



Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Lufttemperaturfunktion im Messungsmedium auf der Grundlage der Laserlichts-Absorption

Henryk Bryś, Kazimierz Ćmielewski, Krzysztof Kowalski

Der Beitrag diskutiert Ergebnisse von Testmessungen zur telemetrischen Temperaturbestimmung der Luft auf der Grundlage des Absorptionsgesetzes längs eines Laser-Messstrahlbündels.

1. Einleitung und Problemstellung

Die ständige Erhöhung der Entfernungsmessgenauigkeit mit den elektronischen Distanz-Sensoren der neuesten Generation lässt die Begrenzung der äußeren Messunsicherheit der Resultate durch Einwirkungen des Messungsmediums immer deutlicher in Erscheinung treten.

Atmosphärische Störeinflüsse und die sich im Zeit und Raum verändernden meteorologischen Bedingungen spielen bei elektrooptischen Vermessungen weiterhin eine stark negative Rolle [BRYŚ 1995].

Beim Durchgang elektromagnetischer Wellen durch Medien verschiedener Dichte, was in der Vermessungspraxis im offenen Gelände, wie in geschlossenen Räumen, in der Regel oft der Fall ist, treten stets vier miteinander verbundene physikalische Effekte auf: Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes, Absorption, Dispersion und Richtungsablenkung des Lichtstrahls – die geodätische Refraktion. In der labilen Unterschicht der Atmosphäre (Höhe bis zu etwa 30 m im Sommer), entsteht in der Folge des alltäglichen Erwärmungs- und Abkühlungsprozesses der bodennahen Luftschichten ein inhomogenes meteorologisches Feld. Es entstehen temperaturbedingte Störungsquellen längs des Trägerwellenbündels, die den größten und entscheidendsten Einfluss auf die elektrooptischen Messergebnisse ausüben.

Einer der Faktoren, der wesentlich den Lichtschwächungseffekt beeinflusst, ist die momentane mittlere Temperatur des Mediums. Im Resultat werden die Entfernungen sowohl mit systematischen, wie auch zufälligen Messfehlern, verfälscht.

Die Information über den systematischen Einfluss ist in den modernen Digitaldistanzmessern leicht zu quantifizieren, während bei den bisher beschrittenen Lösungen mittels lokaler meteorologischer Parameter (T-Tempera-

tur, p-Luftdruck, e-Wasserdampfdruck) mit hohem Aufwand gemessen werden muss (CASOTT, DEUBEN 2000).

Für die Bestimmung der atmosphärischen Korrekturen werden in der Vermessungspraxis anweisungsgemäß die meteorologischen Parameter im Prismen- und im Instrumentenstandpunkt gemessen. Im bewegten Gelände, mit stets wechselnden Trägerwellenbündelhöhen und auftretenden Temperaturanomalien, muss mit relativ größeren Messunsicherheiten bei der Ermittlung des Mittelwerts der Lufttemperatur gerechnet werden, da in vielen Fällen, bei längeren Messstrecken, der Fehler oft 3 °C überschreiten kann. Eine sichere Bestimmung der mittleren Temperatur längs des Mess-Bündels mit der geforderten Messgenauigkeit von ± 1 °C ist kaum möglich zu erreichen. Es erhebt sich die Frage, ist eine sinnvolle Korrektur der wegen Temperaturanomalien und -änderungen fehlerhaft gemessene Distanz überhaupt möglich? Hier bietet sich besonders der Einsatz einer telemetrischen Erfassungsmethode der aktuellen meteorologischen Daten. Die empirischen Untersuchungen sollen zur Entwicklung anspruchsvollerer Korrekturmodelle unter Einbeziehung von wesentlich genaueren meteorologisch-physikalischen Parametern beitragen.

Nach diesen Vorbemerkungen gehen wir zu der physikalischen Behandlung über.

2 Physikalische Grundlagen der Absorptionstheorie

Vor etwa 2 Jahren haben die Autoren grundlegende theoretische und experimentelle Forschungen über die Möglichkeit der Bestimmung der mittleren Lufttemperatur mit der Anwendung des Laserstrahlbündels und einem CCD-Bildwandler-Mess-Sets vorgenommen [ĆMIELEWSKI, KOWALSKI 2001 und 2002], [ĆMIELEWSKI 2002]. Ein markanter atmosphärischer Effekt der gegenseitigen Einwirkung *Laserstrahl-Messmedium* ist die Lichtschwächung, d.i., die Absorption des Lichtes – eine physikalische Erscheinung der Aufnahme zugestrahlter Energie der elektromagnetischen Lichtwelle bzw. der Korpuskularstrahlung durch feste, flüssige und gasförmige Stoffe. Schreitet eine Strahlung im Innern eines absorbierenden Mediums um die Strecke D fort, so wird ihre

Intensität von Wert I_0 auf den Wert I nach dem Prinzip des Absorptionsgesetzes geschwächt. Die Energie der elektromagnetischen Welle im Medium wird teilweise für die Elektronenanregung absorbiert. Die Lichtintensität des Laserstrahls in der bodennahen Atmosphäre wird dadurch ungefähr proportional zum Messstrahlweg abgeschwächt, da die Luft wie ein Absorptionsfilter wirkt. Die Abhängigkeit der Lichtstärke und der Lichtabsorption durch das Medium ist durch folgende Beziehung – das exponentiale Absorptions-Gesetz erstmalig von Bouguer empirisch erforscht und theoretisch von Lambert beschrieben [MEYER-ARENDRT 1972]:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \quad (1)$$

wobei bedeuten:

I – Lichtenergie im Endpunkt des Lichtstrahlweges ($x = 2D = 2AB$) [J]

I_0 – Lichtenergie im Ausgangspunkt des Laserstrahls ($x = 0$) [J]

α – lineare natürliche Absorptionszahl der elektrooptischen Lichtstrahlungsenergie für die Luft [m^{-1}] (Schwächungskoeffizient)

x – Weglänge (Schichtdichte der Luft) des Laserstrahls [m]

D – Länge der Prüfstrecke [m]

Würden die Lichtenergiewerte I und I_0 bekannt, dann könnten für den die Luft durchquerenden kollimierten Laserstrahl, die physikalischen Größen der Quantenoptik

$$\text{– Absorption : } A = \frac{(I_0 - I)}{I_0} \% \quad (2)$$

und

$$\text{– Transmission : } T = \frac{I}{I_0} \% \quad (3)$$

ermittelt werden.

Auf der Grundlage des Reziprozitätstheorems gilt für die Gleichungen (2) und (3)

$$A\% + T\% = 100\% \quad (4)$$

Zur empirischen Bestätigung der physikalischen Formeln (Gl. (1) und (2)), dass ein Laserstrahl während des Durchgangs in Medien, samt der sich verändernden Temperatur, Informationen über thermische Bedingungen trägt, wurden Untersuchungen über telemetrische Bestimmung der mittleren Temperatur im Wasser-Medium mit der Anwendung eines Laser-Alignierinstruments FLG-1 (VEB Freiburger Präzisions-Mechanik) und einer von den Autoren vorgeschlagene und konstruierte elektrooptische CCD-Prozessor-Anordnung durchgeführt [ĆMIELEWSKI, KOWALSKI 2002].

Auf der Grundlage von mehrseriigen Test-Messungen konnte eine starke Abhängigkeit zwischen der Wassertemperatur und der Laserlichtintensität eindeutig festgestellt werden [ĆMIELEWSKI, KOWALSKI 2002]. Der Wert des Korrelationskoeffizienten für die eingepasste Regressionsgerade aus allen Beobachtungen betrug $R_{TA} = 0,76$. Dieser Wert kann für die gegenständlichen empirischen Test-Untersuchungen als plausibel angenommen werden. Ziel der Untersuchungen war es, die telemetrische Bestimmung und die qualitative und statistische Bewertung

der mittleren atmosphärischen Temperatur längs des Laser-Trägerwellen-Bündels aufgrund von grundlegenden Forschungen der Absorptionsfähigkeit des Laserstrahls in der realen Luft durchzuführen.

In Rahmen von Laborexperimenten wurde die Tauglichkeit und die physikalischen Prinzipien des Messkonzeptes empirisch bestätigt. Die erzielten Ergebnisse und Erfahrungen werden im vorliegenden Aufsatz präsentiert.

3 Labor-Test-Messungen

Die experimentellen Test-Untersuchungen wurden in einer geschlossenen und thermisch isolierten Kalibrierkammer im kellergeschossigem Laboratorium des Lehrstuhls für Geodäsie und Fotogrammetrie der Landwirtschaftlichen Akademie in Wrocław, auf einer 5 Meter langen Basis ausgeführt (Abb. 1.). Die Weglänge des Laser-Bündels betrug also 10 Meter.

Während der Test-Messungen in der Kalibrierungs-Kammer herrschten folgende meteorologische Bedingungen : Luftdruck – $1007 \text{ hPa} \pm 0,5 \text{ hPa}$, relative Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen $28 \% \text{ bis } 30 \% \pm 0,5 \%$ und die allmählich gesteigerte Lufttemperatur betrug von $20,8^\circ\text{C}$ bis $21,4^\circ\text{C}$.

Die Temperatur wurde während den Beobachtungen durch den Betrieb elektronischer Apparaturen und technischer Einrichtungen, wie: Computer, Beschicker und Speiseleitungen beeinflusst und systematisch erhöht.

Eine Wärmeübertragung zwischen Labor und dem Korridor wurde völlig eliminiert. Die Apparaturanordnung während den Untersuchungen zeigt die Abb. 2.

Der angewendete Mess-Modell-Set ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

Das Messprinzip beruht auf einer ständigen Aufzeichnung von Bildszenen während der einzelnen Beobachtungsserien.

Das Laser-Bündel wird unmittelbar hinter dem Strahlungserzeuger, wie in Abb. 3 gezeigt, durch ein Ablenkungsprisma optisch halbiert. Die eine Hälfte des Bündels durchquert das Medium und nach der Totalreflexion kehrt zum CCD-Bildwandler-Empfänger zurück. Die zweite Bündelhälfte, nach der optischen Trennung, wird direkt zum Digitalempfänger abgelenkt und ist nicht durch die

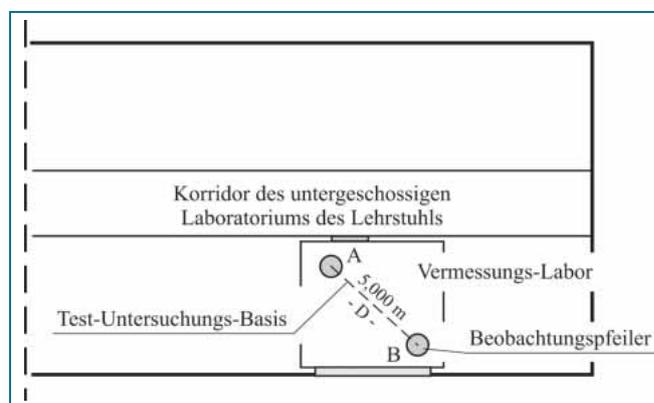


Abb. 1: Lageskizze des Vermessungslaboratoriums mit der separaten Test-Kammer und der Mess-Basis

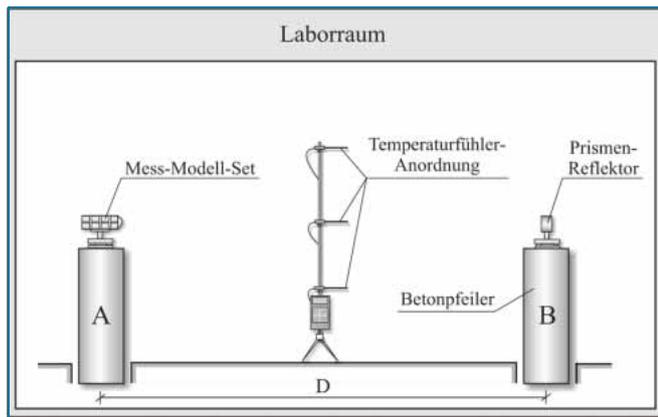


Abb. 2: Schematische Darstellung der Mess-Anordnung für die Labor-Test-Beobachtungen

Medium-Bedingungen beeinflusst. Sie dient als Musterbündel für die weiteren Auswertungen. Die beiden Hälften der Bündel-Front werden mit einer Raster-Datei mit Pixel-Matrix aufgenommen und im CCD-Bildwandler-Monitor angezeigt. Jeder Pixel entspricht einer zugeordneten Gräulichkeitsstufe. Die Bild-Szenen werden in einer 8 Bit-Gräulichkeits-Skala registriert, und das bedeutet, dass jeder Pixel Werte im Bereich von 0 (schwarz) bis 255 (weiß) annehmen kann. Die so aufgestellte Pixel-Matrix wird mit einem modifizierten Computer-Programm ausgewertet. Für die mathematisch-statistische Auswertung der Struktur der Bilddaten wurde der arithmetische Mittelwert gewählt. Bei der Kenntnis der Größe eines Rasters und derselben der totalen Pixel-Anzahl, konnte mit der digitalen Bildverarbeitung die mittlere Gräulichkeitsstufe der beiden Bündelhälften bestimmt werden. Im Modell-Messsystem wurde als Empfänger des Laserstrahls eine Schwarz-Weiß-Kamera mit Sensor vom Typ TC 3102/03A angewendet. Der elektronische Bildwandler mit AV-Kabel registriert, transmittiert und bearbeitet digital die erfassten Bild-Szenen-Daten. Als Lichtquelle diente ein mit einer Laser-Diode ausgestatteter Lasersender. Die Wellenlänge des Laserlichtes betrug 635 nm. Das Kamerasystem arbeitet im sichtbaren Licht-Spektrum mit Beleuchtungsstärke-Empfindlichkeit von 0,05 lx und

ist mit einem PC-Computer mit Pentium IV als Steuerungs- und Auswerteeinheit angeschlossen. Das System kann durch ein Modus die Bild-Szenen in *Real Time* erfassen.

Die Beobachtungen der Lufttemperaturen wurden mit einem Logger (Abb. 2.) Modell SF12 mit 3 in der Vertikale aufgestellten elektronischen Temperaturfühlern durchgeführt. Die Standardabweichung der gemittelten Temperaturen aus den einzelnen Messserien betrug $\sigma_T = |0,11|^\circ\text{C}$. Für die repräsentative Lufttemperatur wurden für die synchronisierten Beobachtungszeiten der aus 3 Messungen gemittelte Wert bestimmt. Es wurden insgesamt 400 Einzel-Beobachtungen mit Bild-Szenen mit einem etwa 3 Sekunden-Schritt erfasst.

4 Auswertung der Ergebnisse der empirischen Test-Untersuchungen

Für die weiteren statistischen Analysen und Interpretationen wurden aus je 10 Messwerten die mittleren Temperaturwerte berechnet und samt den entsprechenden mittleren Differenzen der Bild-Gräulichkeitsstufen in der Tabelle 1 zusammengestellt.

wobei bedeuten:

$$\Delta S_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} S_j^A}{10} - \frac{\sum_{j=1}^{10} S_j^R}{10} \quad (5)$$

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} T_j}{10} \quad (6)$$

und

- S^A – Gräulichkeitsstufe der oberen Bild-Szene im Anfangspunkt des Laserlichtweges ($x = 0$)
- S^R – Gräulichkeitsstufe für die Bild-Szene im Endpunkt des Laserbündelweges ($x = AB = 2D$)
- ΔS_i – Differenz der mittleren Bild-Gräulichkeitsstufen berechnet aus den Daten der beiden (unteren und oberen) Teilbilder-Szenen

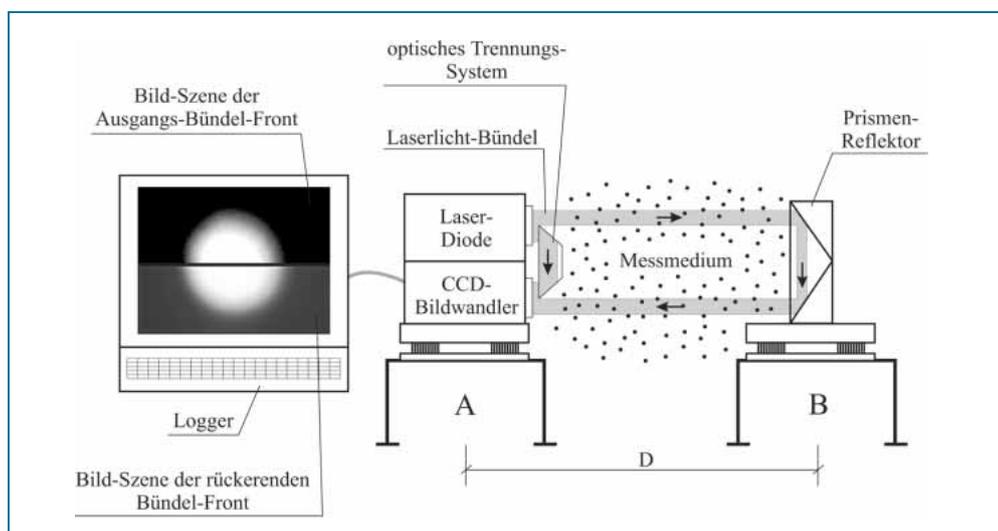


Abb. 3: Wirkungsprinzip der telemetrischen CCD-Modell-Apparatur für die Erfassung von Test-Messdaten



Tab. 1: Zusammenstellung der aus allen Beobachtungsserien gemittelten Test-Messresultate

Beobachtungs-Serie-Nummer	Mittlere Lufttemperatur T_i [°C]	Mittlerer Bild-Gräulichkeits-Grad		Differenz der mittleren Bild-Gräulichkeitsstufen (Ausgangs – Rückkehr) ΔS_i
		Ausgangs-Muster-Bündel	Rückkehrendes Laser-Bündel	
1	20,8	129,1	106,0	23,1
2	20,9	129,1	106,1	23,0
3	20,9	129,1	105,9	23,2
4	20,9	129,1	105,8	23,3
5	21,0	129,0	105,7	23,3
6	21,0	129,1	105,7	23,4
7	21,1	129,0	105,4	23,6
8	21,1	129,0	105,4	23,6
9	21,1	128,9	105,2	23,7
10	21,1	128,9	104,9	24,0
11	21,1	128,9	104,7	24,2
12	21,1	128,9	104,8	24,1
13	21,1	128,9	104,8	24,1
14	21,1	128,9	104,7	24,2
15	21,2	128,9	104,6	24,3
16	21,2	128,8	104,6	24,2
17	21,2	128,8	104,5	24,3
18	21,2	128,8	104,5	24,3
19	21,2	128,8	104,4	24,4
20	21,2	128,8	104,3	24,5
21	21,2	128,7	104,2	24,5
22	21,2	128,7	104,2	24,5
23	21,3	128,7	104,1	24,6
24	21,3	128,7	104,1	24,6
25	21,3	128,7	103,8	24,9
26	21,3	128,6	103,8	24,8
27	21,3	128,7	103,8	24,9
28	21,3	128,7	103,8	24,9
29	21,3	128,7	103,7	25,0
30	21,3	128,7	103,8	24,9
31	21,3	128,6	103,6	25,0
32	21,3	128,6	103,6	25,0
33	21,3	128,6	103,6	25,0
34	21,3	128,7	103,7	25,0
35	21,4	128,6	103,6	25,0
36	21,4	128,4	103,3	25,1
37	21,4	128,7	103,5	25,2
38	21,3	128,7	103,6	25,1
39	21,3	128,5	103,3	25,2
40	21,3	128,3	103,3	25,0

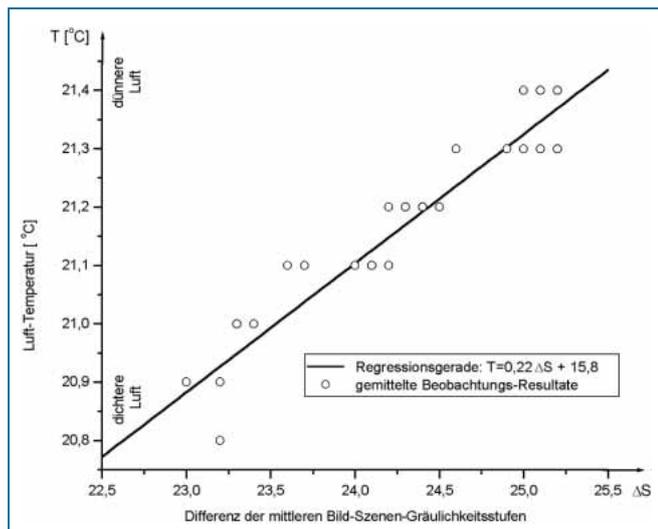


Abb. 4: Graphische Darstellung der ausgewerteten Regressionsgerade für die abhängigen Variablen T_M und ΔS_M

In Abb. 3. wurde exemplarisch das mit dem CCD-Kamera-System erfasste Doppelbild – des Ausgangs- und Eingangsbündels – und der Aufbau der Messanordnung im Kalibrierlabor schematisch dargestellt.

Die ausgewerteten Messdaten der mittleren Gräulichkeitsstufen aus den einzelnen Bild-Szenen und den mittleren Lufttemperaturen gestatteten mit der Methode der kleinsten Quadrate das Bestimmen des funktionellen Zusammenhanges der empirisch beobachteten Daten-Werte. Die Gleichung der ausgewerteten Korrelationsfunktion für die Temperatur lautet:

$$T = 0,22 \cdot \Delta S + 15,80 \quad (7)$$

Der Korrelationskoeffizient für die angepasste Regressionsgerade ist sehr hoch und beträgt $R_{T,\Delta S} = 0,97$ mit der Standardabweichung der Temperaturbestimmung $\sigma_T = |0,035| ^{\circ}\text{C}$.

Für die Gleichung der Korrelationsfunktion der ausgeglichenen Gerade des Differential-Gräulichkeitsgrades nach dem Reziprozitätstheorem gilt:

$$\Delta S = 4,27 \cdot T - 66,14 \quad (8)$$

mit dem Korrelationskoeffizient $R_{\Delta S,T} = 0,97$ und mit Messunsicherheit von $\sigma_{\Delta S} = |0,158|$.

Die Schärfe der Korrelationskoeffizienten von 0,97 wies auf eine sehr gute Anpassungsfähigkeit der beiden ermittelten Geraden aus den experimentellen Messdaten der Laboruntersuchungen (Abb. 4).

Die Test-Untersuchungen für die 1. Beobachtungsserie dauerten ca. 25 Minuten und wurden als technische Verifikation des CCD-Bildwandler-Sets betrachtet (KOWALSKI 2003). Die dreimal wiederholten Beobachtungsserien haben fast identische Resultate und Anpassungsstärke der beiden abhängigen Variablen T und ΔS samt den geringen mittleren Fehlern aufgezeigt.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

- Die im vorliegenden Beitrag gestellte Frage betrifft die Einwirkung des für die elektrooptische Distanzmessung wichtigsten meteorologischen Parameters des Messungsmediums, der mittleren Lufttemperatur auf das Absorptionsvermögen der Umwelt. Die experimentellen Untersuchungen sind als Versuch zur empirischen Lösung des im Titel gestellten Problems zu verstehen.
- Um genaue Messresultate mit Standardabweichungen von Millimeterbruchteilen bei Entfernungsmessungen mit elektronischen Distanzsensoren zu erreichen, müssen die meteorologischen Korrekturen, das sind – mittlere Lufttemperatur, mittlerer Luftdruck und Feuchtigkeit längs des Trägerwellenweges mit hohem Aufwand ermittelt werden. Eine sichere Bestimmung der gemittelten Temperatur der realen Atmosphäre kann nur mit einem Laser-CCD-Prozessor und der EDV-Technologie erreicht werden.
- Die moderne CCD-Technologie und Computer-Technik eröffneten ganz neue Möglichkeiten für viele technische Lösungen und der komplexen quantitativen und qualitativen Bewertung und Interpretation verschiedener physikalischer Erscheinungen, vornehmlich dieser, die die optischen Phänomene der Physik der Atmosphäre und der Quantenoptik betreffen. Die Test-Untersuchungen haben den funktionellen Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und dem Gräulichkeitsgrad des das Messmedium durchquerenden Laser-Bündels völlig bestätigt. Die untere Teilbild-Szene im Monitor (Abb. 3.) zeigt bei höherer Temperatur einen dunkleren Mittelton, einen sichtbaren und messbaren Effekt der Laserlichtabsorption durch das Medium. Die Energie des Laserbündels wird geschwächt. Die ausgewerteten ΔS -Differenzen steigen proportional mit den mittleren Lufttemperaturen (Tabelle 1).
- Die von den Verfassern beschriebenen elektronischen Messanordnungen, Test-Untersuchungen und die erzielten Resultate weisen auf die Zweckmäßigkeit weiterer Forschungen der beobachteten physikalischen Erscheinung der Laserstrahlabsorption durch die Atmosphäre auf längeren Basen und bei verschiedenen und differenzierten meteorologischen Verhältnissen und Wettersituationen. Die bisher erreichten Untersuchungsziele und -ergebnisse auf einer ca. 50-Meter-Kalibrier-Basis sind positiv und viel versprechend. Nach dem Kenntnisstand der Autoren waren ähnliche grundlegende Forschungen und experimentelle Ansätze im Labor und/oder im offenem Gelände noch nicht durchgeführt worden.

Literatur

- [1] BRYŚ H.: Theoretical basis of laser beam refraction and its upon deformation of crane track geometry, *Geodezja i Kartografia*, t. XLIV, z. 1, 1995, 75–81.
- [2] ĆMIELEWSKI, K.: A concept of a method of remote determination of the air temperature along a sight of surveying instruments, *Geodezja i Kartografia*, t. LI, z. 3, 2002, s. 133–139.
- [3] ĆMIELEWSKI, K., KOWALSKI, K.: Zestaw do pomiaru parametrów meteorologicznych atmosfery, Zgłoszenie patentowe do UP RP nr: P-349652, 2001.
- [4] ĆMIELEWSKI, K., KOWALSKI, K.: Badania eksperymentalne nad wyznaczaniem temperatury w ośrodku wodnym z zastosowaniem laserowego instrumentu pomiarowego LFG-1, *Acta Scientiarum Polonorum, Geodesia et Descriptio Terrarum*, nr 1(1-2)/2002, 2002, s. 85–92.
- [5] DEUBEN D., CASOTT, N.: Presents Methods of Survey Refraction Determination During Precise Terrestrial Measurement, *Geodeticky a Kartograficky Obzor*, ročník 46/88 2000, číslo 1, 2000.
- [6] KOWALSKI, K.: Badania nad możliwością zastosowania wiązki światła laserowego do określania temperatury powietrza atmosferycznego Praca dyplomowa magisterska, Akademia Rolnicza, Wrocław, 2003.
- [7] MEYER-ARENDE, J.R.: Introduction to Classical and Modern Optics, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1972.

Anschriften der Verfasser:

o. Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. HENRYK BRYŚ,
Instytut Geotechniki, Politechnika Krakowska,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polen,
E-mail: hbrys@usk.pk.edu.pl
Dr.-Ing. KAZIMIERZ ĆMIELEWSKI,
Dipl.-Ing. KRZYSZTOF KOWALSKI,
Katedra Geodezji i Fotogrametrii,
Akademia Rolnicza we Wrocławiu,
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, Polen,
E-mail: cmielewski@kgf.ar.wroc.pl

Zusammenfassung

Im Beitrag werden Ergebnisse von Modell-Sets-Testmessungen zur telemetrischen Temperaturbestimmung der Luft längs eines Laser-Messstrahlbündels, auf der physikalischen Grundlage des Absorptions-Gesetzes präsentiert und diskutiert. Der starke funktionelle Zusammenhang zwischen der momentanen mittleren Temperatur des Mediums und der Differenz der mittleren Bild-Gräulichkeitsstufen der ausgestrahlten und rückkehrenden Laserstrahlbündel-Front wurde empirisch bestätigt und mathematisch beschrieben. Die im Kalibrier-Labor erreichten Test-Resultate und Erfahrungen werden bei der verbesserten Konstruktion eines Laser-CCD-Bildwandler-Messsets für das Bestimmen der repräsentativen Lufttemperatur bei präzisen elektrooptischen Distanzmessungen in der realen Atmosphäre angewandt.

Summary

Based on physical absorption principles, the paper presents and discusses the results from model-test measurements of telemetric air-temperature assessment along the laser beam pathway of modern precise range finders. The strong functional relationship between the momentary air-temperature and the difference of the average gray scale degree of the returning to the CCD-sensor laser beam was empirically confirmed as well as described mathematically. The results of described tests and experience gained in the calibration laboratory helped to modify the construction of the air-temperature-determining CCD image converters used in modern precise electrooptical range finders.

Keywords : Elektrooptische Distanzmessung, telemetrische Lufttemperaturbestimmung, Laserstrahlbündel, CCD-Bildwandler-Anordnung