

Anwendung der Lokalen-Maßstab-Parameter Methode (LSPM) bei der Vermessung einer Kalibrierbasis

Application of the Local Scale Parameter Method (LSPM) to the Measurement of a Calibration Base

Fritz K. Brunner, Werner Lienhart

Für die genaue Distanzbestimmung ist bei der Messung an einer Kalibrierbasis eine korrekte Berücksichtigung der atmosphärischen Verhältnisse entlang des Messweges entscheidend. In der Standardmethode werden dazu aufwendige atmosphärische Messungen am Standpunkt und an den Zielpunkten durchgeführt. Trotz des hohen Aufwandes sind diese punktuellen Messungen nicht in der Lage, den atmosphärischen Effekt entlang der ganzen Messstrecke zu beschreiben. Als alternative Methode wird die Lokale-Maßstab-Parameter Methode (local scale parameter method, LSPM) vorgestellt. Anhand der Anwendung der Methode im Rahmen des Ringvergleichs an der UniBw München wird nachgewiesen, dass mit der Lokalen-Maßstab-Parameter Methode die aufwendigen atmosphärischen Messungen an den Endpunkten einer EDM-Messstrecke nicht erforderlich sind.

Schlüsselwörter: Lokale-Maßstab-Parameter Methode, EDM-Kalibrierbasis, atmosphärische Korrektur, EDM-Kalibrierung

The atmospheric conditions along the measurement path have to be known for high accurate electronic distance measurements. The standard method for the atmospheric correction requires atmospheric measurements at the end points of the EDM path. However, these punctual measurements are not able to describe the atmospheric conditions along the whole measurement path. The Local Scale Parameter Method (LSPM) is presented as an alternative method for the atmospheric correction of EDM measurements. This method was applied to measurement data recorded at the new EDM calibration base of UniBw Munich. The results demonstrate that costly and time consuming atmospheric measurements at the target points are not needed when using the Local Scale Parameter Method.

Keywords: Local Scale Parameter Method, EDM calibration base, atmospheric correction, EDM calibration

1 EINLEITUNG

Die Kalibrierung von EDM-Geräten unter Feldbedingungen ist nach wie vor eine wichtige Aufgabe in der Geodäsie. Die Messung von langen EDM-Distanzen ist allerdings nicht mehr im Fokus, denn diese Aufgaben werden mit hoher Genauigkeit mit GNSS-Messungen erledigt. Ein wichtiges Thema ist jedoch die sehr genaue Messung von EDM-Distanzen bis ungefähr 1000 m, vor allem wegen der terrestrischen Messung von Deformationen. Dabei ist die Kalibrierung der EDM-Geräte von großer Bedeutung. Für diesen Zweck wurden Kalibrierstrecken entwickelt und errichtet. Eine sogenannte Kalibrier-

basis besteht aus 6 bis 8 Messpunkten, die meistens als Pfeiler gebaut werden. Sie werden hauptsächlich zur Bestimmung der Additionskorrektur eines EDM-Gerätes benutzt, wobei für die Abstände der Pfeiler bestimmte Distanzen eingehalten werden sollten /Rüeger 1996/. Die jüngste EDM-Kalibrierbasis wurde auf dem Gelände der Universität der Bundeswehr München mit 8 Pfeilern errichtet /Heister 2012/. Die Vermessungsarbeiten zur Bestimmung der Sollstrecken sind in /Heunecke 2012/ beschrieben. Die vorliegende Arbeit berichtet über die Bestimmung der sogenannten ersten Geschwindigkeitskorrektur (atmosphärische Korrektur) der gemesse-

nen Distanzen mit der Lokalen-Maßstab-Parameter Methode (local scale parameter method, LSPM), die einer Selbstkalibrierung entspricht. Als Anwendung werden Messungen verwendet, die auf der Kalibrierbasis der Universität der Bundeswehr München im Rahmen eines Ringvergleichs /Heunecke 2012/ ausgeführt wurden.

2 ATMOSPHERISCHE KORREKTUR VON EDM

Das abgestrahlte und modulierte Licht breitet sich durch die Atmosphäre mit veränderlicher Geschwindigkeit aus. Die Geschwindigkeit ist abhängig vom Brechungsindex, während der Gradient des Brechungsindex die Richtung der Strahlung bestimmt. Der Brechungsindex der Luft hängt von der Lufttemperatur (T), vom Druck (p) und dem partiellen Wasserdampfdruck (e) ab.

Im Allgemeinen haben diese drei Parameter starke Variationen in der unteren Atmosphärenschicht. Für die genaue Bestimmung der atmosphärischen Korrektur einer EDM-Messung sollte daher die Verteilung dieser Parameter entlang des Messstrahls bekannt sein. Drei unterschiedliche Ansätze sind dafür bekannt:

(i) Die Standardmethode beruht auf den Messungen der atmosphärischen Parameter an den Endpunkten der Strecke. Es wird angenommen, dass diese Werte der atmosphärischen Parameter an den Endpunkten der Strecke auch entlang der Strecke gültig sind. Bei langen Distanzen kann die Messstrecke von der Sehne abweichen. Für diesen Fall sind Modelle entwickelt worden.

(ii) Die genaueste Methode benutzt den Dispersionseffekt, das heißt, die Koeffizienten F und H in Gleichung (1) sind abhängig von der Wellenlänge λ der Strahlung. Die Refraktivität μ für die Gruppenausbreitung kann wie folgt beschrieben werden:

$$\mu = (n - 1) = \frac{1}{T} [F(\lambda)p - H(\lambda)e] \quad (1)$$

wobei n der Brechungsindex, T die Temperatur in K, p der totale Druck in hPa, e der partielle Wasserdampfdruck in hPa, $F(\lambda)$ und $H(\lambda)$ Koeffizienten sind, die von der Wellenlänge λ der verwendeten Strahlung abhängen. Wenn mindestens zwei Messungen mit unterschiedlichen Wellenlängen verwendet werden, dann kann damit z. B. der Ausbreitungseffekt in der Trockenluft eliminiert werden.

(iii) Für Streckenmessungen, die von einem Standpunkt zu verschieden weit entfernten Reflektoren gemessen wurden, hat man festgestellt, dass die atmosphärischen Ausbreitungseffekte in einem bestimmten Streckenverhältnis stehen. Bei genügend überschüssigen Streckenmessungen (geodätische Messungen) können die Streckenverhältnisse zur Bestimmung der unbekanntenen Ausbreitungseffekte verwendet werden. Diese Methode eignet sich besonders gut für die Elimination der atmosphärischen Effekte bei EDM-Messungen auf einer Kalibrierbasis. Das soll im nächsten Kapitel ausführlich argumentiert werden.

3 DIE LOKALE-MASSSTAB-PARAMETER METHODE (LSPM)

3.1 Der allgemeine Fall

Die ursprüngliche Form der LSPM wurde zuerst von /Robertson 1971/ vorgeschlagen. Er hatte erkannt, dass die Distanzmessungen von einer Station zu einer Reihe von Reflektoren atmosphärische

Effekte haben, die proportional zu den Distanzen sind. /Paterson 1973/ hat gezeigt, dass die Verwendung von Streckenverhältnissen als Beobachtungen in einer Parameterschätzung das stochastische Modell kompliziert macht. Es ist daher von Vorteil, die gemessenen Distanzen als Beobachtungen zu verwenden, diese aber mit einem oder mehreren zusätzlichen Parametern – die in ihrer Wirkung Maßstäbe sind – zu verbinden. Diese Modellierung hat zuerst /White 1973/ vorgeschlagen.

Die Gleichung für die Verbesserung v_{ij} einer Distanzmessung S_{ij} vom Standpunkt i zum Zielpunkt j ist /Brunner, Rieger 1992/

$$v_{ij} = a_i d_x + s_{ij}^0 - IC - \Delta s_{ij} \quad (2)$$

a_i ist der i -te Zeilenvektor, d_x ist der Vektor der zu schätzenden Korrekturen zu den vorläufigen Koordinaten, s_{ij}^0 ist der Wert der vorläufigen Distanz, IC ist die zu schätzende Instrumentenkonstante (Additionskorrektur) und Δs_{ij} ist die Differenz zwischen der vorläufigen Sehne und der Distanzmessung (ohne Korrekturen). Die ausführlich beschriebene Ableitung der endgültigen Form der Beobachtungsgleichung kann man in /Brunner, Rieger 1992/ nachlesen. Hier sollen nur die wichtigsten Schritte der Ableitung beschrieben werden.

Alle EDM-Geräte verwenden einen konstanten Wert der Refraktivität μ_{REF} . Damit kann Gleichung (2) umgeschrieben werden

$$v_{ij} = a_i d_x - IC - s_{ij}^0 (\mu_{REF} - \tilde{\mu}_i) - \zeta_{ij} \theta' + t_{ij} \quad (3)$$

wobei $\tilde{\mu}_i$ der Wert der Refraktivität für die Station i ist, der für alle Distanzmessungen von der Station i zu den verschiedenen Reflektoren (siehe Kapitel 4.1 für die Gruppenbildung) gleich aber unbekannt ist. θ' steht für den Mittelwert des vertikalen potenziellen Temperaturgradienten und ζ_{ij} ist der Koeffizient für θ' . Die Berechnung von ζ_{ij} ist in /Brunner, Rieger 1992/ beschrieben. Der Term t_{ij} fasst die Distanzmessung und die notwendigen Korrekturen zusammen. Später wird t_{ij} ausführlicher beschrieben. Der unbekannte Maßstabsfaktor, der den atmosphärischen Ausbreitungseffekt darstellt, ist

$$LSP_i = (\mu_{REF} - \tilde{\mu}_i) \quad (4)$$

Mit Gleichung (4) wird das Modell für die LSPM beschrieben, wobei für jede Gruppe von Distanzmessungen ein unbekannter LSP angesetzt wird.

Für die Auswertung der Distanzmessungen in einem geodätischen Netz ergibt die LSPM signifikante Vorteile:

- Atmosphärische Messungen sind an den Reflektorstationen nicht notwendig.
- Die Genauigkeit der Brechungsindexformel ist kaum kritisch, da keine erste Geschwindigkeitskorrektur berechnet wird.
- Die Kalibrierung der Modulationsfrequenz des EDM-Gerätes ist nicht notwendig.
- Die Koordinaten des geodätischen Netzes sind frei von lokalen Maßstabsverzerrungen.
- Die a posteriori EDM-Präzision nähert sich der hohen Präzision der EDM-Geräte.

Der Hauptvorteil der LSPM besteht darin, dass jede Distanzmessung die atmosphärischen Ausbreitungseffekte erfasst, auch alle Variationen, die entlang des Messstrahls wirksam werden können. Dieser Ausbreitungseffekt wird mit dem LSP_i modelliert. Dagegen

werden in der Standardkorrekturmethode die atmosphärischen Parameter meistens nur an den Endpunkten der Strecke gemessen – wenn auch noch so genau – und sie ist daher nicht fähig, Variationen dieser Parameter zwischen den Endpunkten zu erfassen.

3.2 DER SPEZIELLE FALL EINER KALIBRIERBASIS

Der spezielle Fall einer Kalibrierbasis bringt noch zusätzliche Vereinfachungen zu Kapitel 3.1. Im Allgemeinen wird eine Kalibrierbasis so ausgesucht, dass alle Pfeilerplatten auf einer Linie liegen. Dadurch haben alle EDM-Messungen ungefähr den gleichen Bodenabstand und die Messstrahlen breiten sich in sehr ähnlichen atmosphärischen Schichten aus. Die Kalibrierbasis wird so ausgesucht, dass nahezu horizontale EDM-Strecken entstehen. Für Messungen während des Tages und für ungefähr horizontales Gelände wird der Koeffizient ζ_{ij} zu null gesetzt. Damit ergibt sich die Verbesserungsgleichung (3) in der vereinfachten Form als

$$v_{ij} = a_i d_x - IC - s_{ij}^0 LSP_i + t_{ij} \quad (5)$$

Der unbekannte Vektor d_x besteht jetzt aber nur mehr aus den zu schätzenden Strecken der Kalibrierbasis. Die Elemente des Zeilenvektors a_i sind 0, -1, +1.

Der Term t_{ij} ist nach /Brunner, Rieger 1992/

$$t_{ij} = s_{ij}^0 - d'_{ij} - C_i \beta m_{ij} s_{ij}^0 - \frac{1}{24} s_{ij}^{0^3} (\alpha \beta C_i \sin z_{ij})^2 \quad (6)$$

d'_{ij} ist die vom EDM-Gerät ausgegebene Distanz. Der vierte Term in Gleichung (6) ist die Bogen-auf-Sehne-Korrektur, die für die maximale Distanz s_{ij}^0 von 1000 m ungefähr 0,03 μm groß ist und daher für die Messung einer Kalibrierbasis ignoriert werden kann. Der dritte Term kann wieder für die maximale Distanz s_{ij}^0 von 1000 m mit kleiner 1 μm abgeschätzt werden und darf daher ebenfalls vernachlässigt werden. Damit wird t_{ij} durch t'_{ij} ersetzt

$$t'_{ij} = s_{ij}^0 - d'_{ij} \quad (7)$$

und die endgültige Verbesserungsgleichung ist

$$v_{ij} = a_i d_x - IC - s_{ij}^0 LSP_i + (s_{ij}^0 - d'_{ij}) \quad (8)$$

Die Instrumentenkonstante IC wird aus allen Messungen geschätzt, während für jede Messstation mindestens ein LSP_i , i. e. $(\mu_{REF} - \tilde{\mu}_i)$ geschätzt wird.

Die Schätzung aller LSP_i aus den Distanzmessungen in einem geodätischen Netz oder auf einer Kalibrierbasis macht die Parameterschätzung singular. Um diese Singularität aufzulösen, ist es am sinnvollsten, einen Maßstab zu spezifizieren, in dem z. B. die Koordinaten von zwei Punkten fixiert werden, oder eine Strecke als fix in die Parameterschätzung eingeführt wird.

4 ANWENDUNG VON LSPM

4.1 Anwendungen

Wie schon erwähnt wurde, beinhaltet eine EDM auch den atmosphärischen Effekt und zwar entlang der ganzen Strecke. Zur Beschreibung dieses Effektes wird in der Beobachtungsgleichung ein LSP aufgenommen. Dieser LSP kann aber nur berechnet werden, wenn mindestens zwei Strecken – von einer Station ausgehend – ähnliche meteorologische Effekte haben. In erster Linie wird die Topographie unter der Messstrecke die atmosphärischen Zustände bestimmen. /Brunner, Rüeiger 1992/ haben dazu vorgeschlagen, Gruppen mit ähnlichen Profilen und daher auch den gleichen LSP zu bilden. Alle bekannten Anwendungen von LSP h aben den distanzabhängigen Koeffizienten in der Formel mit einer Standardabweichung von 0,3 ppm ergeben /Rüeiger 1996/.

Auf einer Kalibrierbasis gibt es diese Problematik der unterschiedlichen Topographien nicht. Daher kann der distanzabhängige Koeffizient mit 0,2 ppm oder besser erwartet werden. Im nächsten Kapitel wird darüber ausführlicher berichtet werden.

Eine Anwendung der LSPM besteht darin, zu klären, ob die Distanzmessungen oder die atmosphärischen Daten (aus Messungen der atmosphärischen Parameter gerechnet) fehlerhafte Werte beinhalten, falls die statistische Prüfung darauf hinweist. Dazu werden die rohen Distanzmesswerte in die Parameterschätzung nach der Methode LSP eingeführt. Das Resultat wird Ausreißer in den Distanzmesswerten klar erkennbar machen, vor allem in den Verbesserungen.

Ein Vorteil der LSPM besteht darin, dass bei dieser Methode die Koordinaten eines geodätischen Netzes keine lokalen Maßstabsverzerrungen haben werden. Der Maßstab wird ja durch eine vorgegebene Strecke oder den Koordinaten von zwei Punkten eingeführt. Für Netzerweiterungen wird auf diese Weise der Maßstab des existierenden Netzes übertragen. Von besonderem Vorteil ist die Verzerrungsfreiheit für die terrestrische Bestimmung von Deformationen.

Bei automatisierten Deformationsmessungen kann die LSPM ebenfalls vorteilhaft eingesetzt werden. Automatisierte Deformationsmessungen zeichnen sich dadurch aus, dass von einem Standpunkt aus Richtungen und Strecken zu mehreren Reflektoren automatisiert und nach einem vorgegebenen Messprogramm gemessen werden. Bei vielen Anwendungen, z. B. Rutschhangüberwachungen, sind atmosphärische Messungen an allen Zielpunkten nicht machbar oder finanziell nicht vertretbar. Mit der LSPM können trotzdem und mit geringem Aufwand die atmosphärischen Effekte der EDM-Messungen eliminiert werden. Erforderlich ist dazu nur die Erfassung der atmosphärischen Daten mit geringer Genauigkeit am Standpunkt und eine zusätzliche EDM-Messung einer bekannten Referenzstrecke. Falls die Stabilität der Referenzstrecke nicht garantiert werden kann, ist es möglich, die aktuelle Länge der Referenzstrecke aus permanenten GNSS-Messungen abzuleiten.

4.2 Die Bestimmung der Kalibrierbasis der UniBW München mit LSPM

Die LSPM hat sich in vielen Anwendungen bereits bewährt. Die erreichten Genauigkeiten sind ungefähr 0,2 ppm. In der Praxis wird LSPM aber kaum verwendet. Daher wurde entschieden, die Kalibrierbasis der UniBW München – den Vorschlägen von /Brunner, Rüeiger 1992/ für die Feldarbeit folgend – mit LSPM zu vermessen.

Das Design und der Bau der Kalibrierbasis der UniBW München wurde von /Heister 2012/ beschrieben. Für die Messungen vom Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS) der TU Graz stand ein Leica TCA 1800 zur Verfügung. Im Messlabor von IGMS befindet sich eine klimatisierte Kalibrierbasis, bestehend aus 4 Pfeilern und einem zusätzlichen Reflektor, der auf einer an der Wand befestigten Konsole montiert ist. Auch kann im Messlabor von IGMS auf dem Längenkomparator (Interferometer) der zyklische Fehler bestimmt werden. In der vorliegenden Arbeit werden die zyklischen Fehler nicht behandelt. Bei den Messungen auf der Kalibrierbasis wurden vor und nach diesen die IC-Werte auf der Laborbasis bestimmt (Tab. 1).

	IC [mm]	Std [mm]	Datum
Messlabor VOR	-0,26	0,02	06.09.2011
Messung der Kalibrierbasis	-0,14	0,06	14.09.2011
Messlabor NACH	-0,15	0,06	27.09.2011

Tab. 1 | IC-Werte für den Leica TCA 1800 (IGMS)

Für die Feldmessungen am 14.09.2011 wurde die Totalstation Leica TCA 1800 mit einem Präzisionsreflektor Leica GPH1P verwendet. Jeder der 8 Pfeiler wurde als Standpunkt verwendet und es wurden alle verbleibenden 7 Pfeiler als Reflektorträger benutzt, daher musste der Reflektor schnell zwischen den Pfeilern transportiert werden. Der Empfehlung von /Brunner, Rüeiger 1992/ folgend, wurden die Distanzmessungen als Sätze, analog zur Messung von Richtungssätzen, gemessen. Damit wird erreicht, dass sich die sieben Mittelwerte aller Messungen von einem Pfeiler aus auf einen Zeitpunkt beziehen. Systematische Messabweichungen, wie z. B. gleichmäßige Temperaturänderungen während der Messungen an einem Standpunkt, werden dadurch eliminiert. Sicherlich ist die Satzmessung der Distanzen mit nur einem Reflektor sehr zeitaufwendig, aber in diesem Experiment ging es darum, die Leistungsfähigkeit der LSPM zu zeigen. Für die Untersuchungen wurden auch atmosphärische Messungen durchgeführt. Nur die atmosphärischen Daten vom Standpunkt werden verwendet und für diese genügt eine geringe Genauigkeit, z. B. ± 5 °C, siehe dazu /Brunner, Rüeiger 1992/. Ein wesentlicher Vorteil der LSPM besteht darin, dass am Reflektorpunkt keine atmosphärischen Daten erfasst werden müssen.

Mit den Felddaten wird eine Parameterschätzung nach der Methode der kleinsten Quadratsumme durchgeführt. Da ja die LSPM die Maßstäbe entfernt, muss ein Maßstab spezifiziert werden, der die Singularität des Gleichungssystems beseitigt. /Heunecke 2012/ hat gewichtete Mittel der Strecken aus den Mekometerdaten und den Lasertrackerdaten der anderen Teilnehmer gerechnet, die hier als Sollwerte verwendet werden. Die hier gezeigten Resultate wurden mit dem entsprechenden Wert von /Heunecke 2012/ für die Strecke 1 – 8 gerechnet. In Tab. 2 sind die Sollwerte der Strecken gelistet. Im Vergleich dazu wird das Resultat LSPM1 gezeigt, bei der alle Distanzmessungen verwendet werden, also auch die Rückmessungen.

Mit den Daten der Feldmessung wurden verschiedene Szenarien untersucht. Soll man für LSPM auf einer Kalibrierbasis unterschiedliche Maßstäbe für die vorwärts gerichteten und die rückwärts ge-

Strecken	SOLL [mm]	SOLL-LSPM1 [mm]	SOLL-LSPM2 [mm]
1 - 2	18 780,48	-0,17	+0,03
2 - 3	82 456,87	+0,33	+0,20
3 - 4	146 146,92	-0,10	-0,16
4 - 5	177 978,80	-0,15	-0,16
5 - 6	114 298,70	+0,50	+0,40
6 - 7	50 625,59	-0,09	0,00
7 - 8	509 698,37	-0,33	-0,32
Soll 1 - 8	1099 985,74		
S_0^2		0,92	1,18
f		41	20
IC [mm]		-0,14	-0,10
Std (IC) [mm]		0,06	0,11

Tab. 2 | Sollwerte und LSPM-Lösungen; LSPM1 verwendet die vollen EDM-Satzmessungen zu allen Pfeilern, LSPM2 verwendet eine vereinfachte Messkonfiguration

richteten EDM Strecken verwenden? Dieser Ansatz brachte keine signifikante Verbesserung. Daher wird für jeden Standpunkt nur ein zu schätzender Maßstab angesetzt. Weiters wurde untersucht, ob IC eine Längenabhängigkeit hat. Für das spezielle EDM-Gerät (Leica TCA 1800) konnte keine Längenabhängigkeit nachgewiesen werden.

Die Parameterschätzung LSPM1 ergibt für IC den Wert $-0,14$ mm mit der Std. $0,06$ mm. Die Labormessung vor der Feldkampagne hat $-0,26$ mm mit der Std. $0,02$ mm ergeben. Der entsprechende statistische Test ergibt mit 5% Fehlerwahrscheinlichkeit, dass beide Werte unterschiedlich sind. Bei den ersten Messungen im Labor könnten größere Zentrierfehler aufgetreten sein. Es wurde daher die Zentrierung verbessert. Dagegen ergibt die Labormessung nach der Feldkampagne für IC den Wert $-0,15$ mm mit Std. $0,06$ mm, ein Wert, der mit dem LSPM1 Resultat übereinstimmt. Es soll hier angemerkt werden, dass die IC -Werte schwach vom gewählten Szenario für die Auswertung der Daten abhängig sind.

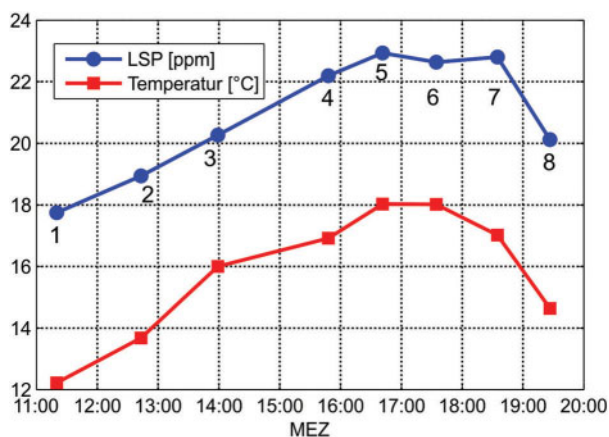


Abb. 1 | Tagesverlauf der Temperatur, gemessen an den entsprechenden Pfeilern (rote Linie). LSP_i bestimmt mit LSPM1 aus den Distanzmessungen (blaue Linie).

In *Abb. 1* ist der Verlauf der Temperaturwerte T_i , gemessen während der Distanzmessungen auf einem Pfeiler, als Funktion der Zeit dargestellt. Die geschätzten LSP_i ergeben den Mittelwert $\bar{\mu}_i$ der Refraktivität für die Zeitspanne der Distanzmessungen auf der Station i . Die Refraktivität ist am stärksten abhängig von der Temperatur. Daher ist es nicht verwunderlich, dass der Verlauf der Temperatur T_i mit dem zeitlichen Verlauf der T_i sehr gut übereinstimmt, wie *Abb. 1* zeigt. Auffällig ist in *Abb. 1* die glattere Verbindungslinie der LSP_i -Werte im Vergleich mit der unruhigeren Linie der T_i -Werte. Eine wahrscheinliche Erklärung ergibt sich durch die Tatsache, dass die T_i -Werte das Resultat von lokalen Punktmessungen sind, während der LSP_i -Wert mit dem Mittelwert der Linienintegrale von LSP_i von Station i zu den Pfeilern entspricht. Dazu kommt noch, dass genaue Temperaturmessungen im Gelände sehr schwierig sind.

Der Aufwand, der bei der Anwendung von LSPM entsteht, muss als hoch eingeschätzt werden, wenn man den ursprünglichen Richtlinien für die Feldarbeit folgt /Brunner, Rieger 1996/. Diese Richtlinien, vor allem für die EDM-Satzmessung, waren für EDM-Netze gedacht und nicht für die vereinfachte Konfiguration einer eindimensionalen Kalibrierbasis. Es ist daher naheliegend, nur vom ersten Halbsatz von jeder Station die vorwärts gemessenen Strecken, für Pfeiler 7 keine Messungen und für Pfeiler 8 alle 7 rückwärts gemessenen Strecken für die Auswertung der EDM-Kalibrierbasis zu verwenden. Es wurden keine neuen Messungen durchgeführt, sondern die Originaldaten (Satzmessungen) für die beschriebene Auswahl verwendet. Die Resultate der entsprechenden Parameterschätzung werden LSPM2 bezeichnet. Die Abweichungen der LSPM1- und LSPM2-Resultate müssen natürlich für Pfeiler 8 Null ergeben, da die Sollstrecke für den Pfeiler 8 zur Maßstabsfixierung in der Parameterschätzung nach LSPM verwendet wurde.

Die EDM-Halbsätze wurden mit der Methode LSP ausgewertet, wobei ein IC , 7 LSP_i und sieben Teilstrecken der Kalibrierbasis zu schätzen waren. Die Singularität dieser Parameterschätzung wurde durch die Verwendung der Strecke zwischen Pfeiler 1 und Pfeiler 8 – der Mittelwert für diese Strecke wurde von /Heunecke 2012/ berechnet und wird hier als SOLL verwendet – gelöst. Das Resultat der Parameterschätzung LSPM2 mit diesen „abgemagerten“ Messdaten ist in Tab. 2 gelistet und in *Abb. 2* dargestellt. Allerdings ist zu beachten, dass in *Abb. 2* die akkumulierten Abweichungen, also für jeden Pfeiler mit der Streckenlänge als Abszisse, dargestellt sind.

/Heunecke 2012/ hat die maximalen Verbesserungen aller Messungen der Kalibrierbasis ausgewiesen, die zwischen $-0,43$ mm und $+0,67$ mm liegen. Die LSPM-Varianten ergeben maximale Abweichungen im Vergleich mit den SOLL-Strecken der Kalibrierbasis zwischen $-0,17$ mm und $+0,41$ mm. Das Resultat und die *Abb. 2* zeigen überzeugend, dass die Methode LSP Resultate liefert, deren Abweichungen innerhalb der Bandbreite der Abweichungen aller anderen 10 Messungen mit unterschiedlichen EDM-Geräten liegen /Heunecke 2012/. Auch zeigen die Resultate, dass das gewählte EDM-Gerät (Leica TCA 1800) sehr genaue Distanzen liefert und der Vergleich mit den Resultaten der anderen EDM-Geräte keine geringere Präzision zeigt.

Zum Abschluss soll nochmals festgestellt werden, dass die aufwändigen atmosphärischen Messungen an den Endpunkten einer Strecke mit LSPM nicht notwendig sind. Damit ist der wichtigste Vorteil der Lokalen-Maßstab-Parameter Methode klar demonstriert worden.

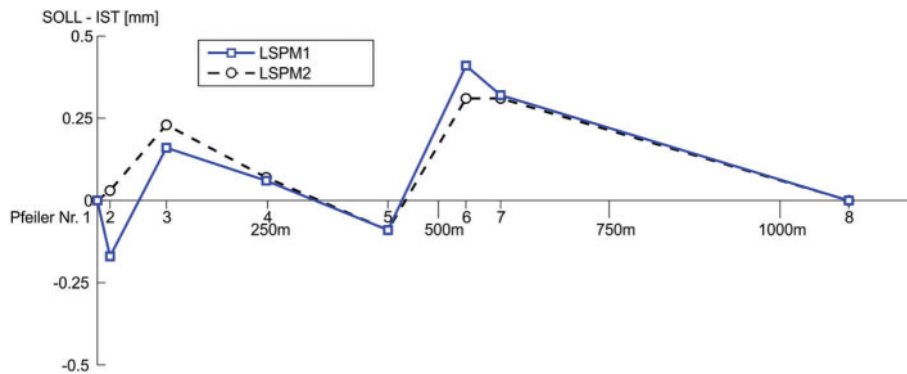


Abb. 2 | Resultate der LSPM1- und LSPM2-Schätzungen. Aufgetragen sind die Abweichungen von den Sollstrecken der Kalibrierbasis.

VERDANKUNG

Wir danken Prof. Dr.-Ing. Otto Heunecke und Dr.-Ing. Ingo Neumann für die kräftige Unterstützung der Feldarbeiten auf der Kalibrierbasis der Universität der Bundeswehr München. Auch wollen wir Dipl.-Ing. Alexander Kukuvec (IGMS) vielmals danken, der die Feldmessungen mit großem Einsatz ausgeführt hat. Prof. Dr. Hans Heister sind wir dankbar für die Durchsicht des Manuskriptes und seine wertvollen Anregungen.

LITERATUR

Brunner, F. K.; Rüeger, J. M. (1992): Theory of the Local Scale Parameter Method for EDM. In: Bulletin Geodesique, 66(1992), 355-364.

Heister, H. (2012): Die neue Kalibrierbasis der UniBw München. In: allgemeine vermessungs-nachrichten (avn) 119(2012), 336-343.

Heunecke, O. (2012): Auswertung des Ringversuchs auf der neuen Kalibrierbasis der UniBw München zur Bestimmung der Sollstrecken. In: allgemeine vermessungs-nachrichten (avn) 119(2012), 380-385.

Paterson, R. C. (1973): The Use of Ratios of Measured Lengths in the Adjustment of Survey Networks. Unpublished Master Thesis, University of New South Wales, School of Surveying (1973).

Robertson, D. K. (1971): The Measurements of Small Movements in Large Structures. In: Survey Review 20(1971), 74-84.

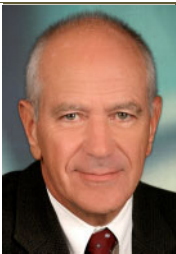
Rüeger, J. M. (1996): Electronic Distance Measurement – An Introduction. 4th Ed., Springer, 276 p.

White, L. A. (1973): Least Squares Model for Differential Scale Factor Adjustment. In: Survey Review 22(1973), 115-124.

em. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.
Fritz K. Brunner

INSTITUT FÜR INGENIEURGEODÄSIE UND MESSSYSTEME
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

Steyrergasse 30 | A-8010 Graz
fritz.brunner@tugraz.at



Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.
Werner Lienhart

INSTITUT FÜR INGENIEURGEODÄSIE UND MESSSYSTEME
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

Steyrergasse 30 | A-8010 Graz
werner.lienhart@tugraz.at



Manuskript eingereicht: 13.04.2012 | Im Peer-Review-Verfahren begutachtet