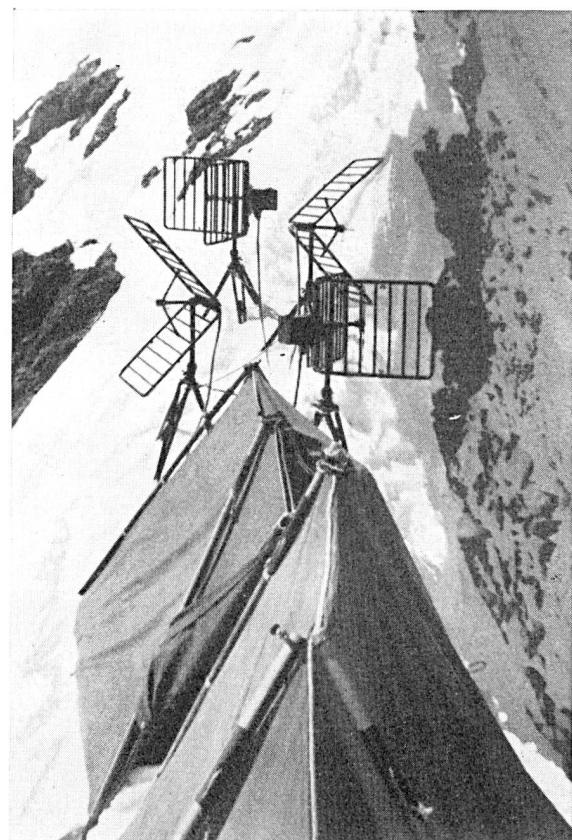


Fig. 5. Die Relaisstation Jungfraujoch der versuchswise erstellten Dezimeterwellen-Richtstrahlverbindung Chasseral—Lugano, auf der Nordostrippe der Jungfrau in 3650 m ü. M. (Standort 4). Die Winkelreflektor-Antennen sind nach dem Monte Generoso bzw. Chasseral gerichtet, die TLD-Stationen befinden sich in den beiden Zelten

Die für einen praktischen Uebertragungsversuch zwischen dem Chasseral und Lugano eingesetzten transportablen Dezimeterwellengeräte SET 11/2 (TLD) waren frequenzmoduliert und ebenfalls mit Winkelreflektor-Antennen ausgerüstet²⁾. Als Empfangsindikator diente ein Begrenzerstrominstrument. Die Station wurde als Einkanal-Gegensprechverbindung verwendet, wobei am niederfrequenten Ende wahlweise Zwei- oder Vierdrahtbetrieb möglich war.

²⁾ R. Schüpbach. Das tragbare leichte Dezimetergerät für Militär-Richtstrahlverbindungen. Brown Boveri Mitt." 1946, Nr. 8, S. 178.

Zwei identische Sende- und Empfangsausrüstungen in Vierdrahtschaltung arbeiteten als Relaisstation, wobei das Signal im Relaisempfänger, gleich wie bei der Endstation, zunächst demoduliert und hierauf dem zugehörigen Relaisender neu aufmoduliert wurde

(Fig. 10). So ist das Mithören und Aufschalten in jeder Zwischenstation ohne weiteres möglich. Diese Dezimeterstation war nicht für die Durchführung eigentlicher Messungen geeignet und auch nicht dafür vorgesehen.

Tabelle 1.

	Impuls-Messanlage IM 1	Meterwellen-Messanlage	Tragbare Dezimeterstation SET 11/2 (TLD)
Wellenbereich	15 cm	2 m	84...91 cm
Antennenleistung (Mittel) ca.	2,5 W	2 W/0,1 W	2 W
Antenne	Dipol mit Parabolreflektor 1 m \varnothing	Dipol mit Winkelreflektor	Dipol mit Winkelreflektor
Leistungsbündelung der Antenne ca.	175	10	10
Modulationsart	PTM	AM/PM	FM
Modulationstiefe ca.	$\pm 10^{-6}$ sec	100%—	± 75 kHz
Empfängerbandbreite ca.	2,5 MHz	0,1 MHz/0,3 MHz	0,3 MHz
Nutzbare Reichweite bei freier Ausbreitung ca.	2000 km	3000 km/500 km	≤ 100 km

Die wichtigsten Daten der kurz beschriebenen Anlagen sind in der *Tabelle I* zusammengestellt. Die Geräte waren durchwegs ziemlich schwer und umfangreich, was besonders die Jungfraujoch-Equipe jeweils vor ein erhebliches Transportproblem stellte. Der 15-cm-Impulsemfänger mit dem dazugehörigen Gleichrichter wog zum Beispiel über 120 kg, Antenne, Registrierinstrument, Reservematerial und Stromquelle nicht mitgerechnet; das Gewicht einer kompletten TLD-Relaisstation, ohne Stromquelle und Reserve, betrug rund 230 Kilogramm.

Mit Rücksicht auf Dauerversuche wurde davon abgesehen, für die normale Speisung der Geräte Benzin-Generatoren zu verwenden. Sowohl auf dem Monte Generoso als auf dem Jungfraujoch sind die Hotelgebäulichkeiten und die Bahnstation mit Wechselstrom versorgt. Ein besonders widerstandsfähiges, doppeladeriges Neoprenkabel erlaubte es, nötigenfalls bis zu 1,5 km weit entfernte Versuchsstandorte mit dem lokalen Licht- und Kraftnetz zu verbinden, wobei zur Verminderung des Spannungsabfalles die Spannung über das Kabel durch Zwischentransformatoren erhöht werden konnte. Das Kabel war in Längen von je 100 m auf einfache Aluminiumblech-Trommeln aufgerollt und mit wasserdichten Steckern ausgerüstet. Es hat sich in der Folge ausserordentlich gut bewährt.

Wesentlich zu einer reibungslosen Abwicklung der Versuche während der beiden ersten Etappen beigetragen hat eine zwischen Jungfraujoch und Monte Generoso als Dienstverbindung benützte Kurzwellenapparatur sowie je zwei leichte batteriebetriebene Sende-Empfangsgeräte (Handie-Talkies), die für die

gegenseitige Verständigung der beiden Equipen gebraucht wurden. Zur weiteren Ausrüstung gehörten Fernrohr, Signalscheinwerfer und Gebirgsmaterial (Zelte, Seile, Haken usw.).

3. Die örtlichen Verhältnisse auf dem Monte Generoso und auf dem Jungfraujoch

Der Gipfelgrat des Monte Generoso fällt in nord-südlicher Richtung (quer zur Richtung Jungfraujoch) verhältnismässig sanft nach beiden Seiten ab (siehe Fig. 2). Ueber den südlichen Teil dieser Bergkante führt die Bahn hinauf bis zu den Hotelgebäulichkeiten, etwa 300 m vom Hauptgipfel entfernt. Hier endet auch die bestehende Wechselstromversorgung, die über eine Hochspannungsfreileitung erfolgt.

Die grösste Freiheit in bezug auf Höhenverbindungen würde natürlich der Hauptgipfel Punkt 1704



Fig. 6. Südkante des Monte Generoso, Hotel und Punkt 1619 (höchster sichtbarer Punkt) gegen das nördliche Piemont geschen (Richtung Turin)



Fig. 7. Jungfraujoch von Nordwesten (Flugaufnahme P. Jaquet, Bern)

(2) bieten. Die Landesgrenze verläuft aber hier direkt über die Gratlinie und Lugano ist der Sicht teilweise entzogen, so auch die uns hauptsächlich interessierende Telephonzentrale. Bei dem nur wenig niedrigeren Vorgipfel Punkt 1693 (1) ist ausserdem die Sicht gegen die Poebene durch den Hauptgipfel verdeckt. Demgegenüber ist der südliche Grat wesentlich interessanter (Fig. 6), schon deshalb, weil die beiden wichtigsten Sichthindernisse gegen das Jungfraujoch, der gegen den Aletschgletscher abfallende Grat des Kleinen Wannenhorns und die Südkante der Corona di Groppo in der Sonnenhornguppe, nach Süden hin niedriger werden. Bereits vom Hotel (3) aus hat man ungehinderte Sicht auf Lugano. Noch etwas günstiger gelegen ist der weiter nach Westen vorspringende Punkt 1619 (4). Der Horizont ist von dieser südlichen Kante aus unbehindert mit Ausnahme eines nordöstlichen Sektors (Richtung Engadin), was aber von geringerer Bedeutung ist. Die Voraussetzungen für die Zugänglichkeit und die Stromversorgung sind auf dem Monte Generoso jedenfalls denkbar gut, welcher Standort schliesslich auch gewählt werden sollte.

Weniger einfach ist die Lage auf dem Jungfraujoch (Fig. 1b, 7, 8). Entfernungen und Höhenunterschiede haben mit Rücksicht auf den hochalpinen Charakter der Gegend erheblich grössere Bedeutung, und es musste daher in erster Linie eine Lösung in direkter Anlehnung an die bestehenden Gebäulichkeiten und Einrichtungen gesucht werden. Leider hat die Ablklärung der Sichtverhältnisse und der Verlauf der vorgenommenen Messungen gezeigt, dass damit keine allgemein brauchbare Lösung möglich wäre.

Vom eigentlichen Joch aus, dessen tiefster Punkt, das sogenannte Gletscherplateau, 3475 m hoch liegt, schwingt sich der Grat einerseits in östlicher Richtung über den Hotelfelsen zur Sphinx (1) empor, mit einer Höhe von 3573 m, um von hier aus nach einem breiten Gletschersattel in den Südwestgrat des Mönchs überzugehen. Auf dieser Seite des Jochs befinden sich alle heute bestehenden Bauten (Eispalast, Berghaus, Bahnstation, Touristenhaus, Hochalpine Forschungsstation und Sphinx-Observatorium), die durch Laufstollen miteinander verbunden sind und über ein Hochspannungskabel der Jungfraubahn mit 40periodigem Wechselstrom versorgt werden. Die ganze Gratlinie Jungfraujoch—Mönch wird aber hauptsächlich durch den parallel laufenden Wannenhorngrat bis fast auf 4000 m Höhe vom Monte Generoso aus gesehen verdeckt (Fig. 12, 20).

Auf der andern Seite des Gletscherplateaus steigt der Grat zunächst westlich zur Mathildespitze (2) auf, mit einer Höhe von 3560 m, und geht nach einem schmalen Schneesattel in den Nordostgrat der Jungfrau über.

Die für die Uebertragungsversuche in Betracht gezogenen Höhenstandorte 1...5 (Fig. 8) sind in bezug auf die Sichtverhältnisse in der Richtung Mittelland etwa gleichwertig, mit Ausnahme des Sphinx-Observatoriums (1), von wo aus die Sicht gegen die Zentralschweiz und Zürich durch das Mönchsmassiv verdeckt wird. Die Mathildespitze erreicht man vom Berghaus weg nach Ueberquerung des Plateaus über einen zeitweilig verschneiten Felsgrat ohne Schwierigkeit. Die Spitze selbst ist noch vergletschert, wahrscheinlich auch die weiter zu den

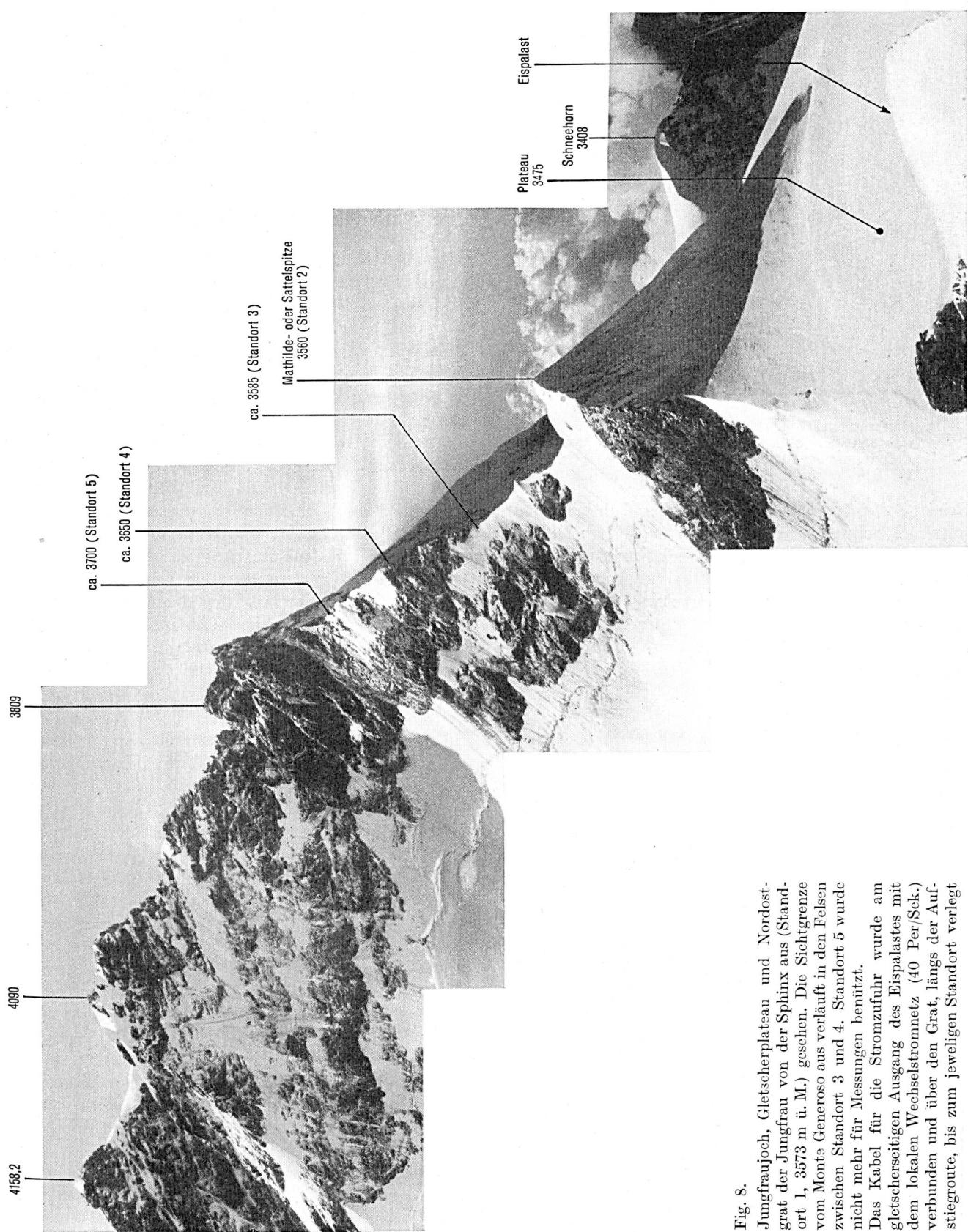


Fig. 8.
Jungfraujoch, Gletscherplateau und Nordostgrat der Jungfrau von der Sphinx aus (Standort 1, 3573 m ü. M.) gesehen. Die Sichtgrenze vom Monts Generoso aus verläuft in den Felsen zwischen Standort 3 und 4. Standort 5 wurde nicht mehr für Messungen benutzt. Das Kabel für die Stromzufuhr wurde am gletscherseitigen Ausgang des Eispalastes mit dem lokalen Wechselstromnetz (40 Per/Sek.) verbunden und über den Grat, längs der Aufstiegroute, bis zum jeweiligen Standort verlegt

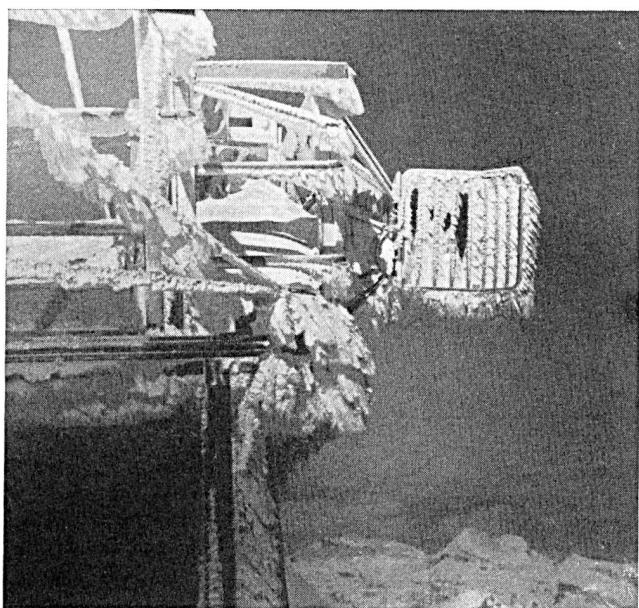


Fig. 9. Rauhreif und Treibschnne auf der Terrasse der Sphinx während der Uebertragungsversuche mit 2-m-Wellen. Aufnahme vom 10. Juli 1948, bei zeitweiliger Aufhellung. Im Hintergrund rechts unten das Schilthorn

Felsen des unteren Nordostgrates der Jungfrau überführende Schneeschneide. Auch der weitere Aufstieg bis zur Höhe 3700 (5) ist ohne schwere Lasten noch verhältnismässig leicht, jedoch bei ungünstigem Wetter (Neuschnee, vereiste Felsen) etwas heikel. Durch die starke Gegensteigung gegenüber dem Wannenhorngat gelangt man auf dieser Seite des Jochs ziemlich rasch in den Sichtbereich des Monte Generoso,

und zwar in einer Höhe von etwas über 3600 m, wie durch Fernrohrbeobachtung und mit Hilfe des von der Jungfraujochequipe mitgeführten elektrischen Scheinwerfers im späteren Verlauf der Versuche festgestellt werden konnte. Standort 4 liegt bereits über der Sichtgrenze, und Versuche auf dem noch höher gelegenen Standort 5 waren daher nicht mehr nötig. Der Bau einer eventuellen Höhenstation auf diesem Teile des Nordostgrates wäre etwa vergleichbar mit der Erstellung des Sphinx-Observatoriums.

4. Durchführung der Uebertragungsversuche

Die Uebertragungsversuche kamen in drei verschiedenen Etappen von je 1...2 Wochen Dauer in den Monaten Juni, Juli und August 1948 zur Durchführung. Die Wetterverhältnisse waren sehr unterschiedlich; während der Messungen mit der 15-cm-Welle im Juni anfangs sehr günstig. Gelegentliche ziemlich heftige lokale Gewitter führten kaum zu ernsthaften Störungen, es sei denn durch Stromunterbruch. Während eines heftigen Unwetters über der Kleinen Scheidegg (Mönch) traten auf der Mathildespitze starke Glimm- und Büschelentladungen auf, wobei auch ein Messinstrument defekt wurde. Die anhaltende Schlechtwetterperiode in den Alpen in den Monaten Juli und August hat dann aber die Arbeiten auf dem Jungfraujoch hauptsächlich während der Versuche mit der 2-m-Welle stark erschwert, insbesondere den Transport des Materials und die Verlegung des Speisekabels zum Standort 4. Neuschneefälle von 30...50 cm über Nacht waren

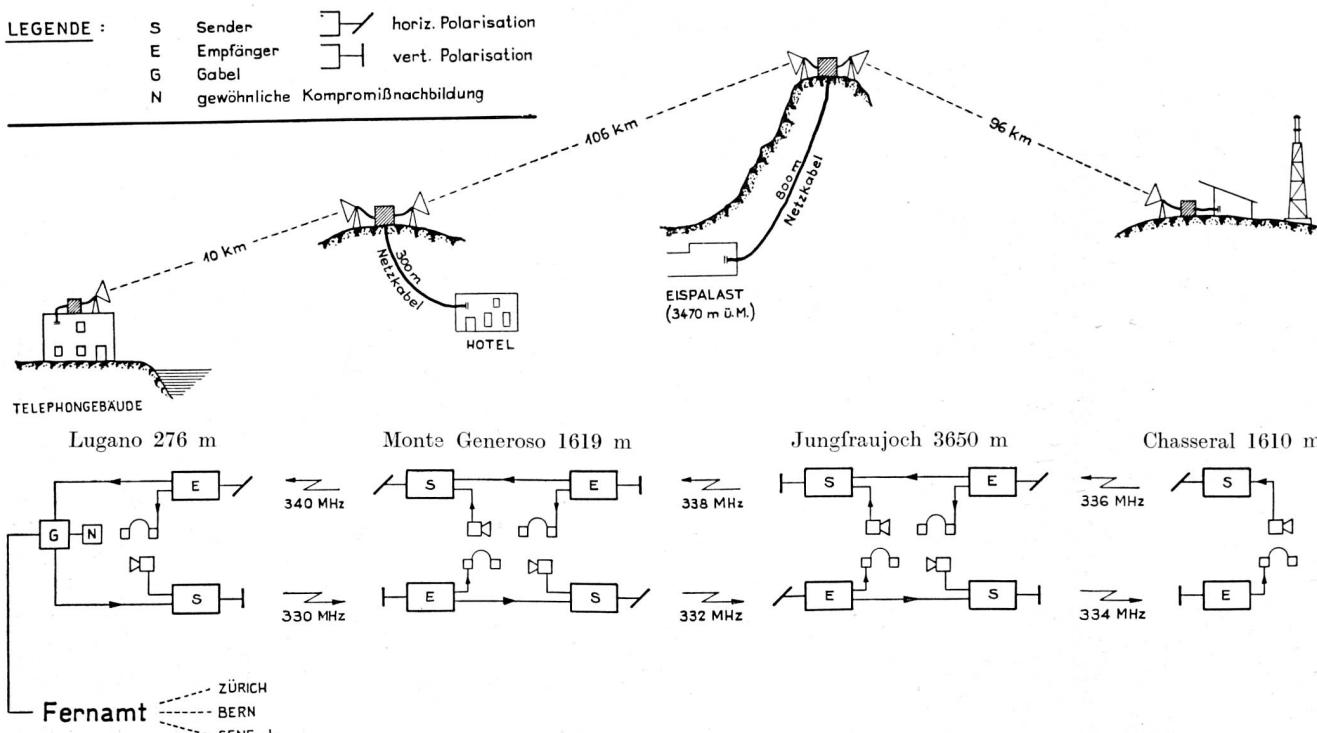


Fig. 10. Die versuchswise erstellte Dezimeterwellen-Richtstrahlverbindung zwischen der Höhenstation Chasseral und der Telephon-zentrale Lugano, wie sie am 26. August 1948 den Teilnehmern der PTT-Direktoren-Konferenz auf dem Chasseral vorgeführt wurde

nicht selten, an den Antennen setzten sich dicke Rauhreif- und Treibschneeschichten fest, und es wurden Windstärken bis zu etwa 100 km Stundengeschwindigkeit festgestellt, wobei auch Antennen-schäden eintraten. Weil die Entfernung von der Unterkunft aus aber doch verhältnismässig klein waren, konnten die beabsichtigten Messungen doch zum grössten Teil ausgeführt werden.

Den Abschluss dieser ersten Phase von Uebertragungsversuchen über die Alpen bildete die Erstellung einer temporären Richtstrahl-Telephonverbindung zwischen der Höhenstation Chasseral und der Telephonzentrale Lugano über je eine Relaisstation auf dem Jungfraujoch (Standort 4) und auf dem Monte Generoso (Standort 4). Dieses vermutlich erstmalige Hertz'sche Kabel mit dm-Wellen über die Alpen war zweidrahtseitig im Handbetrieb an die Telephonzentrale Lugano angeschlossen und konnte am 26. August 1948 auf dem Chasseral anlässlich der PTT-Direktorenkonferenz mit Erfolg vorgeführt werden.

Tabelle II. *Ungefähr mittlere Feldstärken Mte Generoso—Jungfraujoch in Prozent der freien Feldstärke E_0*

Standort	Mte Generoso →	(2) Hauptgipfel Pt 1704		(3) Hoteldach (bei Pt 1596)		(4) Pt 1619			(5) Pt 1560
		$\lambda = 2 \text{ m}$	15 cm	$\lambda = 2 \text{ m}$	15 cm	$\lambda = 2 \text{ m}$	90 cm	15 cm	$\lambda = 15 \text{ cm}$
→ Jungfraujoch									
(1) Sphinx Pt 3573		3	~ 4	3,5	< 1	10	—	~ 3	—
(2) Mathildespitze Pt 3560		—	10	28	8	—	~ 35	28	10
(3) Nordostgrat 3585 m		—	—	—	25	—	—	25	20
(4) Nordostgrat 3650 m		—	(100)	50	(100)	60	~ 90	(100)	(100)

Die mittleren Feldstärkewerte zeigen, dass für Richtstrahlverbindungen in den Alpen bei normaler Strahlenbrechung die Wellenbeugung für die Ausbreitung massgebend ist. Dieses Ergebnis entspricht auch der ursprünglichen Erwartung. Betrachtet man ein Streckenprofil Jungfraujoch—Monte Generoso (Fig. 11), so zeigt sich, dass längs des ganzen Uebertragungsweges ziemlich scharfkantige Gipfel und Bergrücken mit tief eingeschnittenen Tälern abwechseln, so dass eine wirksame Bodenreflexion offensichtlich kaum erwartet werden kann. Für Richtstrahlverbindungen, welche sich im allgemeinen nicht wesentlich über den optischen Horizont hinaus erstrecken können, sind diese Berggräte als beugende Kanten (Blenden) im Sinne der Optik zu betrachten. Man erhält in solchen Fällen in der Nähe der Sichtgrenze wesentlich höhere mittlere Feldstärken als im Flachlande, an der Sichtgrenze selbst theoretisch noch die halbe freie Feldstärke bei gerader Kante. So ergab die Messung zwischen Punkt 1619 Monte Generoso und Nordostgrat 3650 m auf dem Jungfraujoch mit der 2-m-Welle rund 60% der freien Feldstärke, während auf der heutigen Betriebsstrecke Chasseral—Zentrale Montblanc in Genf bei vergleichbarer Sichtüberhöhung ein 3...4mal kleinerer Mittelwert beob-

5. Untersuchungsergebnisse

a) Mittlere Feldstärken

Mit Rücksicht auf die Feststellung möglicher Reflexionen an den Bergen war der Empfänger der eigentlichen Messeinrichtung jeweils auf dem Jungfraujoch installiert. Bei ausreichender Empfangsspannung wurde die Feldstärke an den verschiedenen Standorten im Rahmen der verfügbaren Zeit mit einem Farbschreiber registriert, insbesondere über Nacht, so dass die meisten Mittelwerte in nachstehender *Tabelle II* sich auf eine Beobachtungsdauer von wenigstens einigen Stunden bis zu zwei Tagen stützen. Besonders eingehend wurde registriert mit der 2-m-Welle auf der Sphinx und mit der 15-cm-Welle auf der Mathildespitze. Eine Unterscheidung in horizontale und vertikale Wellenpolarisation erwies sich als überflüssig, indem das Ergebnis in allen Fällen praktisch dasselbe war. Sende- und Empfangsantennen waren dabei stets so aufgestellt, dass eine allfällige lokale Bodenreflexion nicht auftreten konnte.

achtet wird. Die Uebertragungsstrecke Chasseral—Genf führt über relativ flaches Zwischengelände; der Einfluss der Bodenreflexion äussert sich hier bei Meterwellen in einer beträchtlichen Feldschwächung.

Die Wellenbeugung an einer geraden absorbierenden

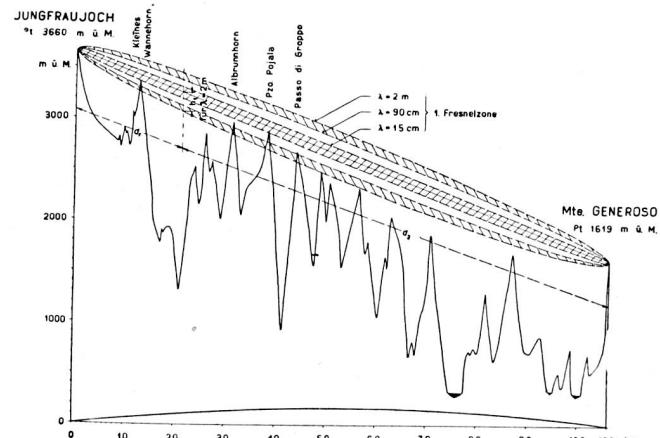


Fig. 11. Geländeprofil Jungfraujoch Nordostgrat (3660 m ü. M.)—Monte Generoso, Punkt 1619
Die angedeuteten Ellipsen stellen den Schnitt durch die 1. Fresnelzone bei den bezeichneten Wellenlängen dar und ermöglichen eine Abschätzung des Beugungsfeldes

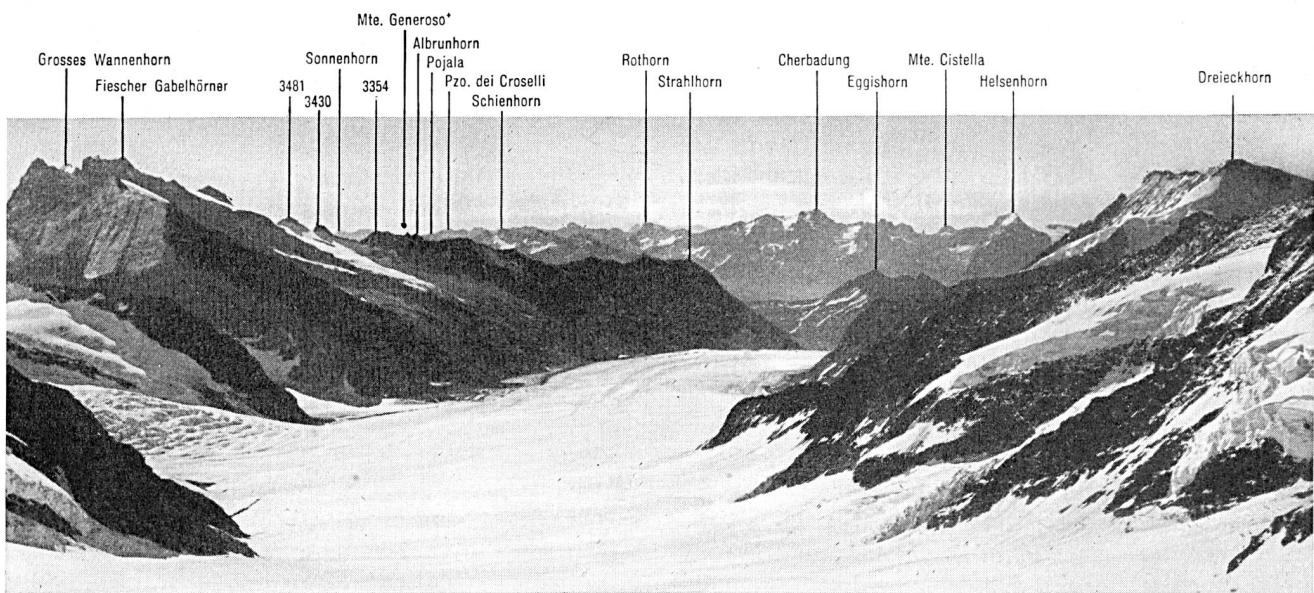


Fig. 12. Blick gegen Aletschgletscher und Monte Generoso von Standort 4 auf dem Jungfraujoch.

Der Monte Generoso ist auf der photographischen Aufnahme nicht mehr sichtbar, konnte aber an klaren Tagen im Verlaufe der 3. Versuchsetappe an der bezeichneten Stelle (rechts von Sonnenhorn und Corona di Gropo) deutlich erkannt werden.

den Kante lässt sich nach der klassischen Theorie verhältnismässig einfach berechnen (siehe Anhang I). Es mag vielleicht interessant sein, eine grobe rechnerische Abschätzung unter Berücksichtigung des wichtigsten Ausbreitungshindernisses (Grat des Kleinen Wannenhorns) in einigen Fällen mit der Messung zu vergleichen. Im vorerwähnten Beispiel (Fig. 11) verläuft die Sichtlinie bei normaler Brechung rund 40 m über dem Wannenhorngrat, ziemlich weit rechts von Punkt 3354 in Fig. 12, und die Voraussetzung einer geraden Kante ist hier näherungsweise erfüllt. Für den Radius der 1. Fresnelzone erhält man bei der 2-m-Welle

$$h_1 = \sqrt{\frac{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12000 \cdot 94000}{106000}} = 145 \text{ m}$$

Damit ergibt sich $z = \frac{h}{h_1} = \frac{40}{145} = 0,28$

$$\frac{E}{E_0} \sim 0,5 + 0,56 \cdot z + 0,2 z^2 \cong 0,7$$

Gemessen wurde 0,6.

Analog erhält man für die Wellenlängen 90 cm und 15 cm die Werte 0,8 (nach Beobachtung ungefähr um 0,9) und 1.

Die Sichtlinie zwischen der Mathildespitze und Punkt 1619 trifft die störende Kante wenig rechts von Punkt 3354, diesmal rund 40 m unter der Gratlinie. Für dieselben drei Wellenlängen (2 m, 90 cm, 15 cm) ergäbe sich damit ein Feldstärkeverhältnis von $E/E_0 \sim 0,35 - 0,27 - 0,16$. Analog erhält man für die Verbindung Mathildespitze-Hotel Monte Generoso mit einer negativen Höhe von 50 m die Werte $E/E_0 \sim 0,31 - 0,25 - 0,13$. Diese Zahlen weichen etwas stärker von der Messung ab, insbesondere war der Unterschied zwischen beiden Strecken grösser.

In der Gegend der Felszacke 3430 (Fig. 12) kann man nun den Wannenhorngrat offensichtlich für die in Betracht fallenden Wellenlängen nicht mehr ohne sehr groben Fehler als gerade Kante betrachten. Die erwähnte Felszacke hat bei der 15-cm-Welle bereits die Dimension der 1. Fresnelzone, ebenso die links anschliessende Lücke. Die vertikale Verbindungs-ebene zwischen Sphinx und Punkt 1619 verläuft knapp rechts der Zacke, und es mag hieraus verständlich sein, dass die Feldstärke bei seitlicher Verschiebung des Standortes auf dem Monte Generoso hinter die Zacke (Verbindung Sphinx—Hotel Generoso) mit der 15-cm-Welle stark sinkt, um nachher in der Lücke (Uebertragungsstrecke Sphinx—Hauptgipfel Monte Generoso) wieder merklich anzusteigen. Bei der 2-m-Welle war diese Erscheinung nicht mehr zu beobachten. Mit einer mittleren negativen Höhe von 130 m für die Verbindungsstrecke Sphinx—

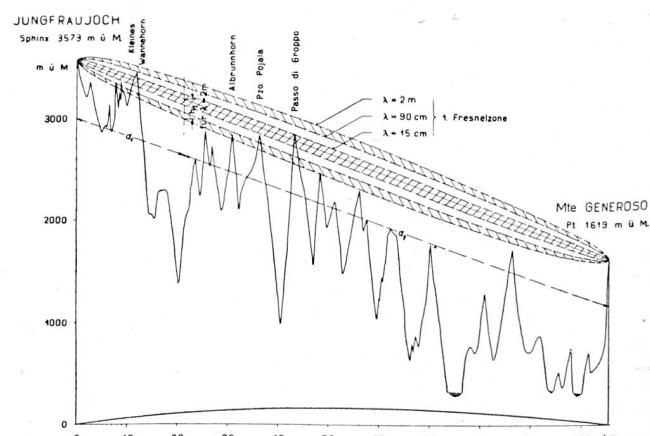


Fig. 13. Geländeprofil Jungfraujoch Sphinx—Monte Generoso Punkt 1619, nach optischen Beobachtungen ergänzt

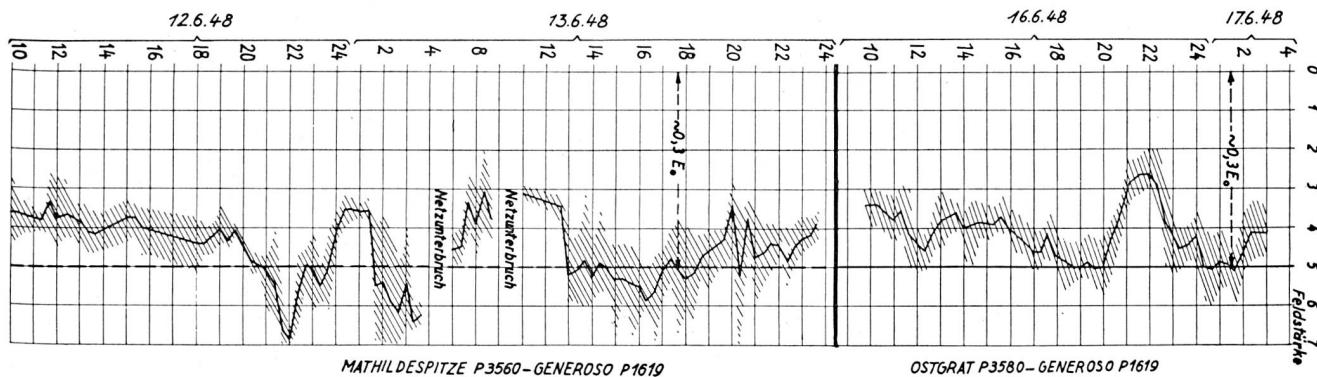


Fig. 14. Beispiel einer Feldstärkeregistrierung mit 15-cm-Wellen zwischen Monte Generoso und Jungfraujoch. Ausgezogene Kurve: Mittelwerte aus je 20 Minuten. Schraffur: Bereich der maximalen bzw. minimalen Feldstärkewerte

Punkt 1619 würden sich bei gerader Kante für die betrachteten drei Wellenlängen Feldstärkeverhältnisse E/E_0 von rund 0,16, 0,12 und 0,05 ergeben.

Eine genaue Analyse der Messungen wäre auf Grund der vorhandenen Unterlagen weder möglich noch sinnvoll, da weder an die Präzision der Messungen noch der Geländeprofile, welche immerhin nach den optischen Beobachtungen bestmöglich ergänzt wurden, hohe Anforderungen gestellt werden können. Es scheint aber aus diesem rohen Vergleich immerhin hervorzugehen, dass die Voraussetzung der Beugung als vorwiegende Ausbreitungserscheinung bei derartigen Uebertragungsstrecken richtig ist.

b) Schwund und anomale Ausbreitungserscheinungen

Die Dauer der Feldstärkeregistrierungen (je zirka 1 Woche mit 15 cm bzw. 2 m Wellenlänge) erlaubt natürlich noch keine zuverlässigen Schlüsse auf die Uebertragungsstabilität über grössere Zeiträume. Auch ist zu berücksichtigen, dass die verfügbaren Geräte für Dauermessungen nicht besonders gut geeignet waren. Einige Feststellungen mögen aber doch von Interesse sein.

Die grössten Feldstärke-Unterschiede, einschliesslich eines allfälligen Einflusses von Netzspannungsschwankungen, betrugen bei der 15-cm-Welle 12 db (± 6 db), wobei diese Messungen im Monat Juni bei vorwiegend schöner Witterung stattfanden (Fig. 14). Hierbei zeigte sich eine schwache Neigung zu grösserem Schwund und etwas höheren mittleren Feldstärken während der Nacht. Im Tiefland wurden vergleichsweise, nach amerikanischen Quellen³⁾, mit 11-cm-Wellen über 70 km bei optischer Sicht in einem typischen Wintermonat (geringer Schwund) maximale Schwankungen von 15 db beobachtet, in einem typischen Sommermonat (starker Schwund) dagegen 40 db. Auch wenn man annimmt, dass die Jungfraujoch-Messungen gerade mit einer Periode geringen Schwundes zusammenfielen, was nach allgemeiner Erfahrung eher im Winter zu erwarten wäre, ist das Ergebnis über die Alpenstrecke immer noch merklich günstiger, wenn man die grössere Ent-

fernung und die Ueberschreitung der Sichtgrenze berücksichtigt.

Sehr auffällig war sodann die Stabilität der Uebertragung mit der 2-m-Welle (Fig. 16). Bringt man den Frequenzablauf des Messemfängers in Abzug, so bleiben die maximalen Abweichungen bei allen Messungen innerhalb 2 db, und man kann nicht entscheiden, ob diese überhaupt auf die Wellenausbreitung zurückzuführen sind. Dieses Ergebnis kann teilweise erklärt werden durch die damals herrschende Schlechtwetterperiode in den nördlichen Alpen. Schlechtwetterbedingungen sind nach anderweitigen Erfahrungen stets günstig für konstante Wellenausbreitung. Es mag aber ebenso sehr im Zusammenhang stehen mit den besonderen Uebertragungsbedingungen im Hochgebirge, da ja auf dem längeren südlichen Teil der Meßstrecke das Wetter vorwiegend heiter war. Man kann sich leicht vorstellen, dass die in den Alpen meist vorhandenen vertikalen Luftströmungen die Bildung horizontal orientierter Schichten mit anomalem Gradienten der Dielektrizitätskonstante weitgehend verhindern können, ganz abgesehen von dem an sich geringeren Wasserdampfgehalt der Luft in diesen Höhen.

Eine aussergewöhnliche Empfangsbeobachtung ergab sich bei den 15-cm-Versuchen vom 7. Juni 1948



Fig. 15. Mathildespitze in der Richtung oberes Mönchsjoch, aus der Gegend von Standort 3 am Nordostgrat gesehen. Rücktransport von Geräten

³⁾ G. S. Wickizer and A. M. Braaten. Propagation Studies on 45.1, 474 and 2800 Megacycles within and beyond the Horizon. Proc. Inst. Radio Eng. **35** (1947) 670.

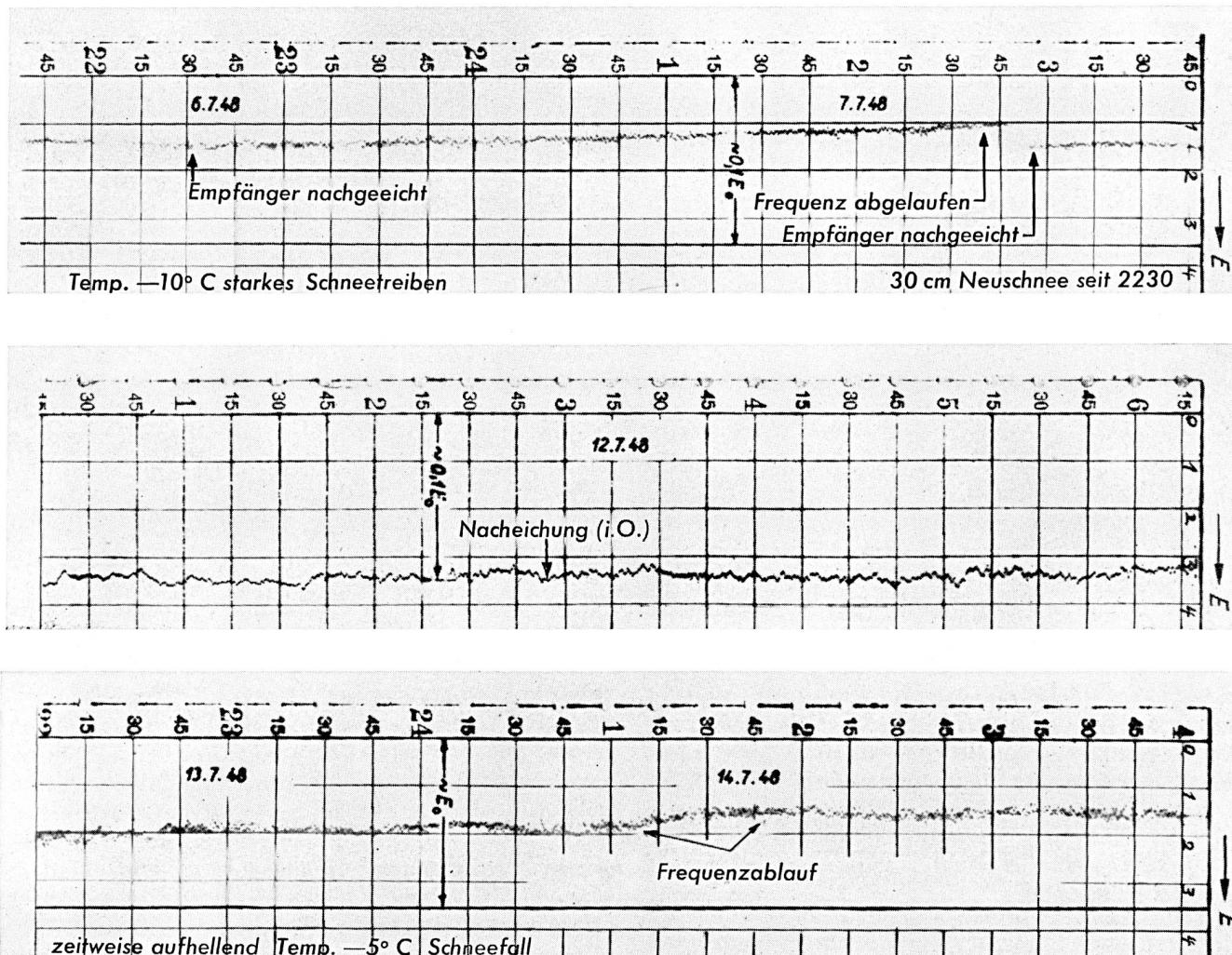


Fig. 16. Beispiel einer Feldstärkeregistrierung mit 2-m-Wellen zwischen Monte Generoso und Jungfraujoch (Reproduktion des Registrierbandes).

Oben: Monte Generoso Hotel—Sphinx, Polarisation horizontal;

Mitte: Monte Generoso Punkt 1619—Sphinx, Polarisation vertikal;

Unten: Monte Generoso Punkt 1619—Standort 4 (3650 m), Polarisation horizontal

zwischen der Sphinx und dem Hotel Monte Generoso. Gewöhnlich reichte das Empfangsfeld gerade aus, um noch einen merklichen Ausschlag auf dem Kontrollinstrument des Empfängers hervorzurufen ($E/E_0 < 0,01$), wobei der Impulsempfänger nicht mehr synchronisiert werden konnte. In den Abendstunden stieg die Feldstärke während 5...10 Minuten unter beträchtlichen Schwankungen mehrmals auf ein Vielfaches dieses Wertes ($E/E_0 \approx 0,05$), wobei eine einwandfreie einseitige Verständigung über die Verbindung zeitweilig möglich wurde. Später trat wieder der ursprüngliche Zustand ein, und wiederholte Versuche führten zu keiner Änderung mehr.

Als Ursachen kommen in Betracht: Anomale Brechung oder Reflexion in der Troposphäre oder Reflexion an einem Flugzeug, das sich in der Nähe des Senders oder Empfängers in dessen Richtstrahl befunden haben muss. Ueber die erste Möglichkeit können nur Vermutungen angestellt werden, da noch keine weiteren Erfahrungen mit ähnlichen Ueber-

tragungsstrecken vorliegen; die zeitlichen Bedingungen der Erscheinung sprechen aber weniger dafür.

Die Möglichkeit einer Flugzeugreflexion kann mit Hilfe der Formel für den künstlichen Sekundärstrahler (siehe Anhang II) geschätzt werden.

Aus der Radartechnik ist bekannt, dass man für kleinere bis mittlere Flugzeuge einen Radarquerschnitt σ_R von $10...20 \text{ m}^2$ einsetzen darf, unabhängig von der Wellenlänge, solange diese wesentlich kleiner ist als die linearen Flugzeugdimensionen. Der Radarquerschnitt bezieht sich auf einen isotropen Strahler und steht zur Oberfläche F_R^* unseres ebenen Metallspiegels in Gleichung (2) oder (6) nach Anhang II in folgender Beziehung:

$$\sigma_R = \frac{4 \pi F_R^{*2}}{\lambda^2}$$

Die Zusatzdämpfung des Sekundärstrahlers b_R berechnet sich hieraus zu

$$b_R \approx \left(\frac{F_R^*}{\lambda \cdot d_2} \right)^2 = \frac{\sigma_R}{4 \pi d_2^2}$$

Bei 1000 m Entfernung des Flugzeuges von einem Endpunkt der Uebertragungsstrecke und für einen Radarquerschnitt von 20 m^2 ergibt sich damit im Vergleich zur freien Feldstärke ein Verhältnis

$$\frac{E}{E_0} = \sqrt{b_R} \cong 0,0055.$$

Diese Beziehung setzt voraus, dass freie Sicht vom Flugzeug nach beiden Endpunkten der Strecke besteht.

Um die beobachtete Feldstärke von $0,05 E_0$ zu erklären, müsste das Flugzeug somit bis auf 100 m an den Sender oder Empfänger herangeflogen sein und sich zudem noch in Sicht mit beiden Stationen befinden haben, was nur auf der Jungfraujochseite möglich wäre. Eine entsprechende Feststellung liegt aber nicht vor.

σ_R ist nun allerdings ein Erfahrungsmittelwert für Radarverhältnisse, wobei der Reflexionswinkel stets 180 Grad beträgt, was für die Reflexionsintensität im Mittel denkbar ungünstig ist. Kehrt ein Flugzeug ausnahmsweise die Breitseite des Rumpfes gegen das Radargerät, so ergeben sich Querschnitte, die den wahrscheinlichen Mittelwert um das Hundertfache übertreffen können. Das Flugzeug ist in diesem Falle nicht mehr als isotroper Strahler aufzufassen, sondern eher als Spiegel. Wenn der Empfänger weit vom Sender entfernt ist, wie im vorliegenden Beispiel, so ist der Fall der Spiegelung sehr viel wahrscheinlicher als bei der Radarvermessung, besonders dann, wenn sich das Flugzeug dazwischen befindet. Ein Radarquerschnitt von 2000 m^2 entspricht bei einer Wellenlänge von 15 cm einer wirksamen ebenen Spiegelfläche von

$$F_R^* = F_R \cdot \cos \alpha = \sqrt{\frac{\sigma_R \cdot \lambda^2}{4 \pi}} = 1,9 \text{ m}^2$$

Der Winkel α kann aber mit Rücksicht auf das Strahlungsdiagramm der Parabolantenne nicht kleiner als etwa 83° gewesen sein, womit sich eine wirksame geometrische Fläche F_R von mindestens 15 m^2 ergibt. Für eine Tragflächenreflexion wären maximale Werte von dieser Größenordnung sicher möglich. Das Flugzeug müsste sich aber während der Dauer der Erscheinung ständig in der Gegend des Richtstrahls, das heißt in einem Kreiskegel von rund 15° in der Senderspiegelachse bewegt haben, ohne sich mehr als wenige Kilometer vom Sender zu entfernen. Dies ist nicht sehr wahrscheinlich, und eine entsprechende Beobachtung liegt nicht vor.

c) Streustrahlungseinflüsse

Gewisse Mehrkanalsysteme, im besonderen auch Fernsehsignale, sind grundsätzlich empfindlich auf Echoverzerrungen, praktisch allerdings nur dann, wenn die Amplituden der zeitlich verzögerten (reflektierten) Signale noch vergleichbar sind mit dem Hauptsignal. Es konnte vermutet werden, dass steile, verhältnismässig glatte Felswände, wie sie im Alpengebiet vorkommen, wesentlich kräftigere Reflexionen

verursachen würden als die mehr abgerundeten, unregelmässig bewachsenen Hänge der Voralpen. Diese Befürchtung hat sich nicht bestätigt. Die in der Natur vorkommenden Grenzflächen sind offenbar auch hier viel zu uneben und rauh im Vergleich zu den verwendeten Wellenlängen, um nicht vorwiegend diffus zu reflektieren. Festgestellt werden konnte auf dem Jungfraujoch nur eine Reflexion vom Jungfrau-massiv, einschliesslich Rottalhorn. Bei 15 cm Wellenlänge war die hierdurch erzeugte Feldstärke weniger als $0,01 E_0$ (Rauschgrenze des Empfängers), bei der



Fig. 17. Uebertragungsversuche mit 15-cm-Wellen, Mathilde-spitze, 3560 m ü. M.
Der Parabolspiegel ist nach dem Monte Generoso ge-richtet. Messeinrichtung und Hilfsgeräte sind in zwei Gotthardzelten untergebracht

2-m-Welle in der Größenordnung von maximal 0,02 bzw. $0,05 E_0$, wobei der höhere Wert für vertikale Wellenpolarisation gilt. Die verfügbaren Senderleistungen und Hilfsmittel reichten nicht aus zu einer weitergehenden Analyse der Geländereflektionen, doch waren weitere Sekundärstrahler, soweit praktisch noch vorhanden, jedenfalls von geringerer Intensität. Bei früheren Messungen mit 15-cm-Wellen zwischen Chasseral und Sphinx-Observatorium wurden Re-

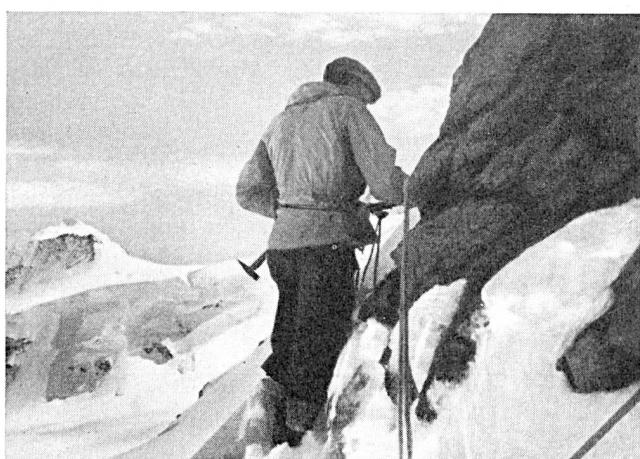


Fig. 18. Einstieg in die Felsen der Nordostrippe vom Standort 3 aus; Anbringen des Sicherungsseiles. Im Hintergrund links Gletscherhorn

flexionsfelder in der Größenordnung von $0,03 E_0$ beobachtet, hervorhend vom Felsmassiv des Mönchs und von der Nordostkante der Jungfrau.

Das Feldstärkeverhältnis zwischen der Sekundärstrahlung der Berge und dem einfallenden Primärfelde scheint somit auch bei diesen merklich verschiedenen Wellenlängen höchstens von der gleichen Größenordnung zu sein, wie bei den früheren Beobachtungen mit 6-m-Wellen im Thunerseebecken oder in Neuenburg⁴⁾. Dies bedeutet, dass die fiktive ebene Metallspiegelfläche, die man für gleiche Sekundärstrahler-Feldstärke an einem bestimmten Empfangsort an Stelle eines natürlichen Sekundärstrahlers einsetzen und berechnen kann, mindestens proportional zur Wellenlänge abnimmt. Dieses Verhalten lässt sich aus der zunehmenden relativen Oberflächenrauhigkeit bei kürzeren Wellen verstehen.

Reflexionen der beobachteten Größenordnung sind nun für Richtstrahlverbindungen unschädlich, solange es sich um optische Uebertragungsstrecken handelt. Sogar für eine Verbindung Sphinx—Monte Generoso wären, bei Verwendung von Meterwellen mit genügender Antennenrichtwirkung auf der Jungfraujocheite, Reflexionsstörungen auch bei grossen Bandbreiten unwahrscheinlich.

d) Verwendung künstlicher Sekundärstrahler auf dem Jungfraujoch

Von der Mathildespitze aus wurde ein Versuch mit einem künstlichen Sekundärstrahler durchgeführt. Dieser Strahler bestand aus einem ziemlich engmaschigen, gut verloteten Drahtnetz von $2 \times 2,5 \text{ m}^2$ Fläche, das möglichst straff ausgespannt wurde. Da man ursprünglich die Sichtgrenze in der Gegend des Standortes 3 am Nordostgrat vermutete, wurde der «Spiegel» dort, in einer Entfernung von rund 200 m, aufgestellt. Das Einrichten und Spannen verursachte

⁴⁾ W. Klein und J. Dufour. Rundspruchversuche mit frequenzmodulierten Ultrakurzwellen. Techn. Mitt." PTT 1948, Nr. 1, S. 1...21, und Nr. 2, S. 61...83.

einige Schwierigkeiten. Der Spiegel konnte beim Durchdrehen der Empfangsantenne eindeutig festgestellt werden, doch war die Feldstärke kleiner als $0,01 E_0$, also nahe an der Empfindlichkeitsgrenze des Empfängers.

Die Berechnung auf Grund der Formel (2) im Anhang II ergibt mit einem angenommenen Flächenwirkungsgrad des Drahtnetzes von 0,5 und einem Winkel $\alpha = 35^\circ$ eine wirksame Absorptionsfläche $F_R^* = 2 \text{ m}^2$, und damit eine Empfangsfeldstärke von

$$E_e \cong \frac{F_R^*}{\lambda \cdot d_2} E_{1r} = 0,07 E_{1r}$$

Da die mittlere Feldstärke am Standort 3 nach den späteren Messungen jedoch nur rund ein Viertel der freien Feldstärke E_0 betrug, war somit ein Wert von

$$E_e \sim 0,017 E_0$$

zu erwarten. Die Empfangsbeobachtung ergab schätzungsweise die Hälfte. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Einrichten und Spannen des Drahtnetzes unter den gegebenen örtlichen Bedingungen etwas behelfsmässig ausfielen.

Wie schon aus diesem Beispiel hervorgeht, sind die Voraussetzungen für die Anwendung künstlicher Sekundärstrahler auf dem Jungfraujoch nicht besonders günstig. Um auf der Mathildespitze, die vom nächstgelegenen Punkt mit guter Sicht zum Monte Generoso am Nordostgrat ungefähr 300 m entfernt ist, mit einem passiven Relais dieselbe mittlere Feldstärke zu erzeugen wie das Beugungsfeld, wäre bei 15 cm Wellenlänge nach obiger Gleichung eine Absorptionsfläche von ungefähr 12 m^2 erforderlich. Damit wäre aber im vorliegenden Falle noch nicht viel gewonnen, weil wahrscheinlich das Sekundärstrahlerfeld kaum stabiler wäre als das Beugungsfeld. Sehr viel grössere Absorptionsflächen dürften praktisch nicht in Frage kommen. Mit kürzeren Wellen nimmt dann der Beugungsverlust zu, der Sekundärstrahlerverlust bei gleichbleibender Absorptionsfläche jedoch ab, so dass dann, wenigstens theoretisch, ein



Fig. 19. Nordostrippe der Jungfrau, Blick vom Standort 4 (3650 m ü. M.) auf die Anstiegsroute. Links unten: Kühlauenengletscher; rechts oben, nicht mehr ganz sichtbar: Mathildespitze

Gewinn durch Anwendung eines passiven Relais erzielt werden könnte (bezogen auf Standort 2). Die Verwirklichung derart grosser Absorptionsflächen für noch kürzere Wellen wäre aber sicher nicht mehr ganz einfach, und die Voraussetzung der ebenen Welle wäre in bezug auf die Uebertragungsstrecke d_2 von der Mathildespitze zum passiven Relais am Nordostgrat auch nicht mehr genügend erfüllt.

Bezieht man sich, statt auf die Mathildespitze, auf den sogenannten Hotelfelsen als Ausgangspunkt, der in baulicher Hinsicht für eine Höhenstation ausserordentlich günstig gelegen wäre, so beträgt die Entfernung d_2 zum passiven Relais am Nordostgrat bereits 600 m. Der zusätzliche Sekundärstrahlerverlust, bzw. die erforderliche Absorptionsfläche wird damit für sonst gleiche Verhältnisse gegenüber der Mathildespitze ebenfalls doppelt so gross. In bezug auf das Beugungsfeld allerdings wäre der Gewinn an diesem Standort natürlich ausserordentlich hoch.

Die praktische Verwendbarkeit eines passiven Relais mit der erforderlichen hohen Richtstrahlkonzentration und unter den extremen klimatischen Bedingungen des Jungfraujochs wären aber in jedem Falle noch durch eingehende Untersuchungen zu überprüfen.

Die Verlegung eines Wellenleiters vom Hotelfelsen oder von der Mathildespitze zu einem geeigneten Antennenstandort am Nordostgrat, eine Lösung, die für Wellenlängen von nicht über 10 cm auch in Betracht gezogen werden könnte, würde hier voraussichtlich auf extreme praktische Schwierigkeiten stossen.

e) Die heutigen technischen Möglichkeiten

Die heute oder in allernächster Zeit praktisch verfügbaren Mehrkanalsysteme sind fast ausschliesslich Zeitmultiplexsysteme mit lagemodulierten Impulsen (PTM), oder dann Frequenzmultiplex-Einträger-systeme mit Frequenzmodulation des UKW-Trägers mit einem in der Kabelträgertechnik üblichen Einseitenband-Mehrkanalspektrum. Die erforderliche mittlere Senderleistung P_{S10} pro Kanal mit Rücksicht auf das Empfängerrauschen wurde für solche Systeme in einer früheren Arbeit⁵⁾ unter bestimmten Voraussetzungen zu ungefähr $P_{S10} = 0,1$ bis $0,2$ W berechnet. Vorausgesetzt waren, ausser freien Ausbreitungsbedingungen auf der Uebertragungsstrecke, für Normalatmosphäre:

Wellenlänge $\lambda_0 = 10$ cm,

Uebertragungsstrecke $d_0 = 200$ km,

Absorptionsfläche der Sende- und Empfangsan-

tenne $F_S = F_E = F_0 = 2 \text{ m}^2$,

theoretischer Rauschabstand eines Kanals bei un-

gestörter Ausbreitung $\cong 76$ db,

Schwellenabstand des Empfängers in bezug auf ungestörte Ausbreitung $\cong 30$ db.

⁵⁾ W. Klein. Systeme der Ultra-Kurzwellen-Mehrkanal-Telephonie. Bull. SEV 1948, Nr. 17, S. 571...588.

Für andere Werte d , λ und F berechnet sich die je Kanal erforderliche mittlere Senderleistung P_{S1} unter sonst gleichen Verhältnissen nach

$$P_{S1} = P_{S10} \cdot \left(\frac{\lambda \cdot d \cdot F_0}{\lambda_0 \cdot d_0 \cdot F} \right)^2 \cdot \frac{1}{b_z}$$

b_z ist der durch Beugung, Sekundärstrahlerverlust usw. verursachte zusätzliche Dämpfungsfaktor bei Normalatmosphäre gegenüber freier Ausbreitung.

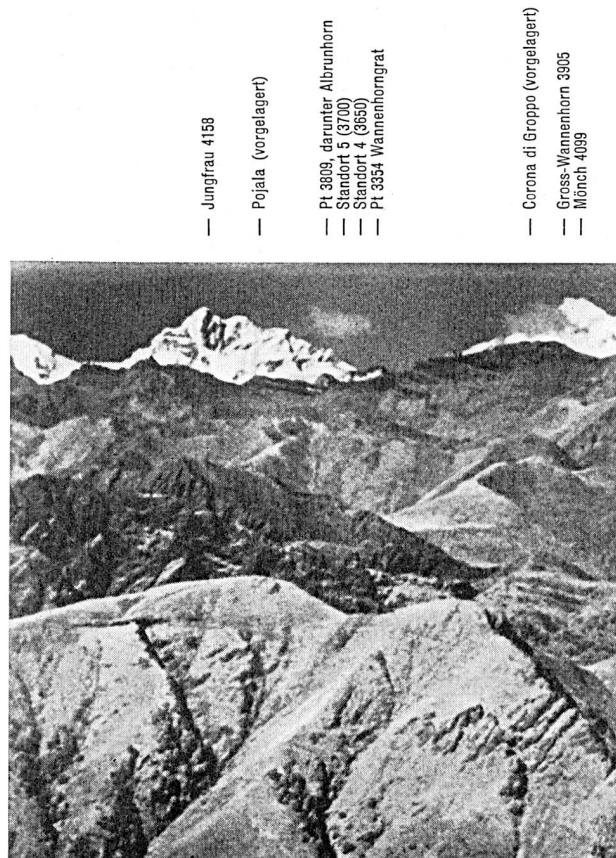


Fig. 20. Jungfraujoch vom Monte Generoso aus gesehen. Vergrösserte Infrarotaufnahme der Landestopographie. Die Gratlinien sind nach den Fernrohrbeobachtungen etwas nachgezogen

Rechnen wir sicherheitshalber mit einer Leistung $P_{S10} = 0,2$ W, so ergibt sich mit $d \cong 100$ km und $F = 30 \text{ m}^2$ für die 2-m-Welle:

$$P_{S1} \cong \frac{0,1}{b_z} [\text{W}]$$

Die geometrische Antennenfläche üblicher Querstrahler ist in der Regel etwas grösser als die Absorptionsfläche. Richtantennen mit Absorptionsflächen dieser Grösse sind bei Meterwellen noch leicht herzustellen und haben sich auch im praktischen Betrieb bereits vielfach bewährt.

Der Zusatzverlustfaktor war auf der Uebertragungsstrecke Sphinx—Monte Generoso, Punkt 1619, etwa $b_z = 0,01$ für die 2-m-Welle, und es berechnet sich eine erforderliche Senderleistung von 10 W je Kanal. Lässt man, mit Rücksicht auf die voraussichtlich sehr gute Uebertragungsstabilität mit Meter-

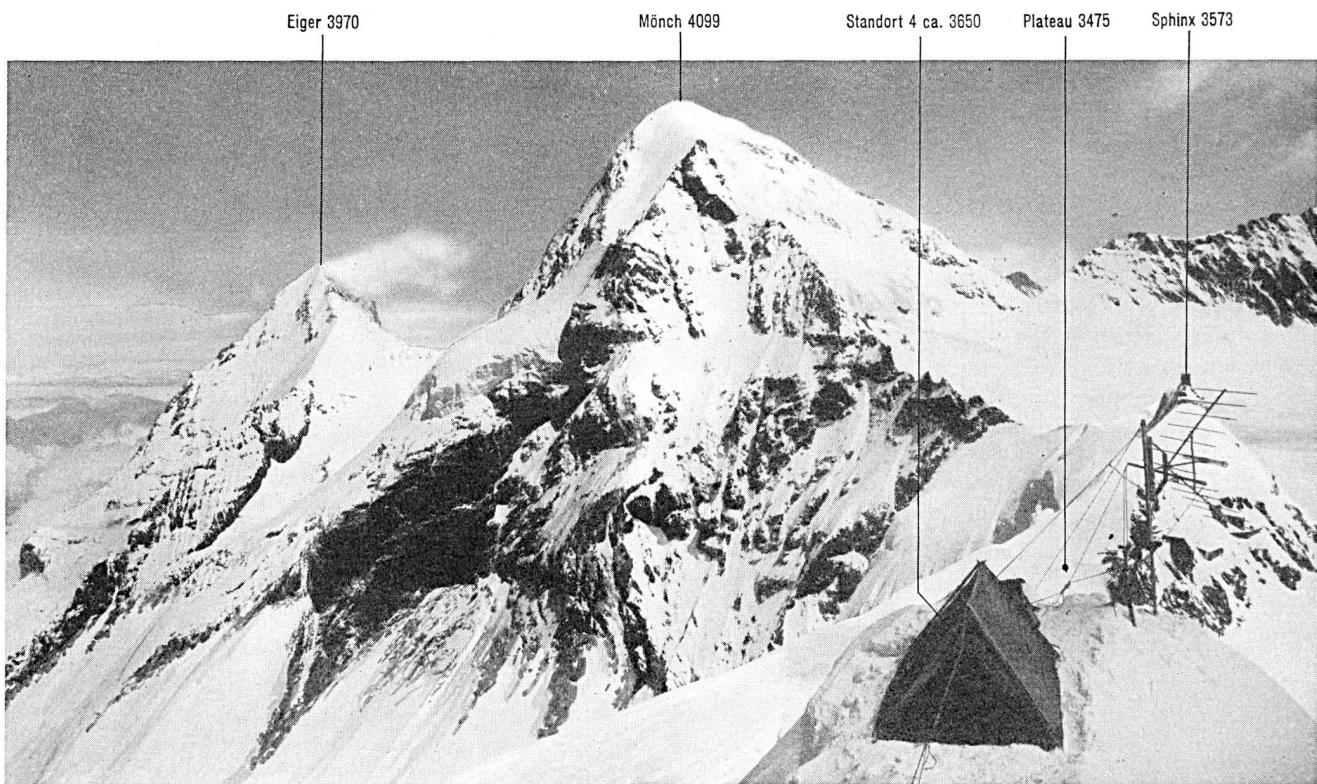


Fig. 21. Uebertragungsversuche mit 2-m-Wellen, Standort 4 am Nordostgrat der Jungfrau, 3650 m ü. M. Die Speisung der Geräte erfolgte über ein Gummikabel, das vom Plateau dem Grat entlang verlegt war. Links, unter der Winkelreflektor-Antenne, der elektrische Scheinwerfer. Das Gotthardzelt hat sich auch in dieser luftigen Höhe bewährt. Senkrecht unter dem Sphinx-Observatorium, von links nach rechts im Felsen sichtbar: Berghaus, altes Touristenhaus und Hochalpine Forschungsstation

wellen auf dieser Strecke, einen theoretischen Rauschabstand von 70 db statt 76 db zu, so wird dieser Wert auf 2,5 W/Kanal reduziert. Pro 12-Kanalbündel wären damit rund 30 Watt mittlere Senderleistung erforderlich.

Die Bedingungen für die übrigen Standorte auf dem Jungfraujoch, bei Verwendung von Meterwellen, brauchen nicht näher erläutert zu werden. Man könnte hier mit gewöhnlichen Winkelreflektor-Antennen mit einem Bündelungsgewinn von 10 db auskommen.

Die Möglichkeiten der Meterwellen sind aber an sich begrenzt, und an eine Uebertragung von Fernsehsignalen wäre natürlich hier gar nicht zu denken.

Für die 15-cm-Welle erhalten wir analog mit $d \cong 100$ km und einer Absorptionsfläche von $4,5 \text{ m}^2$ (entsprechend etwa einem Parabolspiegel von 3 m Durchmesser):

$$P_{s1} \cong \frac{0,022}{b_z} [\text{W}]$$

Auf der Uebertragungsstrecke Mathildespitze—Monte Generoso, Punkt 1619, war der zusätzliche Dämpfungsfaktor gegenüber freier Ausbreitung etwa $b_z = 0,06$, und man berechnet eine erforderliche Senderleistung von 0,35 W je Kanal. Ein 24-Kanalbündel würde hier somit eine mittlere Senderleistung von etwa 8,5 W bedingen, was durchaus im Rahmen der heutigen Geräte liegt. Dagegen dürfte eine Ueber-

tragung von Fernsehsignalen von hier aus auf absehbare Zeit nicht möglich sein. Für eine Relaisstation in der Nähe der Standorte 4 und 5 auf dem Jungfraujoch wären mit $b_z \cong 1$ für 24 Telephonkanäle bei gleichen Antennenabmessungen nur noch etwa 0,5 W mittlerer Senderleistung erforderlich.

Die Sphinx kommt als Relaisstandort bei diesen kurzen Wellen übertragungstechnisch kaum in Frage. Der Zusatzverlustfaktor beträgt hier nach den Messungen mit 15 cm Wellenlänge ungefähr $b_z = 0,001$, das heisst, die nötige mittlere Senderleistung würde hier nicht weniger als 22 W/Kanal betragen. Ein solcher Wert ist natürlich indiskutabel. Würde man besondere Antennengebilde mit Absorptionsflächen von 12 m^2 verwenden, so könnte man mit rund 70 W mittlerer Senderleistung ein 24-Kanalbündel übertragen. Betriebsmässig gebaute Mehrkanalgeräte mit solchen Leistungen in diesem Wellenbereich stehen aber gegenwärtig noch nicht zur Verfügung. Wenn schon grosse Antennenflächen verwendet werden sollten, wäre wahrscheinlich eine Lösung mit passivem Relais, zum Beispiel vom Hotelfelsen aus, doch noch interessanter. Mit 12 m^2 Absorptionsfläche für den Sekundärstrahler würde hier $b_z \cong 0,016$ und damit die erforderliche mittlere Leistung pro Kanal mit je einem 3-m-Parabol auf der Sende- und Empfangsseite rund 1,4 W. Alle diese Angaben sind natürlich nur als Richtwerte aufzufassen.

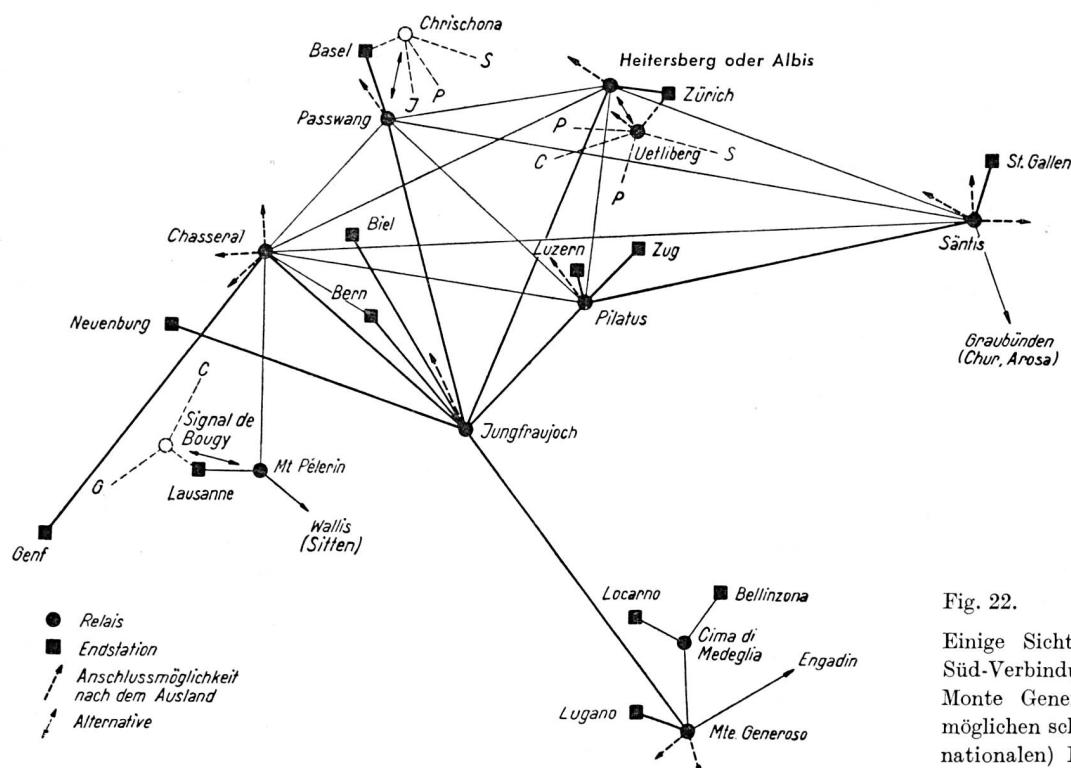


Fig. 22.

Einige Sichtbeziehungen der Nord-Süd-Verbindung über Jungfraujoch—Monte Generoso im Rahmen eines möglichen schweizerischen (und internationalen) Richtstrahlnetzes

Schlussfolgerung

Eine Richtstrahlverbindung für Mehrkanaltelephonie über die Alpen mit je einer Höhenstation auf dem Jungfraujoch und dem Monte Generoso ist übertragungstechnisch möglich. Die mittleren Feldstärkeverhältnisse und höchstwahrscheinlich auch die Stabilität der Ausbreitung sind ausgesprochen günstig im Vergleich zu ebenso langen Uebertragungsstrecken über Flachland.

Der übertragungstechnisch am besten geeignete Höhenstandort auf dem Jungfraujoch, mit einwandfreier optischer Sicht zum Monte Generoso, liegt im untersten Teile des Nordostgrates der Jungfrau (in der Gegend von Standort 4 oder 5), auf einer Höhe von rund 3650 m ü. M. und in der Luftlinie ungefähr 750 m von der heutigen Bahnstation entfernt. Von hier aus wäre auch eine spätere Uebermittlung von Fernsehprogrammen nicht ausgeschlossen. Sowohl vom Monte Generoso wie vom Jungfraujoch aus bieten sich ausserordentlich interessante, weitreichende Möglichkeiten für Richtstrahlverbindungen auf beiden Seiten der Alpen, im Norden bis zu den Vogesen, im Süden bis in den Appennin. Einige dieser Möglichkeiten, im Zusammenhang mit einem nationalen Richtstrahlnetz, sind in Fig. 22 dargestellt⁶⁾. Eine Höhenstation am Nordostgrat der Jungfrau ist vor allem eine bauliche und finanzielle Frage, indem der Zugang wenigstens teilweise unterirdisch gelöst werden müsste, ähnlich wie beim heutigen Sphinx-Observatorium.

Auch von der Mathildespitze aus wären aller Vor-

⁶⁾ Auslandverbindungen siehe ausführlicher in: W. Gerber, "Richtstrahl-Strategie. Techn. Mitt." PTT 1949, Nr. 1, S. 1...3.

aussicht nach Telephonie-Mehrkanalverbindungen mit dm- und cm-Wellen noch mit erträglichen Antennenflächen möglich. Doch müsste auf die Uebertragung von Fernsehprogrammen im vornherein verzichtet werden, so dass dieser Standort eigentlich eine wenig günstige Zwischenlösung darstellen würde.

Mit grossem Antennenaufwand wäre, wenigstens theoretisch, für die Uebertragung mit sehr kurzen Wellen eine Lösung mit künstlichem Sekundärstrahler gangbar, wobei sich die Relaisstation auf dem Hotelfelsen befinden könnte. Eine derartige Lösung wäre aber mit Rücksicht auf die extremen klimatischen Bedingungen in dieser Höhe jedenfalls heute noch von zweifelhaftem Erfolg.

Von der Sphinx aus schliesslich liesse sich mit geringstem baulichem Aufwand eine Richtstrahlverbindung mit Meterwellen, zum Beispiel für 48 Telephonkanäle, mit begrenzten weiteren Möglichkeiten erstellen. Eine Mehrkanalanlage mit 12...24 Telephonkanälen soll (als Provisorium) über die Sphinx versuchsweise zwischen Bern und Lugano noch vor Ende 1949 in Betrieb kommen.

Damit sind die übertragungstechnischen Voraussetzungen für diese Nord-Südverbindung über die Alpen im wesentlichen skizziert. Die Richtstrahltechnik ist heute allenthalben in rascher Entwicklung begriffen, und es besteht wohl kein Zweifel, dass die Verwirklichung einer Höhenstation auf dem Jungfraujoch diesem jüngsten Zweig der Nachrichtenübermittlung einen Weg von grösster Tragweite eröffnen und damit der kommenden Entwicklung äusserst förderlich sein würde.

Unser Dank sei ausgesprochen vor allem der Sektion Uebermittlungsdienst der Abteilung für Genie, welche uns, in Verbindung mit der Truppe, die Geräte sowie einen Teil der Bedienung für die Demonstration einer Richtstrahlverbindung Chasseral—Telephonzentrale Lugano zur Verfügung stellte, ferner der Kriegstechnischen Abteilung des EMD für die Ueberlassung verschiedener Hilfsgeräte. Der grösste Teil der eigentlichen Messausrüstung stammte von der Firma Brown, Boveri & Cie. in Baden/Aargau. Besonderer Dank gebührt auch der Leitung der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch, deren Einrichtungen während der ganzen Dauer der Versuche benutzt werden konnten, sowie den mitwirkenden Herren Ing. J. Dufour, W. Buholzer, K. Hostettler und C. Stettler, deren Ausdauer unter den oft sehr misslichen Wetterverhältnissen für das Gelingen der Versuche unerlässlich war.

Anhang I

Richtstrahlverbindung im Beugungsfeld einer Bergkante

Die meist sehr scharfkantigen Gräte und Gipfel der Alpen sind für die Wellenausbreitung vorwiegend als Blenden im Sinne der Optik zu betrachten, so lange man sich noch nicht allzuweit aus dem Sichtbereich des Senders bzw. Empfängers entfernt. Begebt man sich tiefer in den Beugungsschatten, so kann sich allerdings auch die Streustrahlung der Berge bemerkbar machen, unter Umständen sogar vorherrschen, wie anderweitige Untersuchungen mit ultrakurzen Wellen gezeigt haben. Bei Richtstrahlverbindungen kommt aber eine wesentliche Ueberschreitung der Sichtgrenze ohnehin nicht in Betracht,

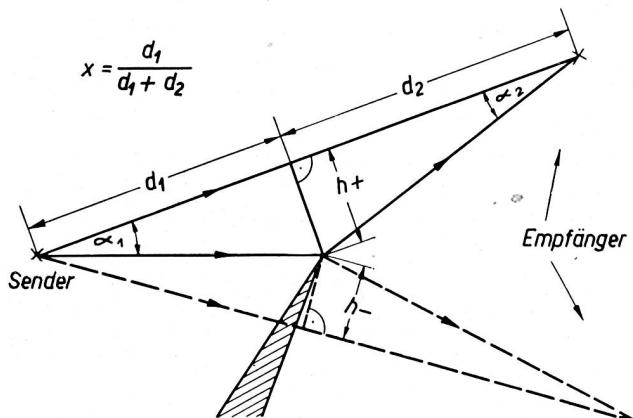


Fig. 23. Wellenbeugung an einer absorbierenden Kante

so dass eine Abschätzung des Empfangsfeldes auf Grund der Wellenbeugung hier in manchen Fällen nützlich sein kann.

Nach der klassischen Beugungstheorie bestimmt man die Feldstärke hinter einer geraden absorbierenden Kante (Fig. 23) für nicht zu grosse Winkel α näherungsweise aus einem Integral von der Form

$$E = E_0 \cdot e^{\frac{j\pi}{4}} \cdot \int_{-\infty}^z e^{-j\pi z^2} dz, \quad (1)$$

$$\text{wobei } z^2 = \frac{h^2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \quad (2)$$

Anderseits schreibt sich die Weglängendifferenz Δd zwischen dem geradlinigen direkten Verbindungsstrahl zwischen Sender und Empfänger und dem über die Kantenspitze umgelenkten Strahl mit

$$\Delta d = \frac{h^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \quad (3)$$

Führt man diesen Wert in (2) ein, so erhält man

$$z^2 = \frac{\Delta d}{\lambda/2} \quad (4)$$

z^2 , auf die nächst höhere ganze Zahl aufgerundet, gibt somit direkt die innerste Fresnelzone an, die von der Kante noch geschnitten wird. Diese Zonen umfassen je einen Phasenbereich von 180° , bzw. Weglängenunterschiede von einer halben Wellenlänge.

Bezeichnet h_1 den Radius der Umrandung der 1. Fresnelzone, so ergibt sich für z eine einfache geometrische Deutung, nämlich

$$z = \frac{h}{h_1} \quad (5)$$

$z = \pm 1$ bedeutet somit, dass die Kante den unteren (+) bzw. oberen (-) Rand der 1. Fresnelzone gerade berührt. $z^2 = 0,5$ umschreibt die erste Fresnel-Halbzone, die bei freier Ausbreitung bekanntlich das eigentliche Uebertragungsellipsoid darstellt, das für die Anregung am Empfangsort massgebend ist.

Die genaue Auswertung der Gleichung (2) nach Amplitude und Phase findet sich verschiedentlich in der Literatur (Cornu-Spirale⁷⁾). Für die Praxis interessiert meistens nur die Amplitude, und da die theoretischen Voraussetzungen selten gut erfüllt sind, genügt für unsere Zwecke eine grobe Abschätzung, wie sie die nachstehenden Formeln darstellen:

$$z \geq +0,7: E \approx E_0 \quad (6a)$$

$$|z| \leq 0,7: E \approx E_0 \cdot (0,5 + 0,56 z + 0,2 z^2) \quad (6b)$$

$$z \geq -0,7: E \approx E_0 \cdot \frac{0,16}{z} \quad (6c)$$

Die Gleichung (6a) ist auf rund 15%, (6b) und (6c) auf rund 10% genau. Die Gleichungen (6a) und (6c) ergeben für grosse z asymptotisch den genauen Grenzwert.

$z \geq -0,7$ heisst, dass die Kante mindestens die 1. Fresnel-Halbzone ganz verdeckt. Unter dieser Voraussetzung nimmt also die Feldstärke im Beugungsschatten mit der Wurzel aus der Wellenlänge zu.

Bezeichnet b_0 die Ausbreitungsdämpfung des freien Raumes, so ergibt sich für die Empfangsleistung P_e im Beugungsschatten mit Gleichung (6c) und (2):

⁷⁾ Zum Beispiel Jahnke-Emde. Funktionentafeln, S. 35...38.

$$P_e = P_s \cdot b_0 \cdot \frac{0,16^2 \cdot \lambda}{h^2 \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (7)$$

Die Ausbreitungsdämpfung des freien Raumes schreibt sich mit Hilfe der Absorptionsflächen F_s und F_E von Sende- und Empfangsantenne für eine Uebertragungsdistanz d wie folgt:

$$b_0 = \frac{F_s \cdot F_E}{\lambda^2 \cdot d^2} \quad (8)$$

Man erhält damit für die Empfangsleistung im Beugungsschatten einer absorbierenden Kante für $z \geq -0,7$ schliesslich den Wert

$$P_e \approx P_s \cdot \frac{0,16^2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot F_s \cdot F_E}{\lambda \cdot h^2 \cdot d^3} \quad (9)$$

Das Interessante an dieser Gleichung ist nun, dass bei gegebener Senderleistung und gleichbleibender Absorptionsfläche der Antennen die Empfangsleistung mit abnehmender Wellenlänge wächst, jedenfalls so weit die Voraussetzung der Gleichung (6c) erfüllt ist. Dies trifft aber grundsätzlich für beliebige negative z -Werte zu, wie man sich leicht überzeugt, blos gilt dann nicht mehr die einfache Proportionalität.

Dieses Ergebnis erscheint mit Rücksicht auf die «bessere Beugung» der längeren Wellen auf den ersten Blick vielleicht unerwartet, ergibt sich aber aus der Voraussetzung gleicher Absorptionsflächen. Nicht immer sind daher im Beugungsfalle längere Wellen vorzuziehen. Praktisch ergibt sich allerdings bei sehr kurzen Wellen eine obere Grenze für die nützliche Absorptionsfläche, und die mögliche mittlere Senderleistung sinkt bei genügend kurzen Wellen ziemlich rasch mit der Wellenlänge (etwa proportional λ^2). Hinzu kommt, dass Schwundtiefe und -häufigkeit mit abnehmender Wellenlänge anwachsen. So ergeben in extremen Fällen längere Wellen doch grössere Möglichkeiten.

Anhang II

Richtstrahlverbindungen mit Hilfe künstlicher Sekundärstrahler («Passive Relais»)

Sind zwei Fixpunkte mittels Richtstrahlen zu verbinden, bei denen die optische Sicht durch ein hohes Hindernis in der Nähe eines dieser Punkte verdeckt wird, so besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Verbindung ohne eigentliche Relaisstation über einen künstlichen Sekundärstrahler herzustellen, der auf oder neben dem Hindernis so aufzustellen ist, dass er seinerseits in Sichtbeziehung zu beiden Endpunkten steht. Die Idee des passiven Relais, wie ein solcher Sekundärstrahler auch genannt werden kann, ist nicht neu. Sie wurde bereits von *J. Loeb* im Zusammenhang mit Einkanal-Meterwellenverbindungen zu abgelegenen Stellen in den französischen Alpen eingehender studiert⁸⁾. Die ganze Radartechnik basiert ja auch auf dem Prinzip des Sekundärstrahlers, wo-

⁸⁾ *J. Loeb*. Relais passifs pour ondes métriques et décimétriques. *L'onde électrique* 17 (1938), 338.

bei dann allerdings die Uebertragungsbedingungen bzw. die Reflexionsverhältnisse so ungünstig wie nur möglich liegen.

Es sei hier im Zusammenhange mit der Mehrkanal-Richtstrahltelephonie der Fall des ebenen Metallspiegels und zweier gleichartiger Antennen, die nach den beiden Endpunkten der Uebertragungsstrecke gerichtet und über eine Energieleitung miteinander verbunden sind, näher behandelt.

An anderer Stelle⁹⁾ wurde früher abgeleitet, dass sich für einen Dipol als Sendeantenne, bei freier Ausbreitung auf beiden Teilstrecken d_1 und d_2 und optimal gerichtetem Metallspiegel, am Empfangsort eine Feldstärke ergibt von

$$E_e = \frac{60 \cdot F_R \cdot \cos \alpha}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2} \sqrt{\frac{P_s}{R_s}} \quad (1)$$

Dies gilt näherungsweise für ebene Wellen und nicht zu grosse Winkel α zwischen Wellenfront und Spiegelebene, wenn der kleinste Durchmesser der Spiegel-

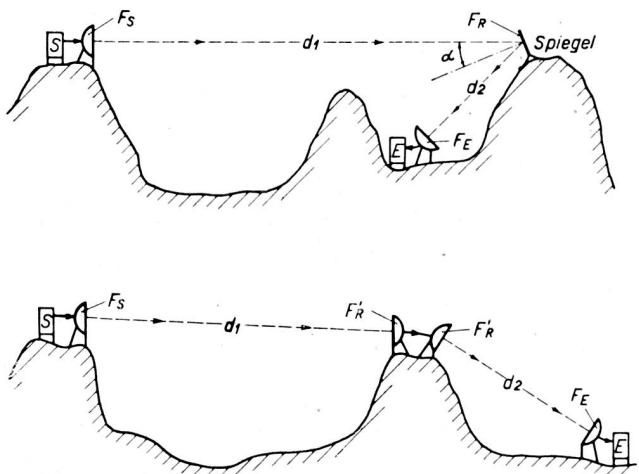


Fig. 24. Richtstrahlverbindung über einen künstlichen Sekundärstrahler (Spiegel, passive Relais)

fläche F_R noch merklich grösser ist als die Wellenlänge $\lambda \cdot R_s$ war der Strahlungswiderstand des Senderdipols, P_s die Strahlungsleistung. Bezieht man sich, wie üblich, auf den Hertzschen Dipol, so lässt sich die Gleichung mit $R_s = 80$ Ohm und $E_{lr} = \sqrt{\frac{45 P_s}{d_1}}$ auch in der allgemeinen Form schreiben:

$$E_e = E_{lr} \cdot \frac{F_R \cdot \cos \alpha}{\lambda \cdot d_2} \quad (2)$$

Dabei ist E_{lr} die primär am Spiegelstandort einfallende Feldstärke. Für $d_2 \ll d_1$ ist E_{lr} annähernd gleich der fiktiven freien Feldstärke E_{eo} , die am Empfangsort in Abwesenheit des Hindernisses vorhanden wäre, woraus

$$E_e \approx E_{eo} \cdot \frac{F_R \cdot \cos \alpha}{\lambda \cdot d_2} \quad (2a)$$

In vielen Fällen ist es praktischer und übersichtlicher mit Leistungen zu rechnen. Die Empfangs-

⁹⁾ *W. Klein und J. Dufour*. loc. cit.

leistung P_e schreibt sich bei optimaler Anpassung mit Hilfe der Absorptionsfläche F_E der Empfangsantenne nach *Fränz* in der Form

$$P_e = \frac{E_e^2}{120 \pi} \cdot F_E \quad (3)$$

Anderseits ist die Absorptionsfläche des Senderdipols (Hertzscher Dipol) F_s gegeben durch die Gleichung

$$F_s = \frac{3 \cdot \lambda^2}{8 \pi} \quad (4)$$

Setzen wir noch die auf die Wellenfront projizierte Spiegelebene

$$F_R \cdot \cos \alpha = F_R^*, \quad (5)$$

so ergibt sich die Empfangsleistung aus den vorangehenden Gleichungen zu

$$P_e = P_s \cdot \left[\frac{F_s \cdot F_E}{\lambda^2 \cdot d_1^2} \right] \cdot \left(\frac{F_R^*}{\lambda \cdot d_2} \right)^2 \quad (6)$$

Hierbei ist die eckige Klammer

$$b_{lr} = \frac{F_s \cdot F_E}{\lambda^2 \cdot d_1^2} \quad (7)$$

die Ausbreitungsdämpfung des freien Raumes über die Strecke d_1 , das heisst für den Fall, dass sich der Empfänger selbst am Spiegelstandort befinden würde, während die runde Klammer

$$b_R = \left(\frac{F_R^*}{\lambda \cdot d_2} \right)^2 \quad (8)$$

die zusätzliche Dämpfung des Sekundärstrahlers und der Strecke d_2 wiedergibt. Damit kann (6) auch geschrieben werden in der Form

$$P_e = P_s \cdot b_{lr} \cdot b_R \quad (9)$$

Für $d_2 \ll d_1$ ergibt sich analog zu (2a):

$$P_e \cong P_s \cdot b_0 \cdot b_R \quad (9a)$$

b_0 ist dann die fiktive Ausbreitungsdämpfung des freien Raumes zwischen Sender und Empfänger, wenn das Hindernis nicht vorhanden wäre. Diese Beziehungen gelten nun allgemein für beliebige Sender- und Empfangsantennen, wenn die entsprechenden Absorptionsflächen eingesetzt werden.

Die Gleichung (6) oder (8) ist aber auch gültig für den Fall, dass der ebene Metallspiegel nach Fig. 24 durch zwei gleichartige getrennte Antennen ersetzt wird, die unter sich reflexions- und verlustfrei verbunden sind. F_R^* bedeutet dann einfach die Absorptionsfläche dieser Sekundärantennen, wie man sich leicht überzeugt.

Entsprechen die Ausbreitungsbedingungen auf den beiden Teilstrecken nicht dem freien Raum, so wären natürlich die entsprechenden Dämpfungsfaktoren zu berücksichtigen. Setzt man in (6) $d_1 = d_2$, so ergibt sich die bekannte Radargleichung für eine parallel zur Wellenfront stehenden Metallplatte, deren Abmessungen gegenüber der Wellenlänge gross vorausgesetzt sind. (Der sogenannte Radarquerschnitt einer solchen Platte ist bekanntlich

$$\sigma_R = \frac{4 \pi \cdot F_R^{*2}}{\lambda^2}.$$

Die zusätzliche Dämpfung b_r durch die Zwischen- schaltung eines Sekundärstrahlers wird nun schon bei verhältnismässig kleinen Entfernungen d_2 ganz beträchtlich. Die Spiegel- bzw. Absorptionsfläche F_R^* kann natürlich nicht beliebig gross gemacht werden, teils aus rein praktischen Gründen, teils wegen der besonders bei sehr kurzen Wellen erforderlichen Formungsgenauigkeit der Antennenflächen. Bei gleicher Absorptionsfläche steigt zudem die Strahlenbündelung mit abnehmender Wellenlänge, so dass man schliesslich auch hier wie bei anderen Richtantennen gebildet eine praktische Grenze erreicht, die durch die mechanische Stabilität der Antennenkonstruktion und die veränderliche Strahlen- brechung der niederen Atmosphäre gegeben ist. Die zahlenmässige Auswertung der Gleichung (8) ist in dem uns interessierenden Bereich dargestellt in Fig. 25.

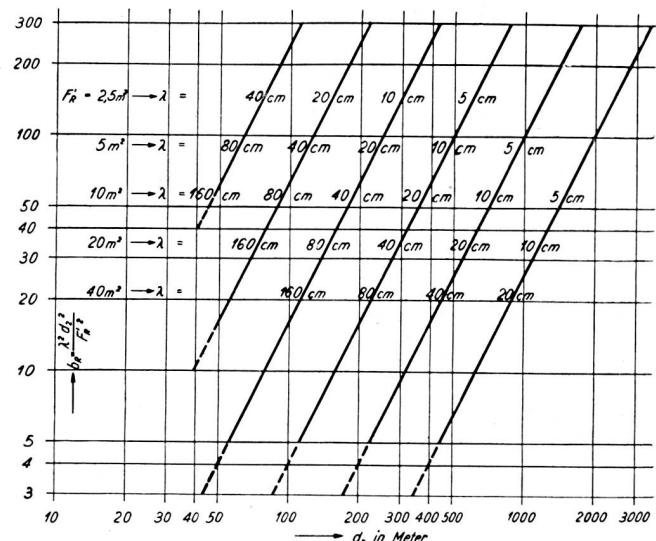


Fig. 25. Zusätzlicher Verlust b_r an übertragener Leistung durch einen künstlichen Sekundärstrahler gegenüber freier Ausbreitung. Die Formel gilt näherungsweise, solange die Voraussetzung der ebenen Welle über die betrachteten Antennenöffnungen erfüllt ist

Es zeigt sich offensichtlich, dass man für die bei Mehrkanaltelephonie verlangte Uebertragungsqualität Entfernungen d_2 von etwa 100 bis allerhöchstens 1000 Meter durch Sekundärstrahler wird überwinden können, wobei zusätzliche Uebertragungsverluste von 10...20 db in Kauf genommen werden müssen. Dies ist für Weitdistanzverbindungen mit den heute bei dm- und cm-Wellen verfügbaren Senderleistungen schon recht viel, kann aber die Anwendung von Sekundärstrahlern unter bestimmten Verhältnissen doch rechtfertigen, insbesondere bei sehr kurzen Wellen.

Natürlich hat der Einsatz eines künstlichen Sekundärstrahlers nur dann einen Sinn, wenn sich damit am Empfangsort eine höhere Feldstärke oder mindestens eine stabilere Uebertragung erzielen lässt als mit dem verhandenen primären Beugungsfeld. Eine Abschätzung auf Grund der Fresnel'schen Beu-

gungstheorie mag in vielen praktischen Fällen bereits nützliche Hinweise geben.

Für Wellenlängen unter 10 cm wäre grundsätzlich an Stelle des passiven Relais auch der Wellenleiter in Betracht zu ziehen, sofern die örtlichen Verhältnisse dessen Anwendung gestatten. Der Wellenleiter ist für die fraglichen Entfernungen d_2 in bezug auf Dämpfung sogar günstiger als ein passives Relais.

Der Einfluss eventueller Rauhreif- und Eisbildung auf die Anpassung und Richtwirkung von Antennen-

gebilden ist natürlich beim passiven Relais doppelt wichtig, da voraussetzungsgemäß eine künstliche Wärmequelle fehlt und man nötigenfalls nicht immer sofort eingreifen können, wenn es sich um einen abgelegenen Standort handelt. Praktische Erfahrungen mit cm-Wellen und Antennen hoher Bündelung liegen noch nicht vor. Bei den heutigen Meterwellen lassen sich durch geeignete Antennenkonstruktion schädliche Einflüsse dieser Art jedenfalls noch leicht vermeiden.

Schwundbekämpfung in Telephonzentralen

von E. Anderfuhren, Bern

621.395.828

Einleitung

Seit der Einführung des automatischen Telephonbetriebes machte sich eine Störung geltend, die man anfänglich mit «Fading», später mit «Schwund» bezeichnete, trotzdem «Fading» in freier Uebersetzung nichts anderes als Schwund bedeutet. Eine sinngemäße Unterscheidung dieser beiden Ausdrücke ist notwendig, da der Radiotechniker mit dem Wort «Fading» einen ganz anderen physikalischen Vorgang bezeichnet, als dies der Telephonfachmann mit dem Worte «Schwund» tut. Im radiotechnischen sowohl als auch im telephonischen Sinne handelt es sich jedoch um einen Effekt, der sich in einem Verbllassen oder Verschwinden der übertragenen Signale (Sprache, Musik) äussert. Im ersten Falle findet dieses Verschwinden und Wiedererscheinen allmählich, im letzteren jedoch plötzlich statt.

Ohne auf die Entstehung des radiotechnischen «Fadings» näher einzutreten, werden mit der vorliegenden Arbeit Ursachen und Bekämpfungsmethoden des telephonischen Schwundes untersucht.

Diese Aufgabe, die sich der Revisionskommision*) der Telegraphen- und Telephonverwaltung stellte, wurde zur näheren Untersuchung der Forschungs- und Versuchsanstalt PTT übertragen, die, in Zusammenarbeit mit den Telephondirektionen Bern und Zürich, die notwendigen Laboratoriums- und Betriebsversuche vorgenommen hat. Es konnte sich dabei nicht darum handeln, durch andere Konstruktionen und geeigneteres Kontaktmaterial optimale Ergebnisse zu erzielen, sondern darum, an den vorhandenen Anlagen und dem vorhandenen Kontaktmaterial diejenigen Vorkehren zu treffen, die den Schwund auf ein Minimum reduzieren, ohne gleichzeitig die Geräuschanfälligkeit zu erhöhen. Wie nachstehend ausgeführt wird, ist es gelungen, Methoden zu entwickeln, die vielversprechende Ergebnisse zeigten.

Es sei jedoch vorweggenommen, dass die Versuche noch nicht abgeschlossen sind und dass sich im Verlaufe der weiteren Untersuchungen neue Aspekte eröffnen können. Sicher scheint jedenfalls zu sein, dass keine Erfindungen gemacht werden können, die an

den im schweizerischen Telephonnetz vorhandenen Anlagen den normalen Unterhalt überflüssig machen. Eine periodische Reinigung aller in Frage kommenden Kontakte der automatischen Maschinenorgane wird nach wie vor erforderlich sein. Auch wird der Verwendung zweckentsprechender Klimatisationsanlagen alle Aufmerksamkeit geschenkt werden müssen.

Die Ursachen der Schwunderscheinungen

Das im Telephonbetrieb unter dem Namen Schwund bekannte plötzliche Absinken oder gänzliche Verschwinden der Sprechströme hat verschiedene Ursachen. Der Schwund tritt gerne an Kontakten mit niedrigen Potentialen auf, besonders wenn diese Kontakte Verschmutzungen aufweisen oder wenn sie aus ungeeignetem Kontaktmaterial bestehen. Ganz besonders gefährlich sind hochglanzpolierte Kontakte. Diese Hochglanzpolitur wird durch den Betrieb der Sucher, Wähler und Folgeschalter erzeugt, da sich die fortwährend aneinander reibenden Flächen gegenseitig abschleifen und zuletzt eine Oberflächenbeschaffenheit aufweisen, die sich kaum mehr von einer gewollten und künstlich hergestellten Hochglanzpolitur unterscheidet.

Ist jedoch einmal dieser Zustand erreicht, so lässt er sich nicht mehr leicht beseitigen. In gewissen Automatensystemen ist man dazu übergegangen, die hochglanzpolierten Kontaktflächen mit besonderen Apparaturen wieder aufzurauen. Dieses Verfahren lässt sich jedoch nicht in allen Systemen und bei allen Kontaktarten anwenden.

Ausser dieser, nicht leicht zu beseitigenden Ursache des Schwundes sind auch andere Ursachen vorhanden, deren Beseitigung jedoch zumeist nur eine Frage des Unterhaltes ist und die deshalb hier nicht näher erörtert werden sollen. Da seit langem bekannt ist, dass Schwund bei ungenügender Raumfeuchtigkeit auftritt, muss die relative Luftfeuchtigkeit im Wählersaal wenn nötig künstlich erhöht werden.

Die Bekämpfung des Schwundes

Um den Schwund zunächst im Laboratorium bekämpfen zu können, musste eine Vorrichtung geschaffen werden, mittelst welcher Schwunderschei-

*) Unterkommision der Planungskommision, die sich mit Fragen des Unterhalts der Telephonzentralen befasst.