

Mitteilungen
aus den Geodätischen Instituten
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Nr. 86

Norbert Casott

Erfassung des Einflusses der „turbulenten Refraktion“ auf optische
Richtungsmessungen mit CCD-Sensoren

BONN 1999
ISSN 0723-4325

Mitteilungen
aus den Geodätischen Instituten
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Nr. 86

**Erfassung des Einflusses der „turbulenten Refraktion“ auf optische
Richtungsmessungen mit CCD-Sensoren**

In a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 1. Oktober 1999

von

Dipl.-Ing. Norbert Casott

aus Köln

D 98

BONN 1999

ISSN 0723-4325

Referent: Prof. Dr.-Ing. Bertold Witte

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Förstner

Tag der mündlichen Prüfung: 23. November 1999

Erfassung des Einflusses der „turbulenten Refraktion“ auf optische Richtungsmessungen mit CCD-Sensoren

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluß der Refraktion auf die Vertikalwinkelmessung. Hierbei unterscheidet man zwei Refraktionsanteile, den quasi-statischen und den turbulenten bzw. stochastischen Anteil. Der quasi-statische Anteil wird durch den Refraktionswinkel beschrieben. Er verfälscht die Messung systematisch und kann über den Brechungsindexgradienten der Atmosphäre berechnet werden. Der Brechungsindexgradient wiederum hängt überwiegend vom Temperaturgradienten ab, so daß letzterer zur Bestimmung des Refraktionseinflusses benötigt wird. Der turbulente Anteil der Refraktion, dessen Erfassung im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, resultiert aus den atmosphärischen Turbulenzen. Er zeigt sich als hochfrequente, stochastische Richtungsfluktuation im Fernrohr geodätischer Instrumente. Die Turbulenzen stehen über den Wärmehaushalt der bodennahen Luftschichten in unmittelbarem Zusammenhang zu dem Temperaturgradienten. Sie werden durch zwei unabhängige Parameter, den Brechungsindexstrukturparameter C_n^2 und die innere Skalenlänge l_0 , eindeutig charakterisiert. Beide Turbulenzparameter können aus optischen Messungen abgeleitet werden. Dabei werden in der Meteorologie Lasersysteme, sog. Szintillometer eingesetzt, die aufgrund von Intensitätsmessungen die gesuchten Parameter bestimmen. Sind beide Turbulenzparameter bekannt, so läßt sich mit Hilfe der Monin-Obukhov-Similaritätsbeziehungen der Temperaturgradient ableiten. Damit wiederum ist der Brechungsindexgradient und schließlich der Refraktionswinkel berechenbar.

Diese Arbeit geht der Frage nach, ob die Turbulenzparameter aus Messungen mit CCD-Sensoren abgeleitet werden können. Dabei werden lediglich Richtungsfluktuationen beobachtet. CCD-Kameras werden immer häufiger in geodätischen Instrumenten eingesetzt, so daß eine online Verbesserung der Refraktionseinflüsse möglich erscheint. Zu diesem Zweck wird ein Meß- und Auswertekonzept entwickelt, daß die Bestimmung der hochfrequenten Richtungsschwankungen erlaubt. Die Richtungsschwankungen finden sich in der Bildebene der Kamera als Bildpunktverschiebungen wieder. Dazu wird ein Zielzeichen durch die Atmosphäre hindurch beobachtet und die relativen Bildpunktverschiebungen als Zeitreihe gemessen. Aus der Zeitreihe wird die Standardabweichung der Bildpunktverschiebungen σ_B als Maß für den Strukturparameter C_n^2 und der Schwerpunkt SP_B des Leistungsspektrums der Zeitreihe als Maß für die innere Skalenlänge l_0 abgeleitet.

Im Rahmen von Laboruntersuchungen wird die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Meß- und Auswertekonzepts gezeigt. Hieran schließen sich Messungen unter realen Atmosphärenbedingungen in Feldversuchen an. Dabei werden die mit der Kamera gemessenen Beobachtungsgrößen den szintillometrisch bestimmten Turbulenzparametern gegenübergestellt. Der Vergleich der Meßgrößen zeigt eine gute Korrelation zwischen den jeweiligen Beobachtungsgrößen. Damit ist nachgewiesen, daß der gewählte Ansatz und die Meßmethodik berechtigt und sinnvoll sind.

Zum Abschluß wird mit einem selbstsuchenden Präzisionstachymeter ein Tagesgang für den Vertikalwinkel gemessen. Dabei sind Änderungen im Winkel auf veränderte Refraktionseinflüsse im Tagesverlauf zurückzuführen. Parallel dazu werden mit der Kamera die Turbulenzparameter abgeleitet und daraus letztendlich der Refraktionswinkel berechnet. Mit Hilfe dieses Refraktionswinkels kann der Refraktionseinfluß auf die Vertikalwinkelmessung spürbar reduziert werden.

Detecting Influences of „turbulent Refraction“ on optical Angle Measurement by Means of CCD-Sensors

Abstract

This paper deals with the refraction influence on vertical angle measurements. Two separate parts can be distinguished: the quasi static and the turbulent or stochastic part. The quasi static part can be described by the angle of refraction, which influence the measurement systematically. The refraction can be calculated if the refractive index gradient is known. The refractive index gradient in turn depends mainly on the vertical gradient of the temperature, the latter being necessary to determine the refraction influence. The main focus of this paper is the turbulent part of the refraction, which is a result of the atmospheric turbulence. It can be observed as a high frequent angle fluctuation in the telescope of geodetic instruments. The turbulence is linked to the vertical temperature gradient via the heat budget of the surface layer. It can be characterised definitely by two parameters, the refractive index structure parameter C_n^2 and the inner scale l_0 . These parameters can be accessed by optical measurements. Therefore meteorologists use laser systems, so called scintillometers, which determine the unknown parameters from intensity measurements. If both parameters are given, the vertical temperature gradient can be derived by applying the Monin Obukhov similarity theory, allowing the refractive index gradient and finally the angle of refraction to be calculated.

This paper focuses on whether the turbulence parameters can be derived from measurements with CCD sensors. Here only angle-of-arrival fluctuations are observed. Nowadays CCD cameras are used more more in geodetic instruments, making online corrections of refraction influences seem possible. With this in mind a measuring system and an evaluation concept are developed, allowing the measurement of high frequency angle-of-arrival fluctuations. These fluctuations can be found as relative point displacements in the focal plane of the camera. Therefore a target is observed through the atmosphere and the point displacements are measured in a time series, as the so called „image dancing“. The standard deviation of the „image dancing“ σ_B as a measure for the structure parameter C_n^2 can then be derived from these time series, as well as the centroid of the power spectrum SP_B of the time series, as a measure for the inner scale l_0 .

Within the scope of lab investigations, the functionality of the measuring system and evaluation concept is investigated. This is followed by measurements under real atmospheric conditions in field experiments. The observations from the new system are compared with the scintillometric determined turbulence parameters. The comparison shows a good correlation between the respective observations. Consequently it could be verified that the chosen method is correct and reasonable.

Finally the vertical angle is measured using an automated total station during daytime. Changes in the observed angle are attributed to changes in the refractive behaviour of the atmosphere. The turbulence parameters are simultaneously observed with the camera system to calculate the angle of refraction. Using this angle, the refraction influence can be noticeably reduced.