

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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 40 (1962)

Heft: 6

Artikel: Ausmessung der Richtstrahldiagramme von Meterwellen-Sendeantennen mit Helikopter = Relevé du diagramme directif d'antennes d'émission pour ondes métriques au moyen d'un hélicoptère

Autor: Marti, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875122>

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: 02.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von den Schweizerischen Post-, Telefon- und Telegraphen-Betrieben - Publié par l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses. - Pubblicato dall'Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

E. Marti, Bern

Ausmessung der Richtstrahldiagramme von Meterwellen-Sendeantennen mit Helikopter

Relevé du diagramme directif d'antennes d'émission pour ondes métriques au moyen d'un hélicoptère

621.317:621.396.67.095.3

Zusammenfassung. Die Ausmessung der Strahlungsdiagramme von UKW- oder Fernsehsendeantennen ist nicht in jedem Falle einfach. Schwierigkeiten treten hauptsächlich bei Bodenmessungen (Land- oder Seemessungen) auf. Ihre Genauigkeit ist auch nicht besonders gross, und sie dürfte in der Grössenordnung ± 3 dB liegen. Ferner ist es in den wenigsten Fällen überhaupt möglich, mit Bodenmessungen das Vertikaldiagramm zu bestimmen. Deshalb verlegt man für solche Fälle die Messapparatur in einen Helikopter, mit dessen Hilfe sich im Horizontalflug das Horizontaldiagramm und im Vertikalflug (Sinkflug an Ort und Stelle) das Vertikaldiagramm mit einer Genauigkeit in der Grössenordnung von $\pm 1,5$ dB gut bestimmen lässt. In der vorliegenden Arbeit werden die von den Schweizer PTT verwendete Messapparatur und das Vorgehen für die Festlegung der Flugstrecke beschrieben, und am Schluss findet eine Gegenüberstellung der verschiedenen Messmethoden statt.

1. Zweck und Ziel

Heute benutzt man infolge der verhältnismässig grossen Bandbreiten, wie sie für die Übertragung der FM-Rundspruch- und im besonderen der Fernsehsignale benötigt werden, hohe Frequenzen im Bereich zwischen 50 und 1000 MHz bei meist horizontaler Polarisierung. Für diese Frequenzen haben sich unter anderem folgende Formen von Sendeantennen als besonders zweckmässig erwiesen: $\lambda/2$ - und λ -Dipole, Yagiantennen, Schmetterlingsantennen, Schlitzantennen und Corner-Reflektoren. Das Horizontaldiagramm dieser Sendeantennen ist in den wenigsten Fällen rund, denn bei den in der Schweiz vorliegenden Geländeverhältnissen muss dieses oft ausgeprägte Mehrfachkeulenform aufweisen, und zwar deshalb, weil sich die Antenne meist auf dem Grat eines Hügelzuges oder auf einem freistehenden Berg be-

Résumé. Il n'est pas toujours facile de relever le diagramme directif d'antennes pour émetteurs de radiodiffusion à modulation de fréquence ou de télévision. Les mesures au sol (sur terre ferme ou sur l'eau) présentent en particulier des difficultés. Leur précision d'environ ± 3 dB n'est pas bien bonne. D'autre part, il est rare que l'on puisse relever le diagramme vertical d'une antenne par des mesures faites au sol. Pour éviter ces inconvénients, on peut placer l'appareillage de mesure à bord d'un hélicoptère. Le diagramme horizontal s'obtient en vol horizontal et le diagramme vertical en descente à la verticale du lieu choisi. Dans ces conditions, on atteint aisément une précision de $\pm 1,5$ dB. Le présent article décrit l'appareillage de mesure aéroporté et le procédé de repérage de la position de l'hélicoptère en vol utilisés par les PTT suisses; il se termine par une comparaison des diverses méthodes de mesure, sur terre, sur l'eau et par hélicoptère au point de vue de leur précision, de leur prix et du temps qu'elles nécessitent.

1. Objet et but

Les bandes de fréquence relativement larges nécessaires à la transmission de la radiodiffusion à modulation de fréquence et surtout à celle de la télévision font que l'on utilise aujourd'hui les hautes fréquences comprises entre 50 et 1000 MHz. La transmission a lieu le plus souvent en polarisation horizontale. Les formes d'antennes qui se sont révélées les plus pratiques à ces fréquences sont: les antennes Yagi, les antennes papillons, les antennes à fentes et les antennes à dièdre. Sauf quelques exceptions, le diagramme horizontal de ces antennes d'émission n'est pas rond. En Suisse, en particulier, le terrain accidenté nécessite des diagrammes à lobes multiples. En effet, les antennes se trouvent la plupart du temps sur des montagnes d'où elles doivent rayonner dans la direction de différentes vallées et vers la plaine. D'autre part, la

findet. Von hier aus sind die in verschiedenen Richtungen verlaufenden Täler und Flachlandgebiete zu versorgen. Ferner bedingt die gegenüber dem Einzugsgebiet erhöhte Lage des Senders eine Absenkung der vertikalen Abstrahlung, die in besonderen Fällen zudem noch verschieden für die einzelnen Hauptrichtungen sein kann.

2. Messmethoden

Bevor nun neue UKW- oder Fernsehsender in Betrieb genommen werden, besteht oft das Bedürfnis, die Strahlungsdiagramme der Sendeantennen auszumessen. Eine vorherige Kontrolle dieser Diagramme könnte auch an einem Antennenmessplatz erfolgen; dies ist jedoch mit beträchtlichem Aufwand verbunden. Es lohnt sich deshalb nicht, grosse Antennenkonstruktionen eigens für solche Messungen an diesem Ort aufzustellen. Die Ausmessung wird meist erst dann vorgenommen, wenn die gesamte Antennenanlage endgültig am Sendestandort montiert und angeschlossen ist. Für die Messungen stehen zwei Methoden zur Verfügung, und zwar

- Land- oder Seemessungen,
- Luftmessungen (mit Flugzeug oder Helikopter).

2.1. Land- oder Seemessungen

Dieses Verfahren verlangt eine sehr grosse Sorgfalt in der Auswahl der Messpunkte oder -strecken in bezug auf Hindernisfreiheit und Sicht in Richtung Sender sowie das Vorliegen einfacher, definierter Wellenausbreitungsverhältnisse, wie sie durch die Zweiwegausbreitung gegeben sind (Fig. 1).

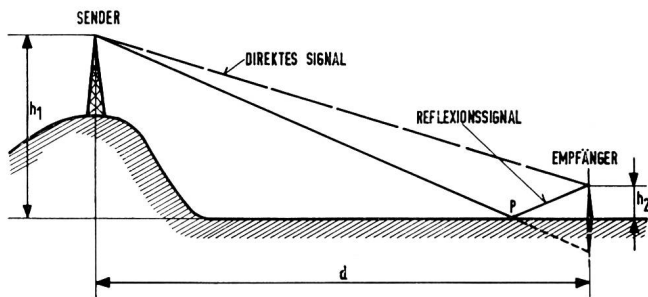


Fig. 1. Zweiwegausbreitung. Am Empfangsort treffen zwei Komponenten ein: das direkte Signal und das Reflexionssignal. Da in der Praxis meist $h_1 \gg h_2$ ist, befindet sich für diese Fälle die Reflexionsstelle P in der Nähe der Empfangsantenne

Propagation par l'onde directe et une réflexion simple. Le signal reçu est formé de deux composantes. Ordinairement, h_1 est beaucoup plus grand que h_2 , de sorte que le point de réflexion P se trouve au voisinage de l'antenne de réception

Am Empfangsort beträgt die Phasendifferenz der beiden Wellen

$$\theta = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad (1)$$

und Feldstärke E ist gegeben durch

$$E = 2 E_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

position surélevée des émetteurs oblige à utiliser des antennes dont le rayonnement est incliné vers le bas d'une manière qui peut être différente selon les azimuts.

2. Méthodes de mesure

Avant de livrer à l'exploitation de nouveaux émetteurs à ondes métriques, il est souvent nécessaire de relever les diagrammes de leurs antennes. On pourrait, il est vrai, contrôler ces antennes sur une place de mesure spécialement aménagée, mais cette manière de faire exigerait des moyens matériels très importants. Il n'est pas économique de procéder au montage de grandes antennes sur une telle place uniquement pour en mesurer les diagrammes directifs. On préfère presque toujours mesurer les antennes montées à leur emplacement définitif et raccordées à l'émetteur auquel elles sont destinées. Il y a deux méthodes de mesure:

- les mesures au sol, sur terre et sur l'eau,
- les mesures aériennes, en avion ou en hélicoptère.

2.1. Mesures sur terre ou sur l'eau

Les mesures au sol exigent de grandes précautions dans le choix des points de mesure qui doivent être en liaison optique avec l'émetteur et présenter un tracé libre d'obstacles; il faut que les conditions de propagation de l'onde directe et de l'onde réfléchie soient simples et bien définies (fig. 1).

Au point de réception, la différence de phase des deux ondes a pour valeur

$$\theta = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad (1)$$

et l'intensité du champ E vaut

$$E = 2 E_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

On calcule aisément E_0 , le champ en espace libre, par la formule bien connue

$$E_0 = \frac{7 \sqrt{P}}{d} \quad (3)$$

où P est la puissance apparente rayonnée.

Lors des mesures pratiques sur terre ou sur l'eau, on relève le champ en fonction de la hauteur de l'antenne de réception au-dessus du sol comme le montre la figure 2a ou en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur selon la figure 2b. Les formes trouvées sont conformes à la formule 2. On déduit le champ en espace libre que l'on désire connaître des valeurs de la fonction de hauteur: $E_0 = 1/2 E_{\max}$. C'est ainsi que l'on obtient des points ou des portions du diagramme directif de l'antenne à contrôler. Ces mesures ne sont pas aussi faciles à exécuter qu'elles le semblent à première vue. La plupart du temps, on ne peut guère compter sur une précision supérieure à ± 3 dB avec cette méthode. Dans les meilleures conditions de terrain, on arrive peut-être à ± 2 dB.

En pratique, la méthode est affectée par les deux graves inconvénients suivants:

wobei sich die Freiraumfeldstärke E_0 theoretisch aus der bekannten Formel

$$E_0 = \frac{7 \sqrt{P}}{d} \quad (3)$$

berechnen lässt. Hierbei ist P die abgestrahlte Leistung.

Die praktische Durchführung der Land- beziehungsweise Seemessungen ergibt als Resultat die Höhenfunktion nach *Figur 2a* oder die Funktion $E = f(d)$ nach *Figur 2b*. Theoretisch lässt sich diese Kurvenform aus der Formel (2) ableiten. Aus der gemessenen Höhenfunktion erhält man die gesuchte Freiraumfeldstärke aus $E_0 = 1/2 E_{\max}$, was sich vektoriell auch gut erklären lässt. So erhält man schliesslich punkt- oder stückweise das gesuchte Strahlungsdiagramm der auszumessenden Sendeantenne.

So einfach diese Messung auf den ersten Blick erscheinen mag, treten in der Praxis doch einige Schwierigkeiten auf, so dass man mit dieser Methode in den meisten Fällen mit einer Messgenauigkeit von bloss $\pm 3\text{dB}$ rechnen kann. Nur bei sehr günstigen Geländeverhältnissen wird diese Genauigkeit vielleicht $\pm 2\text{dB}$ betragen. Dem ganzen Vorhaben haften nämlich zwei grosse Nachteile an:

a) Solch ideale Zweiwegausbreitungen, wie sie in *Figur 1* beschrieben sind, finden sich in der Praxis selten. Vielfach besteht eine Mehrwegausbreitung, wie sie in einem Beispiel an *Figur 3* dargestellt ist.

Bei diesen Verhältnissen werden die gemessenen idealen Kurvenformen der *Figur 2* nicht mehr auftreten, vor allem sind die Minima- und Maxima-stellen nicht mehr derart ausgeprägt. Die Auswertung, etwa der Höhenfunktion, erfordert etwas Übung und ist dadurch auch mit subjektiven Fehlern behaftet. In einfacheren Fällen rechnet man nun für die Freiraumfeldstärke $E_0 = 1/2 (E_{\max} + E_{\min})$. Um bei diesen Messungen Zufälligkeiten zu vermeiden, wird man in der Praxis also eine gewisse Statistik treiben müssen, das heisst je Hauptstrahlrichtung müssen möglichst viele Höhenfunktionen aufgenommen werden.

b) In der Praxis ist es auch nie möglich, beispielsweise das Horizontaldiagramm in einer bestimm-

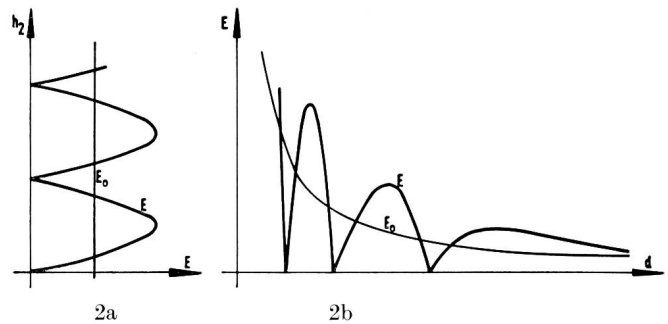


Fig. 2. Praktische Durchführung von Land- beziehungsweise Seemessungen, Aufnahme von $E = f(h_2)$, Höhenfunktion nach *Figur 2a* beziehungsweise $E = f(d)$ nach *Figur 2b*. Réalisation pratique des mesures au sol sur terre et sur eau. La figure 2a représente la fonction de la hauteur au-dessus du sol $E = f(h_2)$ et la figure 2b, $E = f(d)$

a) Les conditions idéales de propagation représentées par la figure 1 existent rarement; au lieu de cela, on a très souvent une propagation par trajets multiples du genre indiqué à la figure 3. On n'obtient plus alors des courbes idéales comme celle de la figure 2, mais des courbes présentant des maximums et des minimums moins accentués. Il faut un certain exercice pour interpréter correctement les fonctions de hauteur et la personne qui en est chargée introduit fatalement un élément d'erreur subjectif.

Dans les cas les plus simples, on admet, comme nous l'avons vu, que le champ en espace libre est $E_0 = 1/2 (E_{\max} + E_{\min})$. Afin de réduire les erreurs dues au hasard, on doit procéder par voie statistique et relever dans chacun des axes principaux de rayonnement le plus grand nombre possible de fonctions de hauteur.

b) On ne peut jamais mesurer le diagramme horizontal d'une antenne à une altitude déterminée. D'autres limites sont en outre imposées par l'étendue du terrain et par ce qui le recouvre. Les mêmes raisons ne permettent qu'exceptionnellement de relever un diagramme vertical par des mesures au sol. Ainsi, on a été amené naturellement à placer l'appareillage de mesure sur un engin volant. L'hélicoptère est le seul qui convienne pour les ondes métriques, car nul autre n'est capable de se déplacer en vol horizontal à la faible vitesse requise de 60 km à l'heure, ni de descendre à la verticale d'un lieu choisi (pour relever le diagramme vertical).

2.2. Mesures aériennes

Lorsque les lobes principaux du rayonnement des antennes d'émission ne sont pas trop fortement inclinés vers le bas, on se contente de mesurer le diagramme horizontal de l'antenne à la hauteur de son centre de gravité. Si l'onde directe seule arrive au récepteur et si les réflexions du sol sont négligeables, on peut relever le diagramme horizontal au cours d'un seul vol circulaire.

En pratique, il n'est naturellement pas possible d'éviter certaines réflexions perturbatrices. C'est la

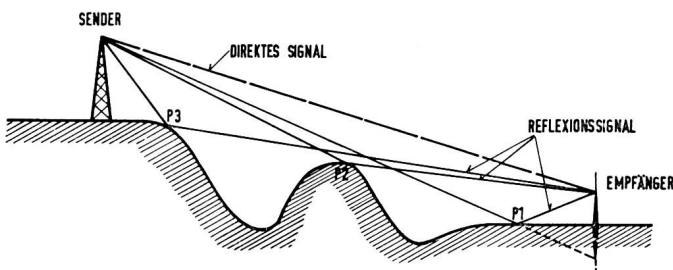


Fig. 3. Mehrwegausbreitung. Am Empfangsort treffen hier zum Beispiel vier Komponenten ein, das direkte Signal und drei Reflexionssignale, die an den Punkten P_1 , P_2 und P_3 reflektiert werden

Propagation par trajets multiples. Plusieurs composantes du rayonnement, 4 dans le cas représenté, atteignent le lieu de réception: l'onde directe et trois ondes réfléchies respectivement aux points P_1 , P_2 et P_3

ten Messhöhe (in m ü.M.) durchzumessen. Durch die beschränkte Ausdehnung des Geländes und dessen Überbauung sind weitere Grenzen gesetzt. Aus den gleichen Gründen kann das Vertikaldiagramm in den wenigsten Fällen bestimmt werden. Es war deshalb naheliegend, für besondere Fälle die Messapparatur in ein Flugzeug zu verlegen. Für die Ausmessung der Richtdiagramme von Meterwellen-Sendeantennen kann aus verschiedenen Gründen nur der Helikopter in Frage kommen. Erstens ist dies der einzige Flugzeugtyp, mit dem man die erforderliche, verhältnismässig geringe Fluggeschwindigkeit von nur etwa 60 km/h innehalten kann, wie sie zum Ausmessen des Horizontaldiagrammes notwendig ist, und zweitens ist der gesteuerte Vertikalfly an Ort und Stelle (zur Bestimmung des Vertikaldiagrammes) lediglich mit dem Helikopter möglich.

2.2. Luftmessungen

Sofern die Hauptkeulen der Sendeantennen vertikal nicht zu stark abgesenkt sind, wird man in diesen Fällen das Horizontaldiagramm in der Höhe des Sendeantennenschwerpunktes durchmessen. Liegt eine Einwegausbreitung vor (am Empfangsort trifft nur das direkte Signal ein, es treten zum Beispiel keine Bodenreflexionen auf), kann das Horizontaldiagramm mit einer einmaligen Umfliegung bestimmt werden.

Gewisse Störreflexionen werden praktisch natürlich nie auszuschalten sein. Deshalb umfliegt man auch hier, je nach den topographischen Verhältnissen, die Sendeantenne mehrmals im Kreis oder im Viereck mit verschiedenen Radien oder Seitenlängen, um die Messresultate statistisch zu erfassen. Für unsere Fälle werden Distanzen innerhalb $d = 1$ bis 10 km in Frage kommen. Die Flugstrecke wird nun nach folgenden Gesichtspunkten festgelegt:

- Ausschaltung der Bodenreflexionen, das heisst vorerst einmal nicht zu tief über Boden fliegen. Die Empfangsantenne muss ebenfalls vertikal gebündelt sein.
- Seitliche Reflexionen müssen klein gehalten werden, deshalb umfliegt man den Sender in möglichst kleiner Entfernung d , um ein entsprechend grosses direktes Signal am Empfänger zu erhalten.

Auch für die Erfassung des Vertikaldiagramms gelten die gleichen Überlegungen; man wird je Hauptstrahl bis zu drei Sinkflüge oder mehr durchführen. Hierbei steigt man auf eine gewisse Höhe auf, meistens auf 2000 bis 3000 m ü.M., und lässt am Messpunkt den Helikopter mit einer Fallgeschwindigkeit von 5 bis 15 m/s bis etwa 150 m über Boden senkrecht absteigen. Während dieses Sinkfluges wird die Feldstärke registriert. Man hat auf diese Weise die Möglichkeit, Elevationen bis zu $\pm 20^\circ$ auszumessen. Für praktische Fälle ist dies genügend, denn die ersten Minima der Sendeantennen sind meistens zwischen 5° und 15° seitlich der Hauptkeule anzutreffen.

raison pour laquelle on procède ici aussi par voie statistique. On répète les vols autour de l'antenne d'émission soit en cercle soit en carré, avec des rayons ou des côtés plus ou moins longs. Dans les cas qui nous intéressent, des distances d de 1 à 10 km entrent en ligne de compte.

On choisit l'itinéraire de l'hélicoptère de manière à

- éliminer les réflexions du sol; cela impose surtout de ne pas voler trop bas. Il faut d'autre part utiliser une antenne de réception présentant une certaine directivité dans le sens vertical.
- Les réflexions latérales doivent rester faibles, c'est la raison pour laquelle on tourne aussi près que possible autour de l'émetteur. En réduisant la distance d , on accroît d'autant le niveau du signal direct.

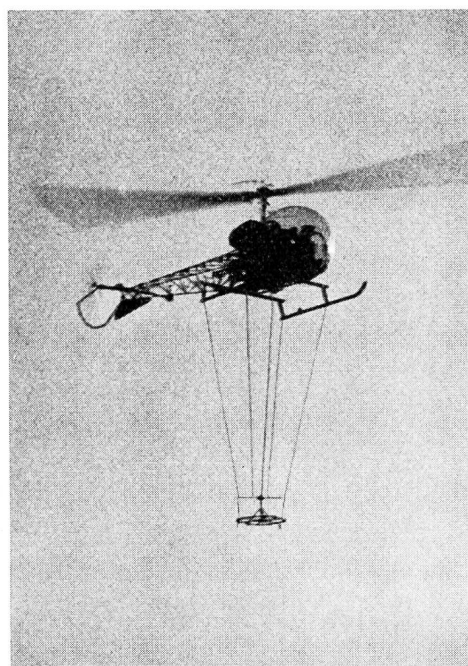


Fig. 4. Messflug mit Helikopter und Rundantenne für die Ausmessung der Strahlungsdiagramme von Meterwellenantennen bei horizontaler Polarisation

Vol d'un hélicoptère muni d'une antenne circulaire pour le relevé des diagrammes du rayonnement d'antennes d'émission d'ondes métriques polarisées horizontalement

Les mêmes considérations sont valables pour le relevé des diagrammes verticaux. Dans chacune des directions principales de rayonnement, on effectue jusqu'à trois descentes et même plus à la verticale, à partir d'une altitude qui est le plus souvent de 2000 à 3000 m au dessus du niveau de la mer. On procède à l'enregistrement du champ jusqu'à 150 m environ au-dessus du sol en descendant à une vitesse comprise entre 5 et 15 m/s.

De cette manière, on peut explorer les élévations de plus à moins 20° , pour un émetteur situé de 1000 à 1500 m d'altitude. Cela suffit en pratique, car les premiers minimums de rayonnement des antennes d'émission se trouvent habituellement à une distance de 5° à 15° de l'axe des lobes principaux.

3. Praktische Durchführung von Luftmessungen

Von diesen Überlegungen ausgehend, wurden die beiden Strahlungsdiagramme der Fernseh-Sendeantennen La Dôle (Nachkontrolle des Diagrammes) und Niederhorn (Versuchsmessung im Zuge der Planung, wobei das Vertikaldiagramm nicht abgesenkt wurde) ausgemessen. Hierzu führten die PTT, in Zusammenarbeit mit der schweizerischen *Helikopter AG «Heliswiss»*, solche Messflüge durch. Als Messfrequenz wählte man die des jeweiligen Senders. Sie beträgt für

La Dôle $f_{\text{ton}} = 67,75 \text{ MHz}$ (Kanal 4)

Niederhorn $f_{\text{ton}} = 229,75 \text{ MHz}$ (Kanal 12)

Für die praktische Durchführung der Messungen mussten und durften einige Vereinfachungen getroffen werden. Vorerst gestatteten die Platzverhältnisse im Helikopter nur die Aufnahme von Pilot, Mess-techniker und Messapparatur. Ferner verzichtete man auf eine Theodolitenvermessung vom Boden her, so dass das dazugehörige Übermittlungssystem wegfallen konnte. Auch das Nachführen der Empfangsantenne erübrigte sich, da eine Antenne mit horizontaler Rundcharakteristik Verwendung fand. Dies drängte sich vor allem deshalb auf, weil der Mess-techniker unmöglich, zusätzlich zur Messapparaturüberwachung, noch eine Empfangsantenne mit ausgeprägter Richtcharakteristik in Richtung Sender bedienen konnte.

Der Flugplan für Horizontal- sowie Sinkflüge wurde nach Bodenmerkpunkten (Kirchen, Grate, Kreuzungen usw.) festgelegt. Während des Fluges markierte man dieselben auf dem Registrierstreifen. Die Kursabweichungen betrugen so höchstens 40 m beim Horizontalflug und höchstens etwa 20 m beim Vertikalflug. Der durch diese verhältnismässig kleine Distanzänderung verursachte Messfehler in der Feldstärke beträgt im ungünstigsten Falle wenige Prozente, was sich durchaus mit der gesamten Messgenauigkeit verträgt.

Die Höhenmessung mit eingebautem Barometer kann mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 15 \text{ m}$ durchgeführt werden. Im ungünstigen Falle ergibt das für die Winkelmessung beim Vertikaldiagramm einen Fehler $< \pm \frac{1}{2}^\circ$. Vor Flugbeginn wird jeweils der Barometerstand beim Sender auf der Höhe des Sendean-tennenschwerpunktes auf den richtigen Wert geeicht.

Aus den Kartenausschnitten, *Figuren 5 und 6*, ist die jeweilige Flugstrecke zu ersehen. Dank der grossen Erfahrung des Piloten und des günstigen Wetters konnte diese jeweils gut eingehalten werden.

Die Flugstrecke für die Messungen von La Dôle legte man so an, dass der uns vor allem interessierende Teil des Horizontaldiagramms zweimal mit verschiedenem Abstand durchflogen wurde. Die Sinkflüge an den Punkten P_1 , P_3 und P_4 liegen in den Hauptstrahl-richtungen. Flugdauer 3 h 04' ab Flugplatz Gland-Prangins bei Nyon. Bei der Flugstrecke für die Niederhorn-Messung musste die Distanz d klein gehalten werden, damit die starken Reflexionssignale

3. Exécution des mesures aériennes

Les diagrammes de rayonnement verticaux et horizontaux des antennes des émetteurs de télévision de la Dôle (contrôle a posteriori du diagramme) et du Niederhorn (mesure d'essai au cours des études, pour laquelle le diagramme vertical n'était pas incliné vers le bas) ont été relevés par les PTT dans l'esprit de ce qui précède avec la collaboration de la société «*Heliswiss*».

Les fréquences de mesures choisies furent celles des émetteurs pour le son soit :

$f_{\text{son}} = 67,75 \text{ MHz}$ (canal 4) pour la Dôle

$f_{\text{son}} = 229,75 \text{ MHz}$ (canal 12) pour le Niederhorn

Des exigences pratiques imposèrent certaines simplifications : pour des raisons de place, l'hélicoptère n'avait à bord que le pilote, l'appareillage de mesure et l'opérateur chargé des relevés radioélectriques. D'autre part, on renonça à un contrôle de la position de l'hélicoptère par des théodolites placés au sol. On économisa ainsi le dispositif de télécommunication correspondant. Grâce à une antenne de réception à caractéristique circulaire, on put se passer de pointer constamment l'aérien du champ-mètre vers l'émetteur. Il aurait du reste été impossible au technicien chargé des mesures d'assurer simultanément la surveillance du dispositif de mesure et la manœuvre d'une antenne directive.

Les parcours des vols horizontaux et verticaux furent fixés d'après des repères topographiques tels qu'églises, crêtes de montagnes, croisement de routes, etc. Au cours du vol, on indiqua ceux-ci sur les bandes d'enregistrement. Les écarts de position atteignirent au plus 40 m en vol horizontal et 20 m en vol vertical. Ces écarts relativement faibles peuvent introduire dans les cas les plus défavorables des erreurs de mesure de quelques pour-cent ; ils sont parfaitement compatibles avec la précision générale des mesures.

Les mesures d'altitude effectuées au moyen d'un baromètre placé à bord de l'hélicoptère ont une précision de l'ordre de $\pm 15 \text{ m}$. Il s'ensuit dans les cas les plus défavorables une faute plus petite que $\pm \frac{1}{2}^\circ$ pour l'élévation dans les diagrammes verticaux. Avant chaque vol de mesure, on ajuste l'altimètre à la hauteur du centre de gravité de l'antenne.

Les routes de vol sont reproduites sur les cartes des *figures 5 et 6*. Elles purent être suivies exactement grâce à la grande expérience du pilote et aux bonnes conditions atmosphériques.

Le vol de mesure de la Dôle fut établi de manière à pouvoir relever deux fois à des distances différentes la portion du diagramme horizontal qui nous intéressait le plus. Les descentes aux points P_1 , P_3 et P_4 se trouvent dans l'axe des lobes principaux. La durée du vol effectué à partir de l'aérodrome de Prangins, près de Nyon, fut de 3 heures et 4 minutes.

Lors du vol de mesure du Niederhorn, il fallut rester à une faible distance d de l'émetteur afin d'éviter une trop grande influence des réflexions

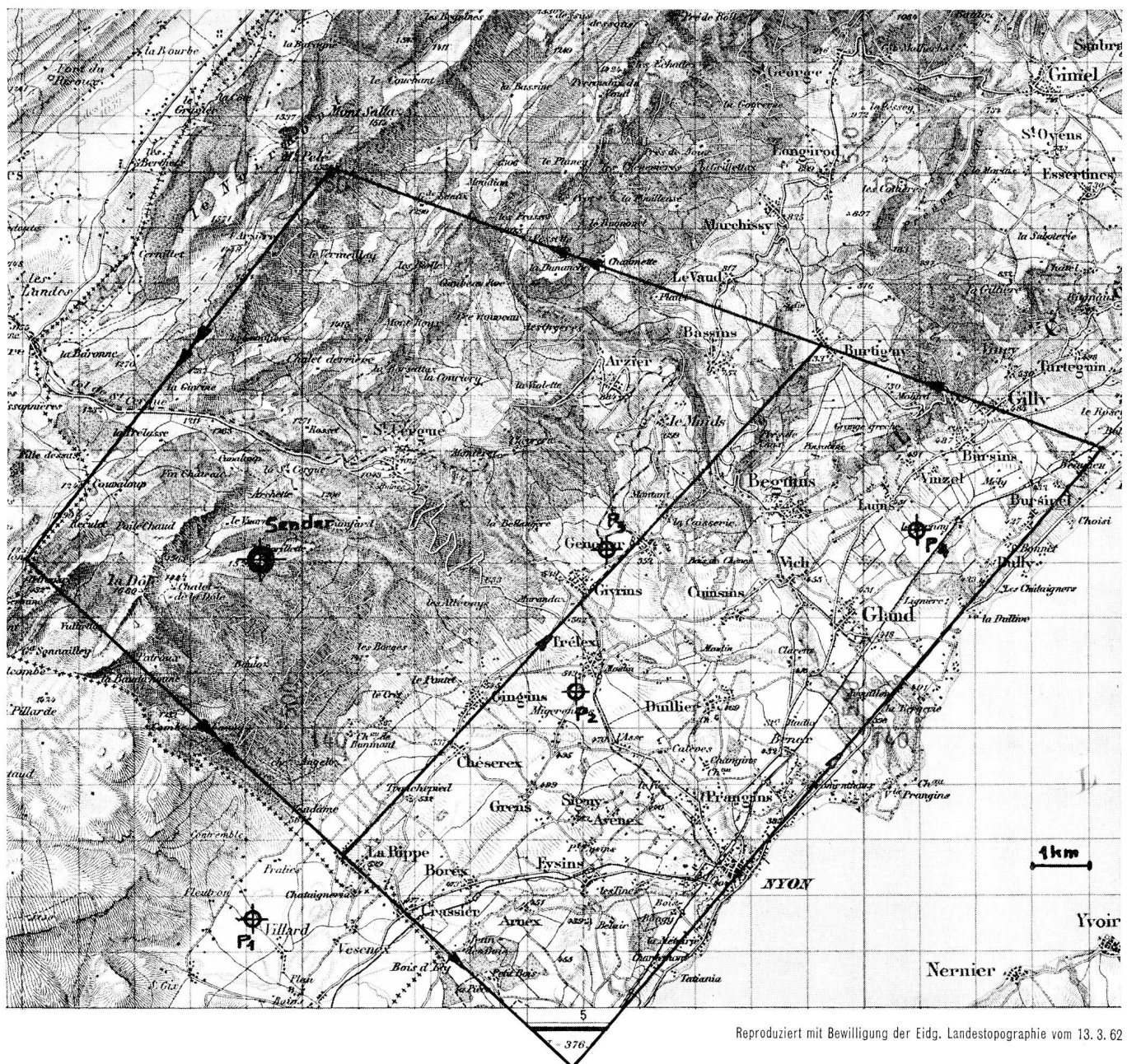


Fig. 5. Flugstrecke für die Ausmessung des Strahlungsdiagramms der Fernsehantenne des Senders La Dôle
Parcours pour relever le diagramme de rayonnement de l'antenne de l'émetteur de télévision de la Dôle

vom Morgenberghorn im Süden und vom Hardergrat im Osten verhältnismässig klein ausfielen. Man durchflog die Hauptstrahlrichtungen dreimal, einmal in einem V-förmigen Teil und dann noch zweimal in einem Viereck. Aus dem Grade der Übereinstimmung und Reproduzierbarkeit der Messungen lässt sich die Grösse der Störreflexionen abschätzen. In den Hauptstrahlrichtungen führte man auch hier die Sinkflüge für die Vertikaldiagrammbestimmung an den Punkten P₁, P₃ und P₄ durch. Flugdauer ab Flugplatz Belpmoos-Bern 2 h 49'.

4. Messapparatur für Luftmessungen

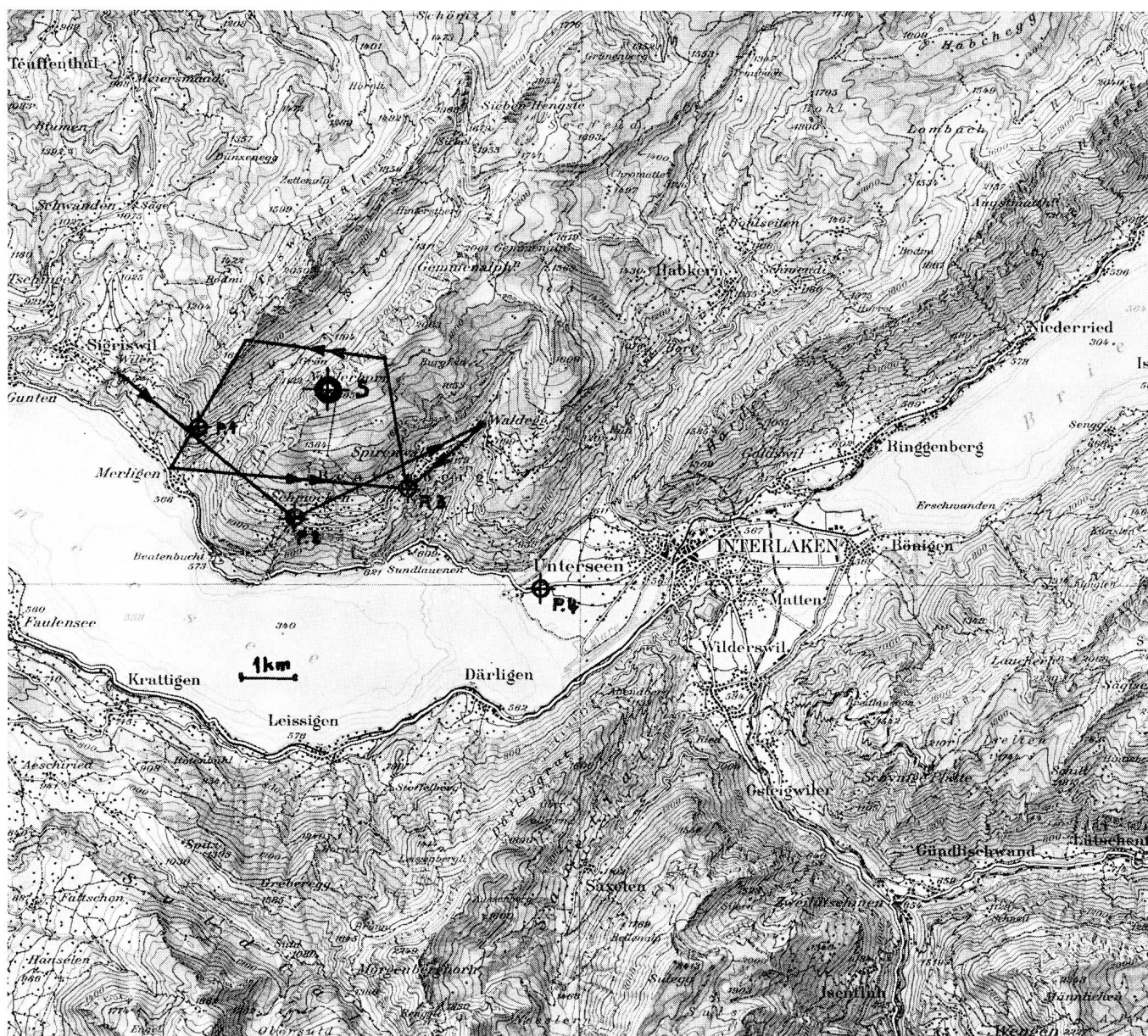
Die Messapparatur bestand aus Empfangsantenne mit Speisekabel, Feldstärkemessgerät, Akkumulator (6 V, etwa 60 Ah) und Tintenschreiber Esterline Angus 1 mA.

provenant du Morgenberghorn au sud et de la crête du Harder à l'est.

On parcourut trois fois les directions principales de rayonnement: d'abord en V, puis deux fois en rectangle. Le degré de correspondance et la reproductibilité des mesures permettent d'estimer l'ordre de grandeur des réflexions. Des descentes destinées à relever les diagrammes verticaux furent faites aux points P₁, P₃ et P₄. Le vol exécuté à partir du champ d'aviation de Belpmoos près de Berne dura 2 h. 49 min.

4. Appareillage de mesure aéroporté

L'appareillage utilisé se composait d'une antenne de réception avec son câble, d'un champ-mètre, d'un accumulateur (6 V et 60 Ah) et d'un enregistreur à plume Esterline Angus 1 mA.



Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 13. 3. 62

Fig. 6. Flugstrecke für die Ausmessung des Strahlungsdiagramms der Fernsehantenne des Senders Niederhorn
Parcours pour relever le diagramme de rayonnement de l'antenne de l'émetteur de télévision du Niederhorn

4.1. *Empfangsantenne.* Für beide Messflüge fand dieselbe 6-Element-Rundantenne nach *Kandoian* Anwendung, wie sie in *Figur 8* dargestellt ist. Das Horizontaldiagramm dieser Antenne war für beide Frequenzen in der Spannung nur $\pm 5\%$ unrund. Für das Vertikaldiagramm betrug die Halbwertsbreite $\pm 50^\circ$ für die Messung La Dôle und $\pm 65^\circ$ für die Messung Niederhorn. Die Antenne hing an Schnüren 5,6 m unterhalb des Helikopterrumpfes.

4.2. *Feldstärkemessgerät.* Man benutzte das Feldstärkemessgerät RCA, Typ BW-7A, das mit einem 6-V-Akkumulator betrieben wurde. Dank dem eingebauten Eichgenerator bestand während des Messfluges die Möglichkeit, die Eichung nachzukontrollieren und gegebenenfalls nachzukorrigieren.

4.3. *Schreiber.* Der dem Feldstärkemessgerät ange-

4.1. *Antenne de réception.* Lors des deux vols de mesure, on s'est servi d'une antenne omnidirectionnelle à 6 éléments selon *Kandoian* du type représenté par la *figure 8*. Les écarts du diagramme horizontal de ces antennes par rapport au cercle parfait n'ont pas dépassé 5% dans les deux cas. Quant à leur diagramme vertical, il présentait une ouverture de $\pm 50^\circ$ à mi-amplitude pour la mesure de la Dôle et de $\pm 65^\circ$ pour celle du Niederhorn. Les antennes étaient suspendues par des cordelettes à 5,6 m en dessous du fuselage de l'hélicoptère.

4.2. *Champ-mètre.* Le champ-mètre utilisé était un appareil RCA du type BW 7A alimenté par un accumulateur de 6 V. Cet instrument possède un générateur incorporé au moyen duquel on peut vérifier et, au besoin, corriger sa sensibilité au cours des mesures.



Fig. 7. Vorbereitung der Rundantenne vor dem Start zur Messung der Fernsehantenne La Dôle
Préparation de l'antenne circulaire avant le départ pour la mesure de rayonnement de l'antenne de la Dôle

passte 1-mA-Esterline-Angus-Tintenschreiber konnte nach einigen Vorversuchen mit Erfolg eingesetzt werden. Anfänglich bestanden einige Schwierigkeiten, weil während des Fluges die Schreibfeder umherhüpfte und kleckste, denn durch den laufenden Motor und die rotierende Luftschraube vibriert der Flugzeugrumpf erheblich. Ebenfalls muss der Einfluss des Luftdruckes (Sinkflüge) in Betracht gezogen werden. Durch die richtige Wahl von Registriertinte und

4.3. *Enregistreur à plume.* L'enregistreur normalement utilisé avec le champ-mètre RCA est un appareil Esterline Angus de 1 mA. Il fallut au début remédier à quelques difficultés dues aux vibrations du fuselage ainsi qu'à l'influence de la pression atmosphérique lors des descentes. On put assez facilement corriger les décollements de la plume en réglant sa pression sur le papier et les défauts d'écoulement de l'encre en choisissant un produit de fluidité convenable. Finalement, on obtint des enregistrements tout à fait propres.

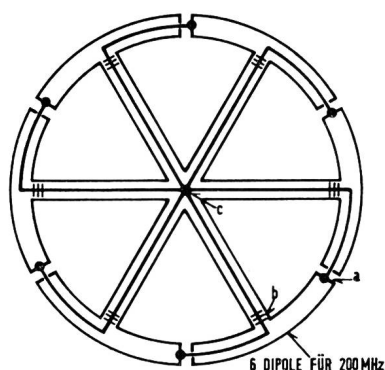


Fig. 8. Rundantenne nach Kandoian.

Messung 67,75 MHz bei *a* kapazitiv belastet (Kreisplatten für die Kapazitätserhöhung), bei *c* Anpassung mit einer Kurzschluss-Stichleitung auf 50 Ω , VSWR 2,0.

Messung 229,75 MHz bei *b* induktiv belastet (Ferritringle am Mittelleiter); Anpassung bei *c* über eine $\lambda/4$ -Transformation auf 50 Ω , VSWR 1,2

Antenne circulaire selon Kandoian.

Mesures à 67,75 MHz, charge capacitive en *a* (plateaux circulaires pour accroître la capacité), adaptation à 50 Ω au moyen d'une ligne en court-circuit dérivée en *c*, taux d'ondes stationnaires égal à 2.

Mesures à 229,75 MHz, charge inductive en *b* constituée par des anneaux de ferrite sur le conducteur central; adaptation à 50 Ω en *c* par une ligne en quart d'onde, taux d'ondes stationnaires égal à 1,2

5. Exploitation des résultats

Les diagrammes des figures 9 et 10 montrent les résultats découlant des mesures du Niederhorn. On voit sur la figure 9, représentant le diagramme horizontal, les résultats des divers parcours explorés.

a portion en V du parcours, *b* et *c* rectangle survolé deux fois et finalement *d*, reste du vol reliant le V et le rectangle. Les courbes *b* et *c* sont identiques à ± 1 dB près. Cela montre que les réflexions latérales perturbatrices sont relativement faibles. L'effet de réflexions plus importantes de cette espèce est visible dans la portion est de la courbe *a* et tout le long du parcours *d*. Les interférences proviennent ici de réflexions sur la crête du Harder.

En comptant les erreurs dues aux appareils, on peut estimer que la précision des mesures aériennes est de l'ordre de $\pm 1,5$ dB alors que celle des mesures au sol, sur terre ou sur l'eau n'est que de ± 3 dB.

Le diagramme vertical de la figure 10 montre les résultats obtenus lors de deux descentes à la verticale des points P_3 et P_4 dans le lobe principal dirigé vers le sud-est. Lors de ces mesures, la direction du lobe

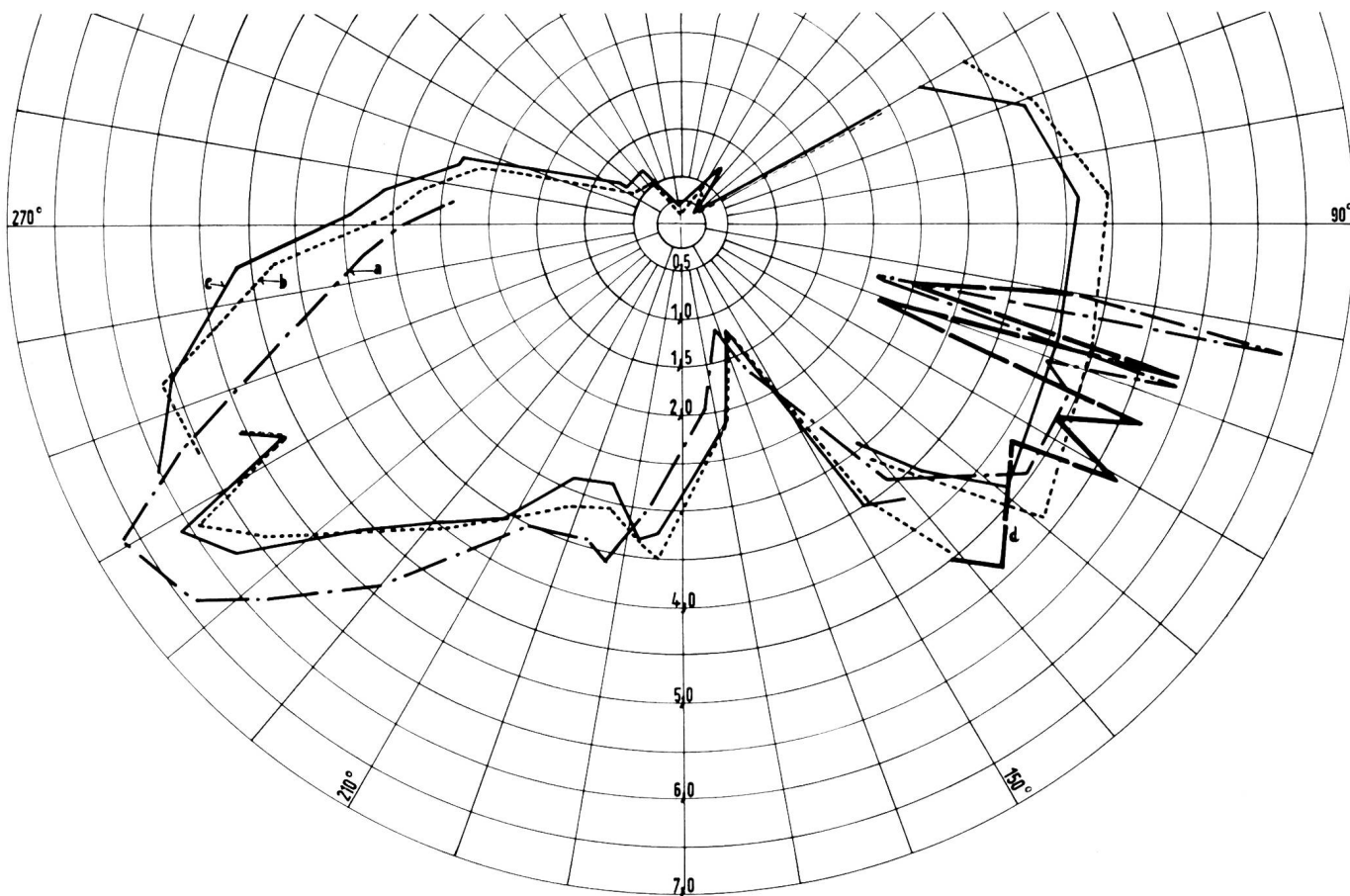


Fig. 9. Horizontaldiagramm des Fernsenders Niederhorn; die Kurventeile *a* bis *d* sind die Auswertungen der verschiedenen Flugstrecken (Versuchsmessung im Zuge der Planung)

Diagramme horizontal de l'antenne de l'émetteur de télévision du Niederhorn: les portions des courbes *a* à *d* résultent de l'analyse des divers tronçons de la route parcourue par l'hélicoptère (mesure d'essai au cours des études)

Schreibfederauflagedruck konnten die Schwierigkeiten aber gut überwunden werden, so dass der Schreiber schliesslich sauber arbeitete.

5. Auswertung

Die Diagramme, *Figuren 9 und 10*, zeigen die Auswertung des Messfluges Niederhorn. Im Horizontaldiagramm (*Figur 9*) sind die Resultate der einzelnen Strecken zu ersehen:

a V-förmiger Teil der Flugstrecke, *b* und *c* zweimal durchflogenes Viereck und schliesslich *d* der restliche Teil als Verbindungsstück zwischen V und Viereck. Die Reproduzierbarkeit der Messung (Kurven *b* und *c*) beträgt ± 1 dB. Somit sind auch hier die störenden Seitenreflexionen verhältnismässig klein. Wie sich grössere seitliche Störreflexionen auswirken, ist aus dem östlichen Kurventeile *a* und dem ganzen Kurventeile *d* zu ersehen. Die Interferenzen werden hier durch Reflexionen am Hardergrat verursacht.

Die apparativen Fehlerquellen miteinbezogen, wird man im Mittel mit einer Genauigkeit der Messung von ungefähr $\pm 1,5$ dB rechnen können, das heisst um etwa $\pm 1,5$ dB besser als bei den Land- und Seemessungen.

Das Vertikaldiagramm *Figur 10* zeigt die Resultate der zwei Sinkflüge an den Punkten P_3 und P_4 in der

principal n'avait pas été inclinée vers le bas. Les résultats de mesure l'attestent du reste aussi clairement: le premier minimum se présente en effet aux environs d'un angle de 14° d'élévation comme le prévoit le diagramme théorique.

6. Remarques finales

Les deux vols de mesure dont il vient d'être question prouvent surtout que, même lorsqu'on est contraint d'utiliser une technique simplifiée comme dans notre cas, on peut obtenir avec des mesures aériennes une exactitude amplement suffisante pour la pratique, pourvu que les conditions topographiques s'y prêtent et que les routes de vol soient correctement choisies. Malgré leur coût de 500 fr. par heure de vol, les mesures en hélicoptère ont le grand avantage de permettre un relevé des diagrammes plus précis et meilleur qu'avec les méthodes terrestre ou lacustre. Leur supériorité s'affirme en particulier pour la mesure des diagrammes verticaux.

Le tableau comparatif qui figure à la fin de cet article a surtout un caractère indicatif. Il vaut, en particulier, pour les mesures du Niederhorn. Les valeurs indiquées devraient être un peu plus élevées pour d'autres mesures et subir un accroissement

südöstlichen Hauptkeule. Für diese Versuchsmessung war die Hauptkeule also vertikal nicht abgesenkt worden, wie aus den Messresultaten auch zu ersehen ist. Deutlich zeigt sich das erste Minimum in der Umgebung von 14° Elevation (was im übrigen mit dem theoretischen Diagramm gut übereinstimmt).

6. Schlussbemerkungen

Diese beiden Messflüge bestätigten vor allem, dass bei entsprechend gegebenen topographischen Verhältnissen und gut angelegter Flugstrecke eine für die Praxis durchaus genügende Genauigkeit in der Messung erzielt werden kann, auch wenn, wie in diesen Beispielen, viele Vereinfachungen getroffen werden. So hat die Helikoptermessung, obschon die Flugstunde zu ungefähr Fr. 500.— veranschlagt werden muss, den grossen Vorteil, die Diagramme genauer und besser bestimmen zu können, als dies mit Land- oder Seemessungen möglich ist. Vor allem kann das Vertikaldiagramm sehr gut bestimmt werden.

Die am Schlusse aufgeführte Gegenüberstellung der Messmethoden ist als ungefähre Richtwert zu betrachten, der für die Messung Niederhorn Gültigkeit hat. Für andere Messungen werden die Werte im allgemeinen etwas höher ausfallen, und sich ungefähr proportional verschieben. In den allermeisten Fällen aber wird für solche Messungen sicher der Helikopter messung der Vorzug zu geben sein, umsomehr als beispielsweise der Sender Niederhorn mit Land- oder Seemessungen gar nicht hätte ausgemessen werden können. Dagegen sind zum Messflug La Dôle parallel Land- und Seemessungen durchgeführt worden.

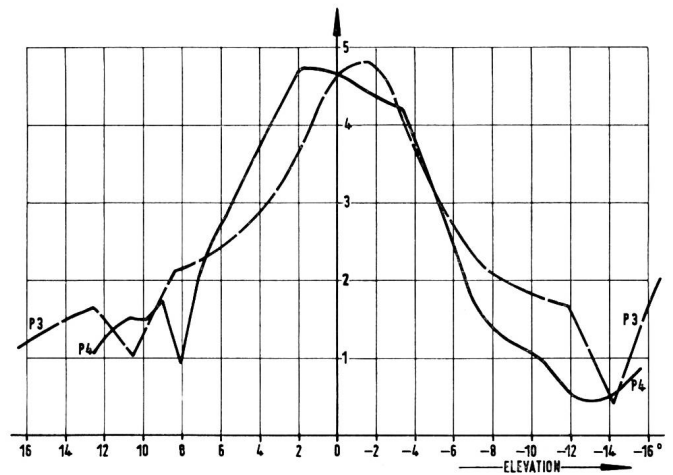


Fig. 10. Vertikaldiagramm des Fernsenders Niederhorn. Zwei Messpunkte in der süd-östlichen Hauptkeule, in $d = 3$ beziehungsweise 5 km Entfernung vom Sender gemessen (Versuchsmessung im Zuge der Planung)

Diagramme vertical de l'émetteur de télévision du Niederhorn. Deux points de mesure ont été choisis dans la direction du lobe principal vers le sud-est à des distances d de 3 et de 5 km de l'émetteur (mesure d'essai au cours des études)

relatif sensiblement proportionnel. Dans la plupart des cas, la préférence devrait aller aux mesures en hélicoptère d'autant plus que ce sont souvent les seules possibles. Ainsi, par exemple, il aurait été exclu de mesurer le rayonnement de l'émetteur du Niederhorn au sol ou sur les lacs voisins. En ce qui concerne la Dôle, par contre, des circonstances plus favorables ont permis de faire de telles mesures parallèlement aux mesures aériennes.

Messmethode	Zeitaufwand Std.	Kosten Fr.	Genauigkeit der Messung	Bemerkungen
Landmessungen	130	2000	± 3 dB	Das Horizontaldiagramm kann nur punktweise bestimmt werden. Das Vertikaldiagramm kann in den meisten Fällen nicht bestimmt werden
Seemessungen	70	1000		Das Horizontaldiagramm kann nur stückweise bestimmt werden. Das Vertikaldiagramm kann nicht bestimmt werden
Luftmessungen mit Helikopter	60 (effektive Flugzeit 2 h 49')	2400	$\pm 1,5$ dB	Die vollständigen Diagramme können meist ausgemessen werden. Für extreme Fälle könnte eine Empfangsantenne mit horizontaler Richtwirkung in Frage kommen

Méthode de mesure	Temps nécessaire en heures	Coût Fr.	Précision de la mesure	Remarques
Mesures sur terre	130	2000	± 3 dB	Le diagramme horizontal doit être relevé par points. On ne peut ordinairement pas relever le diagramme vertical
Mesures sur l'eau	70	1000		On ne peut relever que quelques parties du diagramme horizontal et rien du diagramme vertical
Mesures aériennes	60 (vol effectif 2 h. 49 min.)	2400	$\pm 1,5$ dB	On peut ordinairement relever entièrement les diagrammes horizontaux et verticaux. Dans des cas limites, on pourrait au besoin utiliser une antenne de réception directive