

**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:** 72 (1994)

**Heft:** 5

**Artikel:** Helikoptergestützte Antennenrichtdiagramm-Messungen mit GPS-Satellitennavigation

**Autor:** Mülhauser, Erwin / Knafl, Urs

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874711>

### **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:** 12.01.2026

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

# Helikoptergestützte Antennenrichtdiagramm-Messungen mit GPS-Satellitennavigation

Erwin MÜLHAUSER und Urs KNAFL, Bern

## 1 Einleitung

Die Vermessung von Rundfunkantennen im UKW- und Fernseh-Bereich wird bereits seit vielen Jahren durchgeführt. Die Technik hat sich aber im Laufe der Zeit dauernd verbessert, so dass heute schneller und genauer gemessen werden kann.

Neu ist die Positionsbestimmung mit Hilfe des *Navigationssystems GPS (Global Positioning System)*. Neuartig ist auch das Messprogramm, das parallele Arbeitsabläufe erlaubt (Multitasking). Erstmals können nun bis zu 20 Antennendiagramme noch während der laufenden Messung mit den berechneten Soll-Diagrammen verglichen werden.

## 2 Antennenrichtdiagramm-Messungen

### 21 Was ist ein Antennenrichtdiagramm?

Das Antennenrichtdiagramm (auch als Antennen- oder Strahlungsdiagramm bezeichnet) ist die grafische Darstellung der Antennenrichtwirkung im Fernfeld in einer bestimmten geometrischen Ebene.

Jede Antenne besitzt ein bestimmtes Strahlungsverhalten, das in Vorzugsrichtungen Maxima aufweist. Da eine Antenne räumlich strahlt (dreidimensional), bereitet es jedoch Schwierigkeiten, die Richtcharakteristik in nur einer Darstellung zu zeichnen. Aus diesem Grunde wird das Strahlungsverhalten meistens in zwei Schnitten durch die Vorzugsrichtung (Horizontal- und Vertikaldiagramm, Fig. 1 und 2) zweidimensional angegeben.

### 22 Rundfunkantennen und ihre Richtdiagramme

Eine Fernseh- oder UKW-Betriebsantenne besteht in der Regel aus einer oberen und einer unteren Halbantenne. Diese bestehen aus mehreren Antennenfeldern, von denen jedes mehrere Dipolantennen umfasst. Die Antennenfelder sind rings um den Turm angeordnet. Eine Betriebsantenne kann bis zu 100 Antennenfelder aufweisen.

Figur 3 zeigt einen Sendeturm mit verschiedenen Antennenfeldern.

Dieser Antennenaufwand ist nötig, um in den gewünschten Gebieten die Rundfunkversorgung sicherzu-

stellen. Durch eine gezielte räumliche Abstrahlung spart man auch Energie. Ausserdem lässt sich die Zahl der Sendeanlagen (Umsetzer) auf ein Minimum beschränken. Störungen, verursacht durch angrenzende Sender, lassen sich durch geschickt ausgewählte Antennendiagramme ausblenden. Dies ist u. a. bei der Frequenzplanung wichtig.

### 23 Warum Rundfunk-Richtdiagramm-Messungen?

Die Telecom PTT legt schon bei der Planung die Abstrahlcharakteristik von Rundfunkantennen fest.

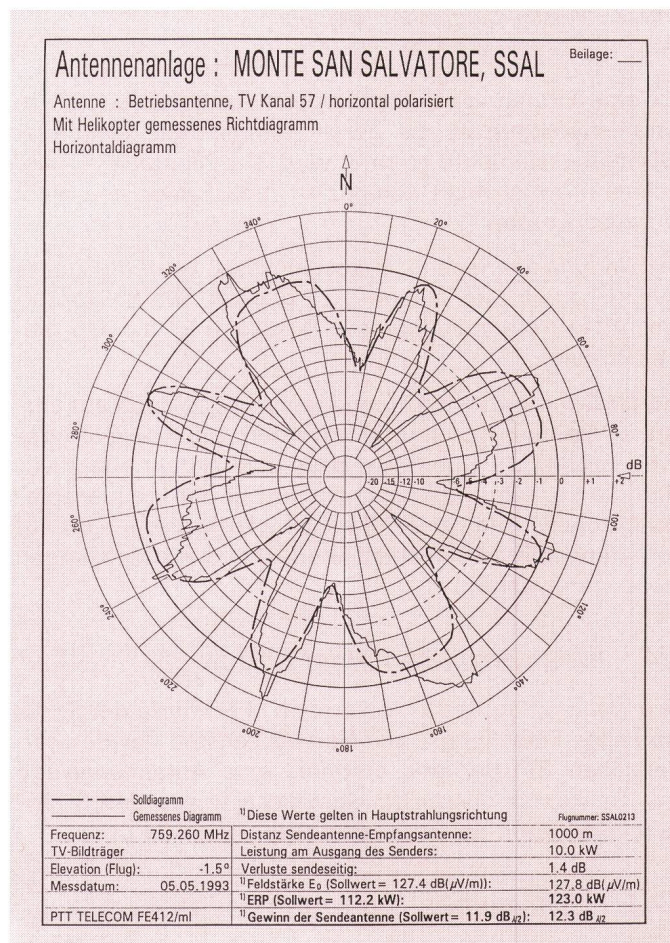


Fig. 1 Horizontaldiagramm (Beispiel)



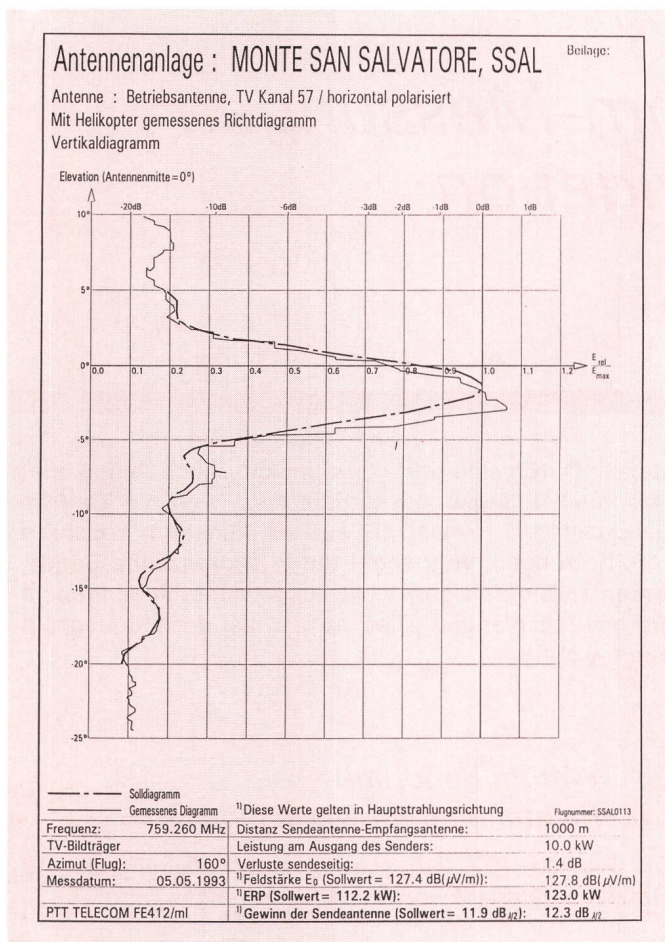


Fig. 2 Vertikaldiagramm (Beispiel)

Externe Firmen verwirklichen dann die gewünschte Abstrahlcharakteristik, die durch Kombination geeigneter Strahlungselemente erreicht wird. Die Montage am Antennenturm ist recht kompliziert, und Fehler sind nicht auszuschliessen.

Ist der Zusammenbau abgeschlossen, wird die ganze Anlage durch die Telecom PTT geprüft. Die helikopter-gestützte Antennendiagramm-Messung ist ein Teil dieser Prüfung.

Schliesslich müssen Antennenmessungen auch aus formalen Gründen durchgeführt werden, z. B. wenn der Beweis erbracht werden soll, dass eine Antenne tatsächlich die Leistung abstrahlt, die ihr bei der Frequenzplanung zugewiesen wurde. Da solche Diskussionen oft auf internationaler Ebene stattfinden, sind diese Messungen besonders wichtig.

## 24 Messverfahren einst und heute

Am Nachmittag des 2. November 1959 wurde durch die damalige Forschungs- und Versuchsanstalt der Schweizerischen PTT-Betriebe erstmals eine Antennenanlage mit Helikopter überprüft. Gemessen wurde das Strahlungsdiagramm der Fernsehsendeantenne *La Dôle*.

## 241 Positionsbestimmung

In den Anfängen wurden zu Fuss im teilweise unwegsamen Gelände rund um den Antennenstandort Tücher

ausgelegt, nach denen der Helikopterpilot dann die Position nach Sicht bestimmte. Man stelle sich den Zeitaufwand und die Fehler bei dieser Art von Navigation vor!

Später wurde ein Satz von drei am Boden ausgesetzten Transpondern (Bakensendern) verwendet, die vom Helikopter aus angesteuert werden konnten.

Heute geschieht die laufende Positionsbestimmung mit dem amerikanischen Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System).

## 242 Feldstärkemessung

Für die Messung des Radio- oder Fernsehsignals wurde anfangs ein einfaches Feldstärkemessgerät verwendet, dessen Werte auf einem Tintenschreiber registriert wur-

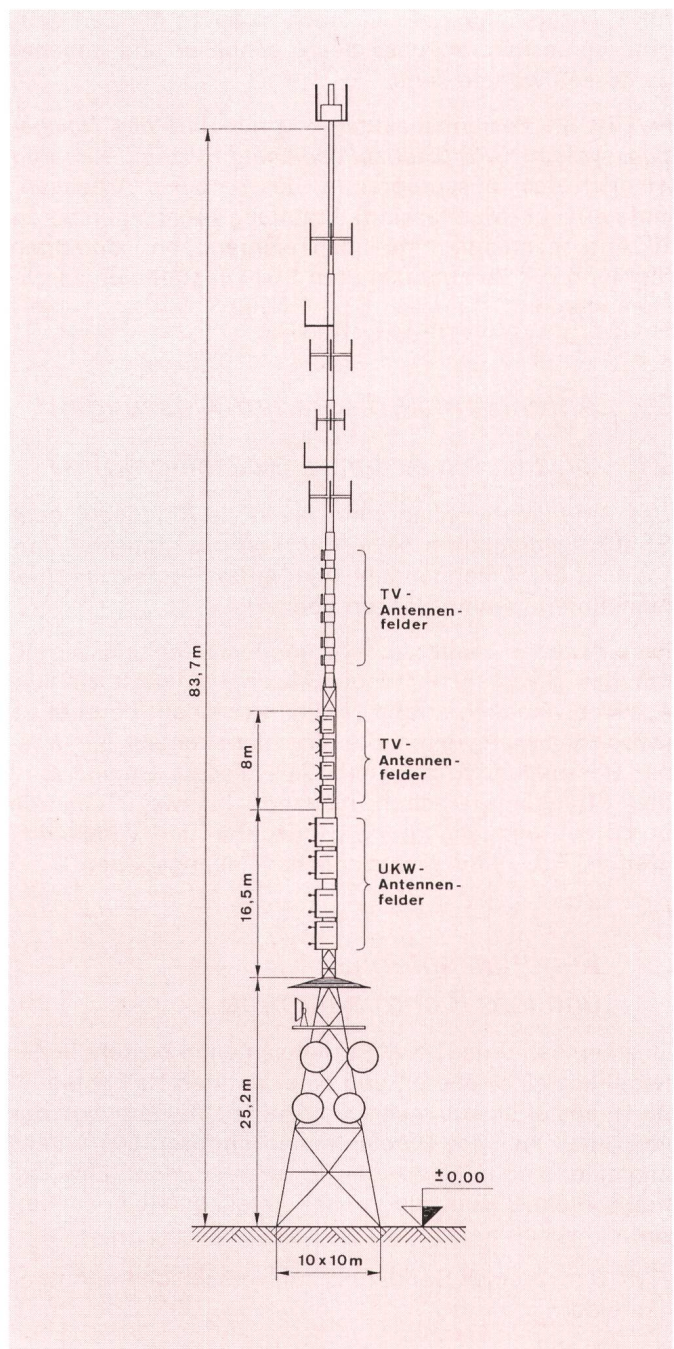


Fig. 3 Sendeturm mit Antennenfeldern



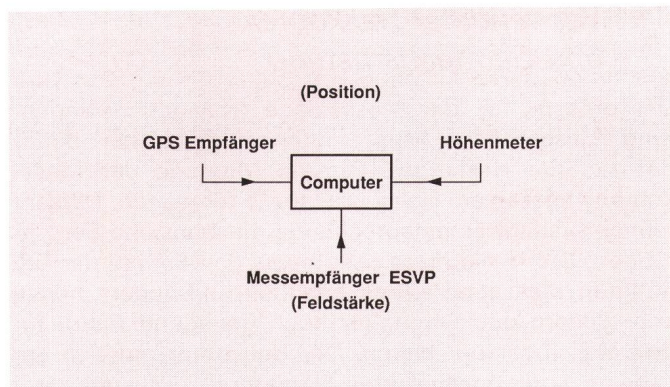


Fig. 4 Zwei Größen sind zu bestimmen, nämlich Feldstärke und Position

den. Selbstverständlich konnte auf einem Flug nur eine Frequenz gemessen werden.

Später wurde ein Messem Empfänger eingesetzt, der über Hilfseinrichtungen automatisch von einem Rechner gesteuert werden konnte. Die Rechnersoftware erlaubte keine parallelen Arbeitsvorgänge. Die Messergebnisse erhielt man erst nach dem Flug.

Heute verwendet man einen programmierbaren Empfänger. Die Mehrprozesssoftware (Multitasking) erlaubt Messungen von bis zu 20 Frequenzen während eines Fluges. Die Entstehung der Antennendiagramme kann in Echtzeit auf dem Bildschirm beobachtet werden.

## 243 Vorbereitung einer Messkampagne

Der Messablauf und die Geräteeinstellendaten wurden früher auf Papier notiert. Die Messgeräte mussten im Helikopter von Hand eingestellt werden.

Heute werden bereits vor der Messung Initialisierungsdateien (Init Files) erstellt, die den Ablauf der Messflüge automatisch steuern und die Einstellungen der Messgeräte vornehmen.

## 244 Auswertung einer Messkampagne

Die vom Tintenschreiber aufgezeichneten Messwerte mussten früher mühsam von Hand in ein normiertes Diagramm übertragen werden. Der Prüfbericht wurde mit Schreibmaschine getippt und die Diagramme von Hand eingezeichnet.

Da heute auf jeder Station eine viel grössere Zahl von Antennen gemessen werden muss, wäre mit der alten Methode eine effiziente Auswertung gar nicht mehr möglich. Heute werden die Daten (Messgeräteeinstellungen, Messwerte, Notizen) in digitaler Form verarbeitet. Dies vereinfacht den gesamten Messablauf und verhindert eine grosse Papierflut. Beim Erstellen des Prüfberichtes müssen beispielsweise die Daten nicht nochmals von Hand eingetippt werden. Ein Laserdrucker gibt das gewünschte Diagramm mit Beschriftung in weniger als einer Minute aus.

## 25 Warum etwas Neues?

Mehrere Gründe sprachen dafür, die Messeinrichtung zu erneuern:

- Die Messqualität ist besser, da mehr Messwerte erfasst werden können als früher.
- Mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung ist eine rationellere Vorbereitung und Auswertung möglich.
- Die neue Software ist schneller. Es kann deshalb auch schneller geflogen werden. Dank kürzerer Flugzeit lassen sich Kosten sparen.
- Das Aussetzen von Navigationsbaken mit dem Helikopter entfällt ganz, weil mit Satelliten navigiert wird. Auch Rekognoszierungsflüge zur Ermittlung geeigneter Bakenstandorte sind überflüssig geworden.
- Was gemessen wird, kann direkt mitverfolgt werden. Sicherheitsmessflüge sind nicht mehr nötig.

## 3 Messverfahren

### 31 Warum Messungen in der Luft?

Am Boden erschweren oder verunmöglichen Erdeinflüsse Antennendiagramm-Messungen. In der Luft jedoch ist es möglich, die Messungen schnell, rationell und zuverlässig durchzuführen. Die Antennen werden an ihrem Bestimmungsstandort unter Betriebsbedingungen geprüft. Es handelt sich nicht um Versorgungsmessungen, sondern um Abnahmemessungen von Rundfunkantennen. Die gemessenen Strahlungsdiagramme werden mit den berechneten Werten verglichen.

### 32 Registrieren des Empfangssignals und der Navigationsdaten

Zum Erstellen der Diagramme sind die zwei Größen Feldstärke und Position zu bestimmen.

Die Position wird mit Satellitennavigation und Höhenmesser, die Feldstärke von einem programmierbaren Messem Empfänger erfasst. Positions- und Feldstärkedaten werden dem Computer übermittelt, der sie auf Festplatte speichert (Fig. 4).

### 33 Aufnahme der räumlichen Abstrahlcharakteristik

Da es aus Kostengründen nicht möglich und auch nicht nötig ist, die gesamte Abstrahlcharakteristik räumlich zu erfassen, beschränkt man sich in der Praxis auf die Messung horizontaler und vertikaler Antennendiagramme (Fig. 1 und 2) in der Hauptstrahlungsrichtung. Mit Kreis- und Steigflügen werden die dafür benötigten Daten erfasst.

### 34 Flugbahn

Für das Horizontaldiagramm werden auf einer Kreisbahn rund um den Sendeturm Feldstärkewerte erfasst. Eine vorgegebene konstante Flughöhe muss auf dem ganzen Kreis möglichst genau eingehalten werden. Die seitlich



am Helikopter angebrachte Messantenne zeigt dabei immer auf die Sendeantenne am Turm.

Für das Vertikaldiagramm wird je nach Gelände in einem Abstand zwischen 500 m und 2 km ein Steigflug durchgeführt. Ein Steigflug ist aus flugtechnischen Gründen einfacher und auch ungefährlicher als ein Sinkflug. Der Startpunkt liegt, sofern es das Gelände zulässt, 25° unterhalb der horizontalen Abstrahlungsrichtung, um die Feldstärkeverteilung auch neben der Hauptkeule (Nullstellen) beurteilen zu können. Der Steigflug wird bei 10° über der Sendeantenne beendet. Bei der Station Monte San Salvatore wurde beispielsweise im Mai 1993 ein Steigflug auf einer Höhe von 641 Metern über Meer (−25°) begonnen und 2,5 Minuten später bei 1089 Meter über Meer (+10°) beendet. Die Steiggeschwindigkeit entspricht mit 3 m/s etwa der dreifachen Geschwindigkeit eines Personenlifts.

### 35 Kriterien zur Wahl der Messdistanz

Je nach Umgebungsverhältnissen wird sowohl beim Kreis- als auch beim Steigflug die Distanz zwischen Helikopter und Sendeturm zwischen 500 m und 2 km festgesetzt. Je kürzer der Abstand zur Sendeantenne, desto kürzer werden Flugbahn und -dauer, was auch die Kosten reduziert. Eine Messung zu nahe an der Sendeantenne hat jedoch keinen Sinn, weil man sich unter Umständen im elektromagnetischen Nahfeld befindet und weil sich Positionsfehler proportional stärker auswirken als bei grösseren Abständen. Die Messqualität wird vermindert. Selbst bei einem Abstand von 500 m ist das Einhalten der korrekten Flugbahn für den Piloten noch sehr schwierig.

Flüge im Abstand von 2 km beanspruchen mehr Flugzeit und sind daher teurer. Dagegen wirken sich Positionsfehler auf die Messqualität weniger stark aus. Bei grösseren Abständen ergibt sich jedoch ein neues Problem: die Messantenne am Helikopter kann, bedingt durch ihre beschränkte Richtwirkung, die am Boden reflektierte Welle wegen dem flachen Einfallswinkel nicht mehr ausblenden. Auch das Strahlungsdiagramm der Sendeantenne trägt unter den neuen Winkelverhältnissen dazu bei, dass die Reflexionen am Boden stärker ins Gewicht fallen. Dies führt zu Fehlmessungen.

Auch die Geländehindernisse sind zu berücksichtigen. Ein Startpunkt bei minus 25° Elevation für einen Steigflug kann bei 2 km Abstand bereits unter der Erdoberfläche liegen. Es kann auch sein, dass ein Hügel die Sicht auf die Sendeantenne verdeckt.

### 36 Genauigkeit

Bei zwei aufeinanderfolgenden Flügen liegt die Reproduzierbarkeit der gemessenen Feldstärkewerte innerhalb 1 dB. Der Antennengewinn (absoluter Wert) kann jedoch weniger genau bestimmt werden. Der Maximalfehler setzt sich zusammen aus den Einzelfehlern von Messempfänger, Navigationseinrichtung und Messantenne sowie den Soll-Werten von Senderleistung und Kabeldämpfung zwischen Sender und Sendeantenne.

## 4 Verwendeter Helikopter und Geräteausrüstung

Der grösste Teil der Messanlage (Navigationseinrichtung, Messantenne, Messempfänger, Computer) befindet sich im Helikopter. Für die Montage der Messantenne aussen am Helikopter sowie für weitere Hilfsantennen braucht es entsprechende mechanische Einrichtungen. Die Helikoptergrösse muss den Einbau der benötigten Messapparaturen erlauben und zudem neben dem Piloten und Flughelfer noch genügend Raum für den Messingenieur bieten. Der Helikopter muss in der Lage sein, die gewünschten Flugfiguren zu fliegen.

### 41 Der Helikopter

Eingesetzt wird ein Helikopter des Typs Super-Puma, der verschiedene Vorteile aufweist:

- Zwei Antriebsturbinen, d. h. bei Triebwerkausfall ist auch in unwegsamem Gebiet eine problemlose Landung möglich.
- Bei Nebel ist ein Abflug mit dem Wolkendurchstossverfahren möglich. Messungen in nebelfreien Gebieten können auch bei schlechter Sicht am Startplatz durchgeführt werden.
- Dank dem 4-Blatt-Rotorsystem ist der Helikopter vibrationsarm, weist eine geringe Lärmemission auf und ist wendig.
- Die Steigfähigkeit beträgt 900 m/min.
- Bei Überflügen können Geschwindigkeiten über 300 km/h erreicht werden, was Einsparungen bei Flugzeit und -kosten erlaubt.
- Flüge auf über 6000 m ü. M. sind möglich (Alpenüberquerung).
- Flüge über 2 Stunden ohne Tankstopp sind möglich.
- Der Helikopter liegt ruhig in der Luft. Die Messantenne bleibt dadurch immer auf den Sendeturm ausgerichtet, was sich positiv auf das Messergebnis auswirkt. Steigflüge können auch bei ungünstigen Windverhältnissen problemlos durchgeführt werden.
- Die Bordspannung beträgt 28 V. Der von der Messanlage benötigte Dauerstrom von 20 A kann im Helikopter über eine besondere Steckdose ohne weiteres bezogen werden.
- Seitlich am Helikopter kann eine recht grosse Messantenne (z. B. für Fernsehkanal 2) befestigt werden, ohne das Flugverhalten zu stören. Auch bei vertikaler Antennenausrichtung ist genügend Platz zwischen Rotorblatt und Boden vorhanden.
- Der Innenraum bietet genügend Platz für Messeinrichtung und Hilfsmaterial. Der Bordmechaniker kann sein Werkzeug für die tägliche Wartung mitnehmen. Die Messantennen können an einem Stück in den Laderaum verstaut werden.
- Der Messingenieur hat genügend Freiraum an seinem Arbeitsplatz.
- Für die Bordverständigung steht eine Gegensprechanlage für mehrere Personen zur Verfügung.



- Da zum Fliegen des Super-Pumas eine besondere Ausbildung nötig ist, gibt es nur wenige Piloten. Die Wahrscheinlichkeit ist deshalb gross, dass immer derselbe mit den Messflügen vertraute und erfahrene Pilot zur Verfügung steht.

## 42 Die Stromversorgung der Messgeräte im Helikopter

Ein Wechselrichter erzeugt aus der Bordspannung von 28 V eine Wechselspannung von 220 Volt für den Betrieb sämtlicher Messgeräte. Ist der Helikopter am Boden, darf die Bordbatterie nicht mehr verwendet werden. In diesem Fall wird die Betriebsspannung vom mitgeführten Notstromaggregat oder vom öffentlichen Stromnetz bezogen. Zusätzliche Batterien stellen einen ununterbrochenen Betrieb der Satellitennavigation sicher.

## 43 Das Messgerätegestell

Sämtliche Messgeräte sowie der Wechselrichter sind in je einem 19-Zoll-Gestell eingebaut. Beide Gestelle werden mit Gurten (Spannssets) am Boden des Helikopters befestigt. Erschütterungen und Vibrationen werden durch Schwingungsdämpfer aufgefangen.

## 44 Messempfänger

Der programmierbare Empfänger ESVP von *Rohde & Schwarz* erlaubt das Messen mehrerer Frequenzen während eines Messflugs. Der Rechner sendet die Umschaltbefehle für ZF-Bandbreite, Gleichrichter, Messzeit, Arbeitsbereich und Frequenz über eine IEC-Bus-Schnittstelle an den Empfänger, der eine grosse Genauigkeit, hervorragende Messdynamik, hohe Übersteuerungsfestigkeit und eine grosse Messgeschwindigkeit bietet.

## 45 Empfangsantennen

Aus *Figur 5* sind die Antennen ersichtlich, die bei einem Messflug am Helikopter montiert werden.

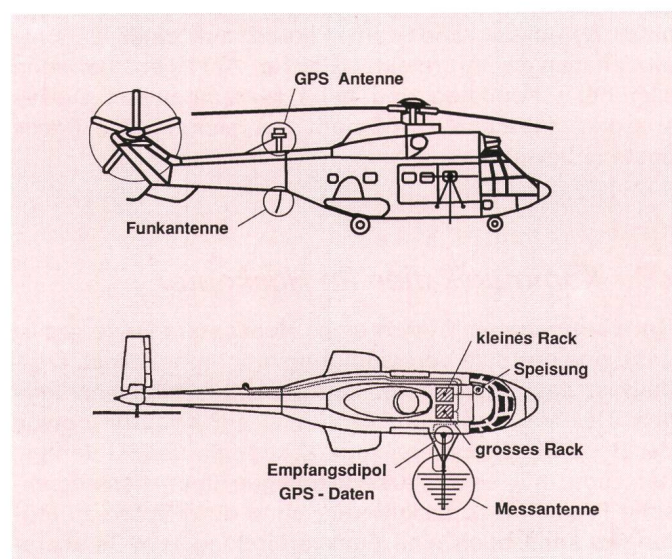


Fig. 5 Antennemontagepunkte am Helikopter

Seitlich angebracht ist die Antenne für die Feldstärke-messung, eine breitbandige logarithmisch-periodische Messantenne, die während des Fluges immer auf den Sendeturm ausgerichtet ist. Es können Feldstärken über einen Frequenzbereich von 80 bis 1000 MHz ohne Antennenwechsel gemessen werden.

Die GPS-Antenne ist am Heckrotorausleger befestigt. Ein Filter eliminiert die in Stationsnähe auftretenden Störfrequenzen, die den Empfang beeinträchtigen könnten. Ein Faltdipol empfängt zudem ein Datensignal, das für die differentielle GPS-Navigation benötigt wird.

Die Sprechfunkantenne ist unter dem Heckrotorausleger angebracht.

## 46 Steuerrechner

Ein Industrie-PC bewältigt mit Hilfe einer Multitasking-Software gleichzeitig folgende Aufgaben:

- Steuerung der Messgeräte
- Berechnung
- Datenverwaltung
- Überwachung
- grafische Darstellung der Messwerte

## 461 Hardware

Der Industrierechner (Typ 486DX, 33 MHz) ist in einem robusten Ganzmetallgehäuse untergebracht, das vor elektromagnetischen Störungen, Staub, Schmutz, Spritzwasser usw. schützt. Die Betriebssicherheit wird durch eine eingebaute Temperaturüberwachung erhöht. Der Rechner muss in verstärktem Masse Vibrationen und Stössen standhalten. Besonders gefordert werden die Massenspeicher. Alle Komponenten sind deshalb sorgfältig ausgesucht, überprüft und unter Extrembedingungen von der Herstellerfirma getestet worden. Auch der hochauflösende Farbmonitor ist für erschwerte Umgebungsbedingungen gebaut und mit einer Implosionsschutzscheibe versehen.

Über eine IEC-Bus-Schnittstelle werden der Messempfänger und die Pilotenanzeige gesteuert. Der Datenaustausch mit dem GPS-Navigationsempfänger und das Einlesen der Höhenmesserwerte geschehen über zwei serielle RS232-Schnittstellen. Gespeichert werden die Daten auf einer Festplatte.

## 462 Software

Die Software besteht aus mehreren Programmen, die alle unter dem Betriebssystem DOS laufen. Ein übergeordnetes Ablagesystem ermöglicht den Datenaustausch zwischen den Programmen. Die Arbeit am Computer kann somit auf mehrere Personen verteilt werden. Die Programme bieten eine übersichtliche Bildschirmgestaltung mit «Pull-Down»-Menüs, eine einfache Bedienung, Fehlerkontrollen und Korrekturmöglichkeiten bei den Eingabefeldern.



Alle Programme (Dateneingaben, Messung, Auswertung) sind in der Programmiersprache Turbo-Pascal geschrieben. Das Messprogramm umfasst mehrere Prozeduren, die gleichzeitig ablaufen (Multitasking) und damit die wirkungsvolle Verwaltung mehrerer Datenquellen erst ermöglichen.

Das Messprogramm hat eine Länge von mehr als 25 000 Zeilen Quellcode. Die Datenorganisation und die Grundlagen sind in einer umfangreichen Dokumentation festgehalten.

## 47 Navigation

Das GPS-Satellitennavigationssystem erlaubt eine hochgenaue, weltweite Ortung unter allen Witterungsbedingungen, 24 Stunden am Tag und in Echtzeit. Obwohl vom Konzept her militärisch, kann es heute kostenlos auch von zivilen Anwendern benützt werden. Es beruht grundsätzlich auf dem Prinzip der Laufzeitmessung der von den Satelliten zeitsynchron abgestrahlten Signale. Da es sich um ein rein passives Ortungsverfahren handelt, können beliebig viele Nutzer teilnehmen.

Die systembedingte Genauigkeit von 100 Metern reicht für die Flugmessungen nicht aus. Deshalb wird das aufwendigere differentielle Verfahren (DGPS) verwendet, mit dem man eine Präzision von 10 Metern bei 95 % aller Messwerte erreicht. Für die Höhenangabe reicht aber dies immer noch nicht aus; es wird ein zusätzlicher Höhenmesser (Genauigkeit nach Eichung am Sendeturm 4 m) eingesetzt. Eine Richtungsanzeige ermöglicht es dem Piloten, die erforderliche Flugbahn exakt einzuhalten.

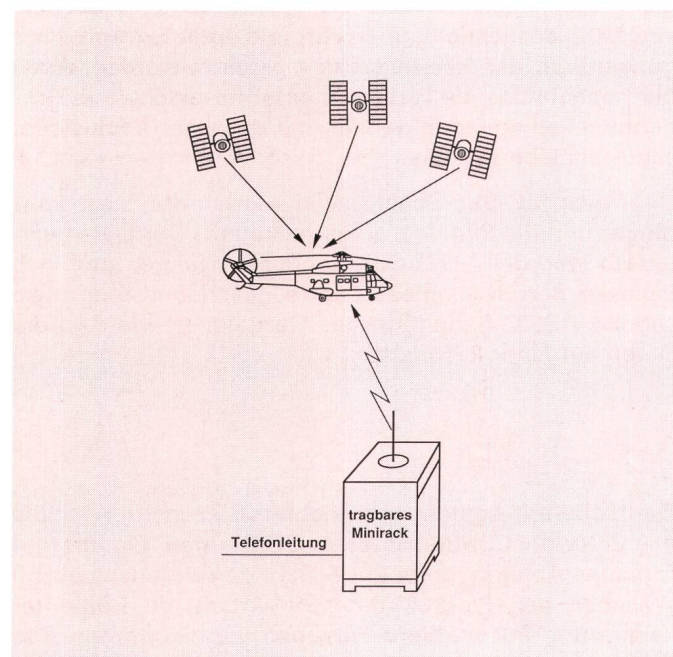


Fig. 6 Korrekturdatenübertragung bei differentieller GPS-Navigation  
Minirack: Kleingestell mit Korrekturdatensender

## 471 Mobiler GPS-Empfänger

Der GPS-Empfänger *Magnavox 4200D* liefert dem Computer über eine Schnittstelle unter anderem die Position in Längen- und Breitengraden. Das Gerät wiegt weniger als 1 kg und besitzt etwa die Abmessungen eines Autoradios. Es kann sechs Satelliten gleichzeitig empfangen und ist besonders für den differentiellen GPS-Betrieb geeignet.

## 472 Korrekturdatenübertragung bei differentieller Navigation

Für das differentielle Messverfahren wird ein zweiter, stationärer GPS-Referenzempfänger benötigt. Ein solcher befindet sich in der Messstation Zimmerwald des Bundesamtes für Landestopographie. Die dort erzeugten GPS-Korrektur-Daten werden über eine Mietleitung zum technischen Zentrum der Telecom PTT in Bern geleitet und von dort über Telefonleitung und Funk weiter zum Helikopter gesendet. Aufgebaut wird diese Verbindung mit einem Korrekturdatensender im tragbaren Kleingestell (Fig. 6), der bei der zu messenden Telecom-Sendestation aufgestellt wird.

## 473 Barometrischer Höhenmesser (Altimeter)

Der Höhenmesser misst den Luftdruck und sendet über eine serielle Schnittstelle kontinuierlich Daten zum Computer, der laufend die Flughöhe berechnet. Das Einhalten der konstanten Höhe ist bei einem Kreisflug äusserst wichtig. Die Genauigkeit eines Drucksensors für die Bestimmung der Flughöhe kann mit der heutigen Satellitennavigation noch nicht erreicht werden.

## 474 Pilotenanzeige

Aus den Navigationsdaten von GPS und Höhenmesser werden die Abweichungen von der erforderlichen Flugbahn berechnet und dem Piloten auf einer Leuchtdiodenanzeige mitgeteilt. Gleiche Anzeigen befinden sich beim Kopiloten und beim Messingenieur. Dieses äusserst hilfreiche Instrument hat sich in der Praxis bestens bewährt.

## 48 Kommunikation im Helikopter

Der Lärmpegel im Innern eines Helikopters ist so gross, dass eine normale Verständigung nicht möglich ist. Deshalb ist das Tragen einer Lärmsprechgarnitur unerlässlich. Der Messingenieur kann sich auf Knopfdruck von der Bord-Gegensprechanlage abkoppeln und ist dann in der Lage, mit einem Arbeitskollegen über messtechnische Probleme zu diskutieren, ohne den Piloten zu stören. Es kann auch eine Funkverbindung zum Telecom-Stationpersonal aufgebaut werden. Dies ist wichtig beim Umschalten der Sendeantennen.





Fig. 7 Einbau im Hangar der Helikopterfirma



Fig. 8 Montage der Messantenne im Freien

## 5 Organisation und Durchführung einer Messkampagne

Eine Messkampagne lässt sich zeitlich in folgende Abschnitte einteilen: Vorbereitung — Transport — Einbau Heli — Messung — Auswertung. Die Zeitspanne über alle Abschnitte beträgt normalerweise 10 Wochen. Organisatorische Ablaufdiagramme und Checklisten dienen als Hilfsmittel bei der Organisation.

### 51 Personelles

Unmittelbar an der Messung beteiligte Personen:

- zwei Ingenieure und ein weiterer Mitarbeiter der Telecom PTT
- Telecom-Personal der Sendestation
- Pilot, Bordmechaniker, Fahrer des Tankfahrzeugs

Weitere indirekt Beteiligte:

- Telecom PTT Direktion Radio und Fernsehen
- Telecom-Direktion PTT (Auto, Landeplatz)
- Polizei (Lärmbelästigung)
- Schweizerische Radio- und Fernsehgesellschaft SRG (Unterbrüche von einigen Sekunden führen zu Reklamationen)
- Militär (bei Schiessübungen im Messgebiet)
- Zoll (bei Messungen im Ausland)

### 52 Vorbereitungen

Wenn die Arbeiten am Sendeturm abgeschlossen sind (z. B. neuerstellte Antennenanlage), kann mit den Vorbereitungen für eine Messung begonnen werden. Vorerst werden alle technischen Angaben der neuen Anlage auf ihre Richtigkeit überprüft. Ein erster provisorischer Flugtermin wird mit der Helikopterfirma vereinbart. Die Fernmeldedirektionen werden über das geplante Messdatum informiert. Mit Landkarten wird die Umgebung des Senders untersucht. Die ersten internen administrativen Arbeiten werden erledigt. Die flugtechnischen Daten werden zusammengestellt, die Anzahl der Steig- und Kreis-

flüge wird bestimmt und die dafür benötigte Flugzeit berechnet. Bei der Helikopterfirma wird eine Offerte angefordert. Die Soll-Diagramme werden digitalisiert. Auf der Sendestation werden technische und organisatorische Abklärungen getroffen. Wenn die technischen Daten auf der Station verifiziert sind, wird das definitive Messprogramm zusammengestellt. Anschliessend werden die technischen Daten mit dem Computer erfasst und alle Eingaben nochmals überprüft. Die Landkarten für den Piloten werden erstellt. Ein paar Tage vor dem Messflug werden Hard- und Software im Labor einem letzten Test unterzogen. Werkzeug und Verbrauchsmaterial werden bereitgestellt.

### 53 Ein- und Ausbau der Messgeräte in den Helikopter

Die Geräte werden bei der Firma *Helog* in Küssnacht eingebaut. Die Antennenhalterungen sind dort eingelagert. Deren Installation, die Befestigung der Antennen und das Verlegen der Kabel ist mittlerweile Routinearbeit. Nach dem Einbau wird die gesamte Messeinrichtung getestet. Anschliessend wird das Hilfsmaterial (Korrekturdatensender, Messantennen, Reservematerial



Fig. 9 Messantenne am Helikopter



usw.) in den Helikopter eingeladen. Der Ausbau findet normalerweise am selben Ort statt.

## 54 Unsicherheitsfaktoren

Ob die Messung durchgeführt werden kann, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die zum Teil nicht vorhersehbar sind.

Der unsicherste Faktor ist das Wetter. Starker Wind oder schlechte Sicht verunmöglichen einen Messflug.

Auch bei den Messgeräten kann sich Unvorhergesehenes ereignen, da diese erschwerten Bedingungen ausgesetzt sind.

Wenn nur das geringste Problem — ob organisatorischer oder technischer Art — vorliegt, verzögert sich der Messflug um Stunden oder muss ganz abgesagt werden.

## 55 Messkampagne

Innerhalb einer Woche werden Antennen mehrerer Telecom-Sendestationen gemessen. Je nach Wetter in den verschiedenen Landesteilen muss unter Umständen der vorgesehene Ablauf der Messkampagne kurzfristig geändert werden, was mit organisatorischem Aufwand verbunden ist.

## 56 Arbeitsorganisation am Messtag

Ein Messtag läuft folgendermassen ab:

- Flug zur Telecom-Sendestation
- Korrekturdatensender in Betrieb nehmen. Nochmalige Information über den Messablauf an das Stationspersonal
- Beginn der Messung. Steigflüge, Kreisflüge gemäss Programm
- Tanken (Tankfahrzeug oder Flughafen)
- Fortsetzung der Messung
- erste Auswertungen, Prüfen der Messwerte
- Daten sichern
- Korrekturdatensender und sonstiges Material abholen
- Flug zur nächsten Station je nach Flugwetter
- Wartung (Akkus)

Falls eine der zu messenden Antennen noch an keinen betriebsfähigen Sender angeschlossen ist, wird bereits einige Tage vor dem Flug ein Messsender installiert. Dagegen wird der DGPS-Korrekturdatensender jeweils im Helikopter mitgenommen und erst am Messtag auf der Station aufgestellt. Der Standort ist bereits bekannt, und die Anschlüsse sind entsprechend vorbereitet.

Der Ingenieur im Helikopter leitet die Messaktion. Er überwacht den Ablauf und übermittelt die nötigen Informationen wie Messbeginn, Messende oder den Wechsel in eine andere Flugbahn per Sprechverbindung an den Piloten. Dies erfordert höchste Konzentration. Die Vibrationen, der hohe Lärmpegel, die Druckschwankungen und die im Sommer hohen Kabinentemperaturen erschweren die Arbeit.

Die Qualität der Messung ist direkt vom fliegerischen Können des Piloten abhängig. Bei den Kreisflügen muss die Höhe sehr genau ( $\pm 10$  m) eingehalten werden. Mit Hilfe der Pilotenanzeige ist dies möglich. Die für den jeweiligen Messflug vorgegebene Fluggeschwindigkeit muss möglichst konstant sein. Die Messantenne muss immer auf den Sendeturm ausgerichtet sein, und die Kreisbahn muss eingehalten werden. Es hat sich als Vorteil erwiesen, wenn für die Messungen immer der gleiche Pilot zur Verfügung steht. Der Helikoptermechaniker unterstützt den Piloten in der Flugraumüberwachung.

Die Umschaltung zwischen Betriebsantenne, oberer und unterer Halbantenne geschieht im Senderaum und kann nur von erfahrenem Stationspersonal durchgeführt werden. Die Aufforderung zur Antennenumschaltung kommt über Funk vom Messingenieur im Helikopter. Da bei jedem Flug mehrere Antennen gleichzeitig gemessen werden, müssen auf der Station auch sämtliche Antennen auf einmal umgeschaltet werden.

## 57 Auswertung der Messergebnisse

Im Labor werden die Ergebnisse einer Messung ausgedruckt (Fig. 1 und 2), ausgewertet und kommentiert und schliesslich dem Auftraggeber in Form eines Berichts ausgehändigt. Damit ist die Messkampagne abgeschlossen.

## 6 Wirtschaftlicher Aspekt

Nach 30 Jahren Messflugpraxis hat sich ein beachtliches Potential an technischem und organisatorischem Wissen angesammelt. Die helikoptergestützte Antennenrichtdiagramm-Messung ist verhältnismässig aufwendig und entsprechend teuer. Im Vergleich zum finanziellen Aufwand bei einer Antennenneuinstallation fallen die Kosten für Abnahmemessungen aber kaum ins Gewicht. Mit Hilfe der neuen Software ist es möglich, bis zu 20 Antennendiagramme gleichzeitig zu messen und diese noch während der laufenden Messung mit den berechneten Soll-Diagrammen zu vergleichen. Dank diesem System sind weniger Messflüge nötig, was die Kosten vermindert. Es wird sehr schwierig sein, eine wirtschaftlichere, schnellere und bessere Lösung zur Überprüfung von Antennendiagrammen zu finden. Eine weitere Verbesserung der Messtechnik wäre auch wenig sinnvoll, da der Gewinn verglichen mit dem unvermeidlichen organisatorischen Aufwand einer Messkampagne nicht von Bedeutung ist.



## Zusammenfassung

*Helikoptergestützte Antennenrichtdiagramm - Messungen mit GPS-Satellitennavigation*

Seit über 30 Jahren führt die Telecom PTT Messungen von Antennenrichtdiagrammen mit Helikoptern durch. Mit computergesteuerten Messgeräten und Satellitennavigation ist es heute möglich, an einem Tag sämtliche Antennen (UKW und Fernsehen) einer Sendestation (z. B. Niederhorn, Bantiger, Uetliberg) zu messen. Mit Hilfe der neu entwickelten Software und Hardware ist schon während des Fluges eine erste Auswertung möglich. Die Durchführung der Messungen hängt von mehreren Faktoren, z. B. Wetter, Einsatzbereitschaft des Helikopters und einwandfreies Funktionieren aller Messgeräte, ab und verlangt eine gute Vorbereitung.

## Résumé

*Mesures de diagrammes d'antennes à l'aide d'hélicoptères et navigation assistée par satellite (GPS)*

Depuis plus de 30 ans, Télécom PTT mesure des diagrammes d'antennes à l'aide d'hélicoptères. Grâce à des instruments de mesure commandés par ordinateur et la navigation assistée par satellite, il est aujourd'hui possible de mesurer en un jour toutes les antennes (OUC et TV) d'une station émettrice (par exemple le Niederhorn, le Bantiger, l'Uetliberg). Une première analyse est déjà possible en cours de vol à l'aide des nouveaux logiciels et matériels. La réalisation des mesures dépend de plusieurs facteurs, notamment du temps, de la durée d'engagement de l'hélicoptère et du fonctionnement irréprochable de tous les instruments de mesure, ce qui nécessite de soigneux préparatifs.

## Riassunto

*Misure di diagrammi direttivi di antenne effettuate mediante la navigazione via satellite (GPS) e con l'ausilio di elicotteri*

Da più di 30 anni, le Telecom PTT effettuano misure di diagrammi direttivi di antenne con l'ausilio di elicotteri. Grazie ad apparecchi di misura guidati mediante computer e alla navigazione via satellite è oggi possibile misurare in un giorno tutte le antenne (OUC e televisivi) di una stazione di trasmissione (p. es. Niederhorn, Bantiger, Uetliberg). I nuovi software e hardware consentono di fare le prime valutazioni già durante il volo. L'esecuzione delle misure dipende da diversi fattori, p. es. dal tempo, dalla possibilità d'impiegare l'elicottero e dal funzionamento degli apparecchi di misura e richiede un'accurata preparazione.

## Summary

*Helicopter Supported Antenna Pattern Measurements using GPS Satellite Navigation*

For 30 years the PTT Telecom have carried out measurements of antenna patterns using helicopters. Nowadays, it is possible to measure all the antennas (FM and television) of a broadcasting station (e.g. Niederhorn, Bantiger, Uetliberg) with computer controlled measuring equipment and satellite navigation in one day. With the new software and hardware, a first evaluation can be carried out already during the flight. The accomplishment of the measurements depends on several factors e.g. the weather, the readiness of the helicopter and the perfect function of all the equipment and requires a good preparation.