

Bestimmung der Kalibrierbasis der UniBw München mit dem Mekometer ME5000 – Beitrag des Geodätischen Institutes der LU Hannover

Determination of the Baseline from the UniBw Munich with Mekometer ME 5000 – Contribution of the Geodetic Institute from the LU Hanover

Hans Neuner, Jens-André Paffenholz

Es werden die Vorbereitungsmaßnahmen für die Teilnahme am Ringvergleich zur Bestimmung der Kalibrierbasis der UniBw München erläutert. Die Vorgehensweise bei der Messung und der Auswertung ist im zweiten Teil des Beitrages dargelegt. Die Bestimmung der Kalibrierbasis erfolgte mit einem Mekometer ME5000. Für die Erfassung der Temperatur ist ein System bestehend aus mehreren automatisch messenden Thermometern mit drahtloser Datenübertragung eingesetzt worden.

Schlüsselwörter: Mekometer ME5000, Temperaturmesssystem, stochastisches Modell

This paper deals with the preparation of the participation to the interlaboratory test aiming the determination of the baseline from the UniBw Munich. The adopted approaches for the measuring and the processing are discussed in the second part. The measurements were performed with the Mekometer ME5000. For the temperature measurements automatically measuring thermometers with wireless data transmission were used.

Keywords: Mekometer 5000, temperature measuring system, stochastic model

1 EINLEITUNG

Die Beteiligung des Geodätischen Instituts der Leibniz Universität Hannover (GIH) an dem von der Gesellschaft zur Kalibrierung geodätischer Messmittel e.V. (GKGM) organisierten Ringvergleich hatte die Bestimmung der Kalibrierbasis der UniBw München mit dem Mekometer ME5000 zum Inhalt. Dieser Kurzbeitrag gibt die wesentlichen Maßnahmen bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Messkampagne wieder. Die erzielten Ergebnisse werden hier nicht explizit aufgeführt; hierfür sei auf /Heunecke 2012/ verwiesen.

2 VORBEREITUNG UND MESSUNG

Die Vorbereitungsarbeiten zielten im Wesentlichen auf die Kalibrierung und Justierung des zur Erfassung atmosphärischer Parameter

eingesetzten Instrumentariums ab. Im Einzelnen handelt es sich hierbei um analoge Aneroidbarometer der Fa. Thommen, analoge Thermometer der Fa. W. Lambrecht, die in zwei Assmann'schen Psychrometern verbaut sind, sowie ein automatisch messendes Temperaturerfassungssystem mit drahtloser Datenübertragung auf ZigBee-Basis, eine Eigenentwicklung des GIH.

Als Referenz für die Kalibrierung der Barometer dienten zwei Stationsbarometer der Fa. W. Lambrecht. Die Ablesungen an den Barometern, die mit einer Auflösung von 0,1 mmHg vorgenommen worden sind, wurden um den Einfluss der Schwere, Temperatur und Kapillardepression korrigiert. Die Justierung der eingesetzten Aneroidbarometer erfolgte auf den Referenzwert, der an den zwei Stationsbarometern ermittelt wurde.

Ein PT100-Fühler der Fa. Greisinger und ein Quat-Fühler der Fa. Heraeus bildeten die Referenz für die Kalibrierung sämtlicher eingesetzten Thermometer. Im Temperaturbereich der Kalibrierung von 3 °C bis 30 °C wiesen die beiden Referenzthermometer Unterschiede von kleiner als 0,05 K auf. Die Kalibrierkurven der analogen Thermometer beziehen sich auf die jeweiligen Mittelwerte der Ablesungen an den beiden Referenzthermometer. Die Standardabweichungen der Residuen, die nach der linearen Regression verbleiben, liegen für alle eingesetzten analogen Thermometer im Bereich von 0,05 °C bis 0,07 °C. Sie sind angesichts der Genauigkeiten in der Entfernungsmessungen und der angestrebten Messunsicherheit /Heunecke 2012/ ausreichend. Bei der Kalibrierung der digitalen Thermometer lag die Standardabweichung der Residuen gegenüber einem ausgleichenden Polynom 3. Grades für alle Sensoren im Bereich von 0,05 °C, was ebenfalls den Zielen dieses Einsatzes genügte.

Die Messung fand Anfang Oktober 2010 statt. Im verfügbaren Zeitraum von 2,5 Tagen wurden von jedem der 8 Pfeiler die Strecken zu allen anderen Pfeilern der Kalibrierbasis bestimmt, so dass der Beobachtungsvektor zwei Einträge für jede Streckenkombination (beispielsweise entsprechend der Bestimmung von 1 nach 2 und von 2 nach 1) enthält. Für jede Entfernung wurden drei Wiederholungsmessungen getätigt, wobei stets derselbe Reflektor benutzt wurde. Es musste daher nur ein einziger Parameter für die Additionskorrektur in die Ausgleichung (Abschnitt 3) als Unbekannte eingeführt werden.

Neben den üblichen Maßnahmen für Präzisionsmessungen, dazu zählen die Beobachtung mit Schirm, die Berücksichtigung der Akklimatisierungszeit, der tägliche Beginn der Messung mit einer kurzen Strecke, der Transport des Gerätes zwischen den stationierten Pfeilern im eingeschalteten Zustand, lag das Hauptaugenmerk auf der repräsentativen Erfassung der atmosphärischen Parameter. Der Einsatz des automatisch messenden Erfassungssystems und die drahtlose Messdatenübertragung an einen zentralen Rechner gewährleistet infolge der Temperaturmessung an neun weiteren Stellen eine höher aufgelöste Bestimmung der Temperaturverteilung entlang der Kalibrierbasis. Ungeklärte Störungen bei der Datenübertragung führten, im Vergleich zum Einsatz auf der Kalibrierbasis in Hannover, zu deutlich eingeschränkteren Reichweiten. Das primäre Kriterium bei der Positionierung der Sensoren war deshalb nicht, wie ursprünglich geplant, die Äquidistanz, sondern die Robustheit der Datenübertragung, was eine Konzentration der Sensoren im mittleren Bereich der Kalibrierbasis hervorrief.

An beiden Enden der gerade gemessenen Strecke wurden die Trocken- und Feuchttemperaturen sowie der Luftdruck synchron erfasst.

3 AUSWERTUNG

Der erste Schritt in der Aufbereitung der Mekometermessungen bestand in der Berechnung und Anbringung der 1. Geschwindigkeitskorrektur mit der erweiterten Formel von Owens /Rüeger 1996/. Die zunächst für aufeinanderfolgende Temperaturmessstellen berechneten Brechungsindexe wurden anschließend durch eine gewichtete Mittelbildung in Abhängigkeit des Abstandes zwischen den Messstellen zu einem mittleren Brechungsindex zusammengefasst. Es stellte sich heraus, dass es unerheblich ist, ob zunächst die Berechnung der Brechungsindexe mit den rohen Temperaturen und anschließend die Mittelbildung erfolgt oder die Temperaturen zunächst gemittelt werden und anschließend auf Basis des Mittelwertes ein mittlerer Brechungsindex berechnet wird. Der Unterschied zwischen den beiden Vorgehensweisen liegt im Bereich 10^{-5} ppm. Die um den Einfluss der Atmosphäre korrigierten, geebneten und gemittelten Strecken l_{ij} mit $i, j = 1, \dots, 8$ und $i \neq j$ wurden nach dem Gauß-Markov-Modell ausgeglichen.

Das funktionale Modell der Ausgleichung lautet:

$$l_{ij} + v_{ij} = \sum_{\substack{m=i \\ i < j}}^{j-1} x_{m,m+1} + k_0 \quad \text{bzw.} \quad l_{ij} + v_{ij} = \sum_{\substack{m=j \\ j < i}}^{i-1} x_{m,m+1} + k_0$$

Darin bezeichnen v_{ij} die Verbesserung der Messung l_{ij} , $x_{m,m+1}$ die ebene Strecke zwischen aufeinanderfolgenden Pfeilern m und $m+1$ und k_0 die Additionskorrektur. Die ursprüngliche Ausgleichung hat $f = 56 - 8 = 48$ Freiheitsgrade. Die aus den Wiederholungsmessungen berechneten Standardabweichungen bilden die Grundlage für die Aufstellung des stochastischen Modells der Ausgleichung. In der *Abb. 1* sind diese in Abhängigkeit der Distanz aufgetragen.

Die Steigung der durch die lineare Regression geschätzten Geraden quantifiziert den distanzabhängigen Anteil der Messunsicherheit. Das anhand der *Abb. 1* geschätzte Varianzniveau der Beobachtungen beträgt: $\sigma^2 = (0,1 \text{ mm})^2 + (0,1 \text{ ppm} \cdot l_{ij})^2$. Daraus leiten sich die Varianzen der Größen l_{ij} ab. Die Ausgleichungsergebnisse wurden für den Fall unkorrelierter Beobachtungen hergeleitet.

Der implementierte Ausreißertest zeigte die Messung der Distanz von Pfeiler 3 nach 8 als groben Fehler an, was zu ihrem Ausschluss aus der Ausgleichung führte. Auf eine explizite Angabe der Ergebnisse wird unter Verweis auf /Heunecke 2012/ verzichtet. In der *Abb. 2* sind die nach Bestehen des Globaltests resultierenden Verbesserungen in Abhängigkeit der Distanz aufgetragen. Dies dokumentiert zum einen stellvertretend das Niveau der erzielten Ergebnisse und zum anderen, durch die geschätzte Steigung der bestangepassten Geraden von 10^{-10} , dass das aufgestellte Ausgleichungsmodell sämtliche Systematiken erfasst.

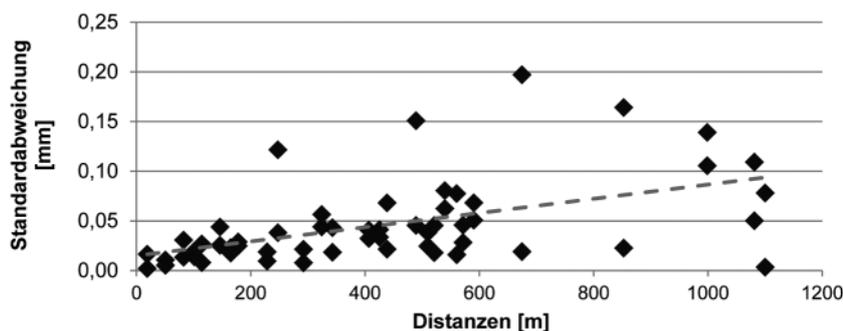


Abb. 1 | Standardabweichungen der Wiederholungsmessungen als Funktion der Distanz und ausgleichende Regressionsgerade (gestrichelte Linie)

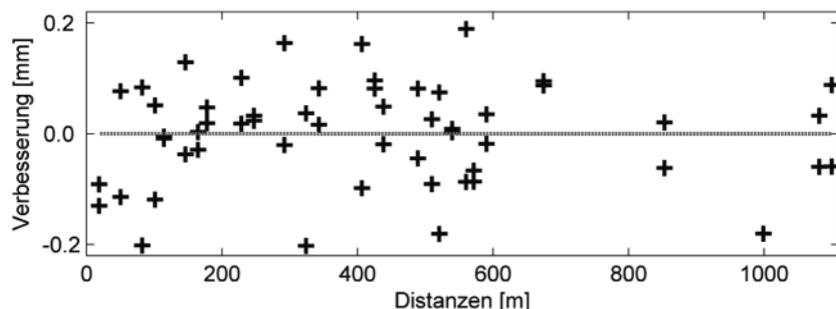


Abb. 2 | Verbesserungen der Beobachtungen als Funktion der Distanz (+) und ausgleichende Regressionsgerade

4 ZUSAMMENFASSUNG

Durch die in diesem Kurzbeitrag vorgestellte Vorgehensweise bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Messungen ist die Neubestimmung der Kalibrierbasis der UniBw München unter Einhaltung der gesteckten Qualitätsziele (siehe /Heunecke 2012/) gelungen. Das Hauptaugenmerk lag bei dem eingesetzten Messverfahren auf der Erfassung der relevanten atmosphärischen Parameter insbesondere der Temperatur. Hierfür hat sich die Bestimmung mit mehreren, entlang der Strecke verteilten, automatisierten Thermometern bewährt. Eine drahtlose Datenübertragung entspricht dem aktuellen Stand der Technik und zeichnet sich durch geringen Aufwand bei der Inbetriebnahme des Systems vor Ort aus. Sie ist jedoch, wie sich hier gezeigt hat, fehleranfällig und sollte stets unter Berücksichtigung der jeweils vorhandenen örtlichen Randbedingungen ausgewählt werden.

DANK

Der Fachgruppe Vermessung des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) sei für die Leihgabe des Mekometers ME5000 herzlich gedankt.

LITERATUR

Heunecke, O. (2012): Auswertung des Ringversuchs auf der neuen Kalibrierbasis der UniBw München zur Bestimmung der Sollstrecken. In: allgemeine vermessungs-nachrichten (avn) 119(2012) 11/12.

Rüeger, J. M. (1996): Electronic Distance Measurement: An Introduction. Fourth Edition, Berlin: Springer, 1996, ISBN 0387611592.

Dr.-Ing. Hans Neuner

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER
GEODÄTISCHES INSTITUT

Nienburger Straße 1 | 30167 Hannover
neuner@gih.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. Jens-André Paffenholz

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER
GEODÄTISCHES INSTITUT

Nienburger Straße 1 | 30167 Hannover
paffenholz@gih.uni-hannover.de

