

Im Dienste der Sicherheit im Luftverkehr

Rückgeführte Feldstärkemessung terrestrischer Navigationsanlagen

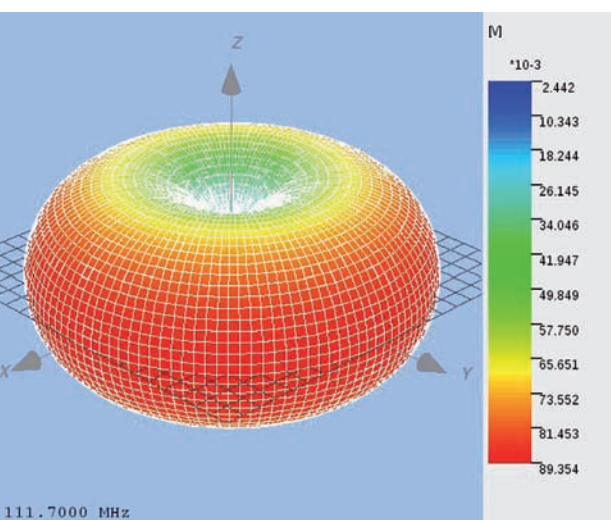


Abb. 1: Darstellung der Simulationsergebnisse. Abbildungen und Foto: FCS/PTB

Ziel eines Projektes von Flight Calibration Services (FCS) und Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ist die absolute Feldstärkemessung im elektromagnetischen Fernfeld terrestrischer Funknavigationsanlagen mit geringer Messunsicherheit bezogen auf nationale Kalibriernormale der PTB. Die Feldstärkemessung ist Bestandteil der periodischen Flugvermessung von Anlagen der Flugsicherung und unterliegt gemäß Anforderungen der Internationalen Zivilluftfahrtbehörde ICAO strengen Werten der Messunsicherheit von 3dB und darunter. Diese können jedoch in der Praxis mangels hinreichender Kenntnis der Antennendiagramme am Messflugzeug und geeigneter Kalibrationsverfahren nicht nachweislich eingehalten werden. Insbesondere Instrumentenlandesysteme (ILS) müssen an der Reichweitengrenze bei 17NM im Winkelbereich +/-35° um die Anfluggrundlinie sowie bei 25NM im Winkelbereich +/- 10° eine Mindestfeldstärke von 40µV/m (= -114dBW/m²) für ihre Localizer-Komponente aufweisen. Der Localizer führt das Luftfahrzeug auf der

Anfluggrundlinie entlang der Landebahnmitte, während der Gleitweg die vertikale Führung auf einem definierten Anflugwinkel sicherstellt.

Hubschrauber mit Lasthaken

Aus Sicht der PTB, die als nationales Metrologie-Institut im Dienste von Gesellschaft, Wirtschaft und Forschung die Rückführung sicherheitsrelevanter Messungen auf nationale Normale anstrebt, ist eine Verbesserung der Flugmesstechnik unumgänglich. Die Notwendigkeit von absoluten Feldstärkemessungen mit geringer Messunsicherheit ist für ein Flugvermessungsunternehmen klar gegeben, da die Feldstärke in nachgelagerter Instanz auch ein Bestandteil der Sicherheit im Luftverkehr ist. Diese speziellen Feldstärkemessungen sollen an bestimmten Punkten im Luftraum mit längerer Beobachtungszeit durchgeführt werden, um dort hinreichend viele Messdaten für die Auswertung aufzunehmen. Dies erfordert im Gegensatz zum schnellen Durchfliegen eines Bereichs mit einem Flugvermessungsflugzeug das Schweben einer Messeinrichtung, also einer Referenzantenne mit Empfänger und Aufzeichnungseinheit. Als geeigneter Träger kommt folglich ein Hubschrauber mit Lasthaken zur Beförderung von Außenlasten zur Anwendung, an den mit geeigneten Seilen die Messeinrichtung angehängt wird. Zur Unterstützung des Projektes wurde deshalb das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hinzugezogen, dessen Flugabteilung in Braunschweig einen Hubschrauber des Typs „BO 105“ betreibt.

Der wesentliche Projektanteil der PTB umfasst die Modellierung, den mechanischen Aufbau sowie die Kalibrierung einer geeigneten Referenzantenne für den ILS Localizer-Frequenzbereich 108

bis 112MHz. Aus der Kalibrierung der Antenne geht ihr Gewinn und damit auch der effektive, frequenzabhängige Antennenfaktor hervor, mit dem die elektrische Feldstärke im freien Raum über die Beziehung

$$\text{Feldstärke [V/m]} = \text{Gemessener Empfangspegel [V]} \cdot \text{Antennenfaktor [1/m]}$$

bestimmt werden kann. Die während der schwebenden Feldstärkemessung gewonnenen Messdaten liegen nicht gleich als Empfangspegel vor, sondern als kontinuierlich abgetastetes Zwischenfrequenzsignal, das in der Nachrichtentechnik als „Bandpasssignal“ bezeichnet wird. Aus diesen Rohdaten wird in einem Prozess der Nachverarbeitung mit einem speziellen Algorithmus im Frequenzbereich der Pegel berechnet.

Gute Hilfe: die Maxwell-Gleichungen

Die besondere Herausforderung bei der Entwicklung der Messantenne bestand darin, dass diese entsprechend dem abgestrahlten Feld des ILS horizontal polarisiert sein muss und gleichzeitig in horizontaler Ebene eine isotrope, das heißt rundumstrahlende Strahlungscharakteristik aufweisen muss. Eine spezielle magnetische Ringantenne wurde von der PTB dazu zunächst theoretisch entworfen und ihr elektromagnetisches Verhalten durch numerische Lösungen der Maxwell-Gleichungen berechnet. Auf Basis der Simulationsergebnisse in Abb. 1 wurde die prinzipielle Eignung der Antenne als horizontaler Rundstrahler festgestellt und diese in der Folge mechanisch aufgebaut. Die eigentliche Rückführung auf Kalibriernormale erfolgte durch die Kalibrierung der Messantenne (oder Referenzantenne) mit zwei weiteren geeigneten Antennen durch die sogenannte 3-Antennenmethode. Bei der Kalibrie-



Einsatz der Messeinrichtung am Flughafen Braunschweig-Wolfsburg.

Die Rückführung auf die SI-Einheiten durch drei nacheinander durchgeführte Messungen der Streuparameter mit bekannter Messunsicherheit an den verschiedenen Antennenkombinationen. Bei einem ersten Flugversuch am Flughafen Braunschweig-Wolfsburg sollte zunächst die grundsätzliche Flugfähigkeit der Messanordnung geprüft werden. Insbesondere das Aufnehmen der Traglast beim Start des Hubschraubers wurde im Vorfeld als kritisch erachtet, da hierbei ein Aufdrehen der Seile verhindert werden musste. Dank der Erfahrung des DLR-Piloten mit Außenlasten war dies völlig unproblematisch wie auch der gesamte weitere Verlauf des Fluges. Ebenso konnte beim Streckenflug bei 90kts zum Bewegen der Last zu den Schwebepunkten kein Schwingverhalten festgestellt werden, was sowohl Beobachtungen vom Boden als auch die Meldungen des Außenlastbeobachters an Bord bestätigten.

Auf dem Foto ist ersichtlich, wie die Referenzantenne (weiße Scheibe) in der Mitte zwischen Hubschrauber und rotem Kasten mit der Empfangs- und Aufzeichnungseinheit aufgehängt ist. Ein hinreichender Abstand von 8 m der Antenne in beide Richtungen ist erforderlich, um das Antennendiagramm möglichst wenig zu beeinflussen. Da dies jedoch prinzipbedingt in vertikaler Richtung Nullstellen aufweist (vgl. Abb. 1), kann der Einfluss im Rahmen des aufgestellten Messunsicherheitsbudgets vernachlässigt werden. Die eigentliche Feldstärkemessung konnte nach Feststellung der Flugtauglichkeit bereits im Rahmen des ersten Flugversuchs

zu Testzwecken am Localizer des Flughafens vorgenommen werden. Abb. 2 zeigt dazu das aus dem Bandpasssignal transformierte Spektrum des ILS-Signals bestehend aus Träger und zwei amplitudenmodulierten Seitenbändern bei 90Hz und 150Hz. Der Pegel des Trägers bestimmt die Stärke des Feldes, hier dargestellt als Leistungsdichte (Einheit: dBW/m²).

Maximum des Pegels

Der im Prozess der Nachverarbeitung implementierte Algorithmus sorgt dafür, dass die Pendelbewegungen der Antenne unter dem Hubschrauber betrachtet werden, um das Maximum des Pegels zu bestimmen. Für die eigentliche Bewertung der gemessenen Feldstärke in einer bestimmten Entfernung zur Sendeantenne ist es weiterhin erforderlich, dass neben dem Bandpasssignal zeitsynchron auch die Position der Messantenne aufgezeichnet wird. Dies wird durch einen mittfliegenden GPS-Empfänger realisiert, der bereits die Korrektursignale von EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) nutzt, um insbesondere die Höhenmessung durch GPS zu verbessern. Die FCS Flight Calibration Services GmbH wird zukünftig an allen kritischen

Stellen in Ergänzung zur konventionellen Flugvermessung dieses Messsystem zum Einsatz bringen. Bedingt durch die Aufzeichnung des Bandpasssignals kann die Anlage darüber hinaus dazu genutzt werden, die störende Beeinflussung des Localizer-Signals durch Mehrwegeausbreitungseffekte messtechnisch zu erfassen.

Der derzeitige Frequenzbereich der Messeinrichtung umfasst ebenso die terrestrische Streckennavigationsanlage „VOR“ (VHF Omnidirectional Radio Range) zur Richtungsbestimmung sowie die Aussendung von Korrektursignalen des satellitengestützten Anfluges auf Flughäfen (GBAS, Ground Based Augmentation System), deren Feldstärke und damit auch Reichweite mit diesem Verfahren rückgeführt auf nationale Normale mit definierter Messunsicherheit gemessen werden kann. Die Erweiterung auf andere Frequenzbereiche ist geplant.

*Dr.-Ing. Jochen Bredemeyer,
FCS Flight Calibration Services GmbH,
Dr.-Ing. Thomas Kleine-Ostmann
und Dr.-Ing. Thorsten Schrader,
Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Dipl.-Phys. Klaus Münter*

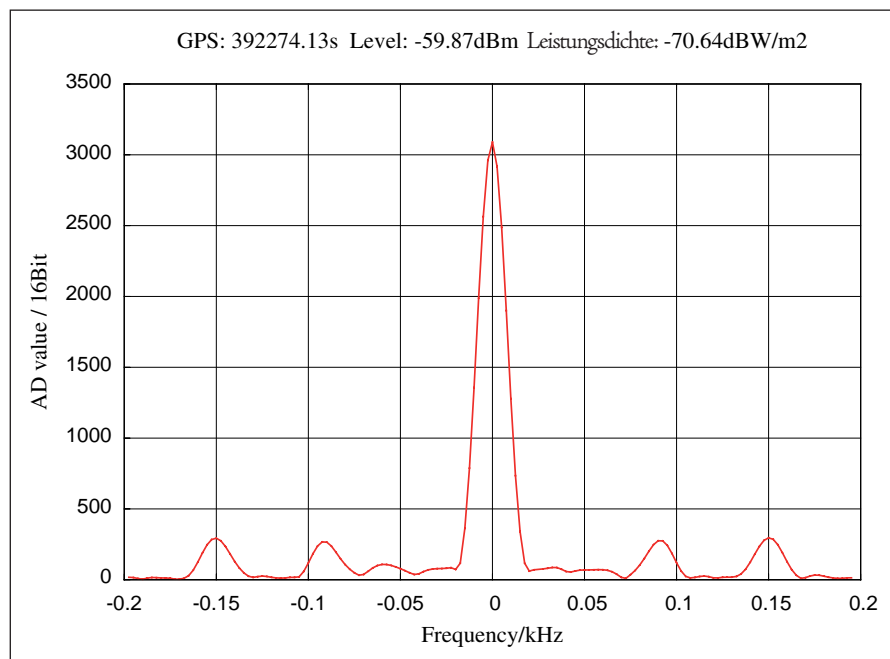


Abb. 2: Frequenzspektrum des ILS-Landekursenders mit Messergebnis für Pegel und Leistungsdichte