

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 115 (2017)

Heft: 3

Artikel: Kinematische Leistungsfähigkeit der MultiStation Leica MS60

Autor: Stempfhuber, Werner / Sukale, Jens

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-685925>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Kinematische Leistungsfähigkeit der MultiStation Leica MS60

Die geodätische Messtechnik beinhaltet seit vielen Jahren kinematische Messverfahren zur genauen Trajektorienbestimmung in 3D. Für hochgenaue Anwendungen kommt in der Regel ein zielverfolgender Tachymeter zum Einsatz. Eine kinematische Gerätekalibrierung ist für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit und einer fehlerfreien Verwendung unumgänglich. Die neue Leica-Instrumentengeneration zeigt u.a. durch die Verwendung der ATRplus-Generation und der angepassten EDM-Sensorik eine wesentliche Verbesserung in der Bestimmung von kinematischen 3D-Positionen in Echtzeit.

La technique de mensuration géodésique consiste depuis nombre d'années en de procédés de mesures cinématiques permettant des déterminations précises de trajectoires en 3D. Pour des applications de haute précision on emploie en général un tachymètre à poursuite de cible. Un calibrage cinématique d'appareil est indispensable pour l'évaluation de la faculté de performance et de l'utilisation sans erreur. La nouvelle génération d'instruments Leica permet entre autres par l'utilisation de la génération ATRplus et des capteurs EDM adaptés une amélioration notable pour la détermination de positions cinématiques 3D en temps réel.

Da molti anni la tecnica di misura geodetica tiene in considerazione i processi cinematici per la determinazione precisa della traiettoria 3D. Di norma, per le applicazioni ad alta precisione si ricorre a un tacheometro di localizzazione. La calibrazione cinematica degli apparecchi è imprescindibile per la valutazione delle prestazioni e per un uso corretto. La nuova generazione di strumenti Leica presenta, tra l'altro attraverso l'utilizzo della generazione ATRplus e di sensori EDM adattati, un miglioramento fondamentale nella determinazione in tempo reale delle posizioni cinematiche 3D.

W. Stempfhuber, J. Sukale

1. Kinematische Messtechnik

Kinematische Messverfahren zur Bestimmung der 3D-Positionen in Echtzeit definieren sich durch die Anforderung der Praxisanwendung. RTKGNSS-Beobachtungen decken den grössten Anwendungsbereich ab. In der Baumaschinensteuerung (Strassenbau, Tunnelbau, Gleisbau und Anwendungen bei Flughäfen) sind Anforderungen im Bereich weniger Millimeter erforderlich. Somit sind diese geforderten Parameter der geodätischen Messtechnik nahezu mit statischen Ge-

naigkeitsanforderungen gleichzusetzen. Techniken wie die Mehrfachmessung in zwei Lagen, die exakte Ausrichtung der hochgenauen Prismen, die genaue Meteorologiebestimmung und Korrektur entlang des Messstrahls und die Anwendung der Ausgleichsrechnung bei überbestimmten Netzen können bei kinematischen Messverfahren nicht oder nur teilweise angewendet werden. Diese in der klassischen Ingenieur-anwendung übliche Vorgehensweise muss durch eine Optimierung bzw. durch eine geeignete Kalibrierung der kinematischen Parameter realisiert werden. Zusätzlich kommen Schwierigkeiten in der Zielverfolgung und in der Bereitstellung der Echtzeitpositionen ohne Zeitverzögerungen hinzu.

Seit über 25 Jahren sind zielverfolgende Tachymeter erhältlich und seit fast 20 Jahren werden sie für die Steuerung von Baumaschinen eingesetzt (Stempfhuber, 2008). Mittlerweile bietet jeder Hersteller ein aus der klassischen Vermessung abgeleitetes System an (z. B. Leica Geosystems iCON, Topcon Robotic Station oder Trimble SPS). Absolute Beschreibungen zur kinematischen Positionsgenauigkeit und -ausgabe der Echtzeitposition werden in den Gerätespezifikationen in der Regel nicht angegeben. Aus diesem Grund sollte immer eine kinematische Systemkalibrierung mit zusätzlichen Angaben zu den einzelnen Systemkomponenten erfolgen.

Die Leica Geosystems AG bietet unterschiedliche Gerätegenerationen an. Dabei wurden u. a. die ATR- und EDM-Subsysteme stetig optimiert. Mit den aktuellen Instrumentenserien Leica Viva (TS16) und Leica Nova (TS60/MS60) im High-End Bereich beinhalten die Geräte eine optimierte Technologie für die kinematische Messtechnik (Leica ATRplus White Paper, 2015). Auch in diesem Bericht werden, wie in vielen anderen Publikationen, Referenzbewegungen für die Bewertung der kinematischen Leistungsfähigkeit ausgewertet. Im Rahmen verschiedener Forschungs- und Abschlussarbeiten wurde dies zunächst bei den Leicageräten MS60 (ATRplus) und TS30 (ATR) angewendet. Die kinematischen Messungen wurden mit GeoCOM-Befehlen ausgeführt und aufgezeichnet. Dabei könnten mit optimierten Einstellungen die jeweiligen Messfrequenzen von etwa 12 Hz (TS30) und etwa 19 Hz (MS60) erreicht werden. Neben den systematischen Positionsfehlern aus einer unzureichenden Synchronisation der Winkel- und Streckenmessungen ist weiterhin ein Fehler aus der EDM-Kalibrierung beim TS30 ersichtlich. Diese fehlerhaften Streckenmessungen verursachen grobe Positionsfehler. Sie sind bei allen Gerätegenerationen dieser Bauart mit der Softwareversion Herbst 2015 enthalten und resultieren aus der EDM-Kalibrierung (Dauer etwa 600 ms). Diese beiden Effekte konnten in den neuen ATRplus- und EDM-Generationen

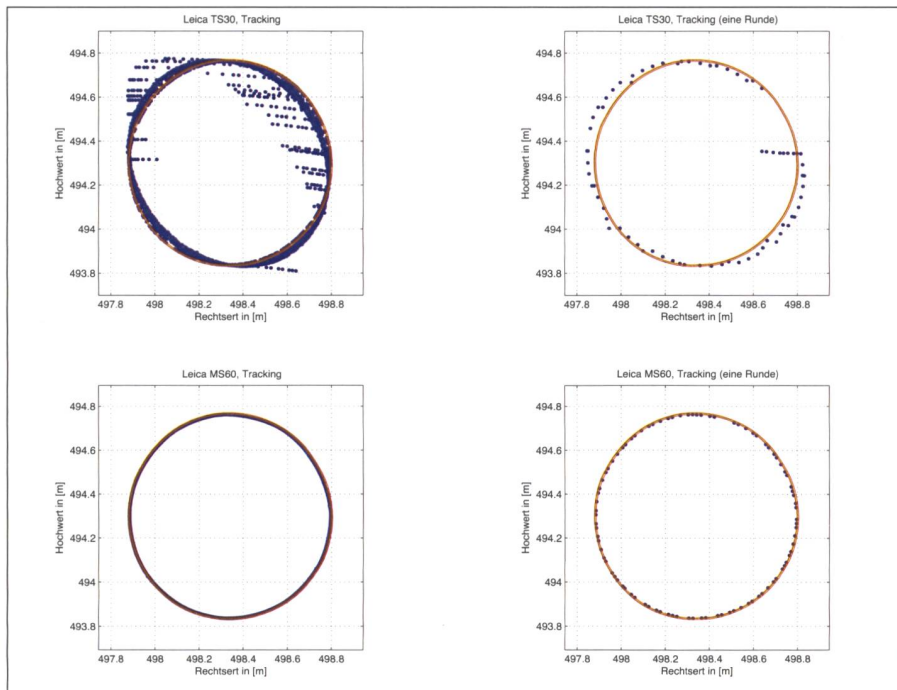


Abb. 1: Gegenüberstellung von Lagemessungen an einem horizontalen Referenzkreis (Prismengeschwindigkeit etwa 0,5 m/s).

eliminiert werden. Hierfür ist die Synchronisation der Winkel- und Streckenmessung nahezu fehlerfrei und die EDM-Kalibrierung wurde durch die Verwendung einer angepassten Technologie mit zwei Messkanälen eliminiert. Somit stellt nach den ersten Untersuchungen die neue Gerätegeneration eine hervorragende Leistungsfähigkeit für kinematische 3D-Beobachtungen in Echtzeit dar. Die Auswirkung und Grösse dieses Fehlers hängt aber immer von der Entfernung, der Ausrichtung der Bewegung zum Tachymeter und der Prismengeschwindigkeit ab (Stempfhuber, 2004).

2. Anwendungen kinematischer Positionsbestimmung mit zielverfolgenden Tachymetern

Grundsätzlich ist der kommerzielle Anwendungsbereich ausschliesslich auf die einzelnen Bereiche der Baumaschinensteuerung und auf den Einsatzbereich des Gleissmesswagens begrenzt. Alle weiteren Anwendungen können als Spezialanwendungen betrachtet werden. In der Bauma-

schienensteuerung werden die aufwendigen Anwendungen der Positionsbestimmung mit zielverfolgenden Tachymetern auf die Fine-Grading-Arbeiten, Fräsen und Fertigersteuerung beschränkt. In der Praxis werden häufig Mischverfahren eingesetzt. So werden u.a. bei der Planierung mit Motorgradern oder Raupen oftmals nur die letzten Schichten mit der Steuerung von zielverfolgenden Tachymetern realisiert. Die anderen Arbeiten (oftmals 80–90% des Gesamtaufwandes) werden mit RTKGNSS-Verfahren durchgeführt. Eine allgemeine Einteilung wurde u.a. in (Stempfhuber, 2008) publiziert. Klassische Anwendungsbereiche der Baumaschinensteuerung mit zielverfolgenden Tachymetern sind Arbeiten mit hohen

Genauigkeitsanforderungen vor allem in der Höhenkomponente. Dies sind z.B. kleine, mittlere und grosse Gleitschalungsfertiger, Asphaltfertiger, Gleisbaumaschinen und Asphaltfräsen. Bei Anwendungen von Fräsen ist die praktische Realisierung mit zielverfolgenden Tachymetern schwierig. Die erforderlichen Reichweiten sind auf Autobahnbaustellen schwer umzusetzen. Bei Walzenanwendungen kann die Oberflächengenauigkeit exakt dokumentiert werden. Die Firma Leica setzt hierfür die Gerätegeneration auf der Plattform der TPS1200er und TS15er-Serie ein. Das Gesamtsystem inkl. GNSS-Empfänger, Bedienpanels sowie eigener onBoard-Software, der Office-Software für die Planung und Kommunikation sowie Maschinensteuerungsrechner wird mit dem Überbegriff *iCON* bezeichnet. Eine spezielle Untersuchung der *iCON*-Tachymeter wurde nicht durchgeführt.

3. Einflussgrössen bei der kinematischen Positionsbestimmung

Zunächst sollte bei einer kinematischen Kalibrierung immer darauf geachtet werden, dass eine aktuelle Geräteprüfung durchgeführt wurde. Die ATR-Kalibrierung muss mit einer mittleren Entfernung der Anwendung umgesetzt werden. Einen weiteren Einflussparameter bei kinematischen Anwendungen stellt die Verwendung bzw. die Ausrichtung des Reflektors dar. Alle Leica-Anwendungen verwenden klassische Rund- bzw. Rundumprismen. Untersuchungen mit drei verschiedenen Typen haben im Rahmen

Abweichung zum Zielstrahl	GPR121 (Rundprisma)	GRZ4 (360°-Prisma)	GRZ122 (360°-Prisma)
Quer	±2,5 mm (max. 45°-Verdrehung)	±1,5 mm	±0,7 mm
Längs	±0,3 mm	±0,8 mm	±0,9 mm
Höhe	±0,1 mm	±2,8 mm	±0,2 mm

Tab. 1: Bestimmung der Prismengenauigkeit von 1σ bei kinematischen Anwendungen (Sukale, 2015).

der Abschlussarbeit folgende Genauigkeiten ergeben.

Idealerweise sollte ein Prismenkörper immer ideal entsprechend dem Zielstrahl ausgerichtet werden. Dies kann für die Versuchsaufbauten mit einem Schrittmotor und einem Arduino-Microcontroller realisiert werden (z. B. Keller et. al., 2015).

Definition der kinematischen Einflussgrößen

Zunächst müssen für die Anwendung entsprechende Einflussgrößen bestimmt werden. Diese wirken sich für die verschiedenen Einsatzgebiete unterschiedlich aus. Bei Anforderungen unterhalb des cm-Genauigkeitsbereichs müssen die angewendeten Messsysteme entsprechend optimiert werden.

Kinematische Messfrequenz

Je nach Verwendung der Schnittstelle Tachymeter zu PC (RS232, USB, BT oder WLAN), der kinematischen Messeinstellung (Verwendung des Kompensators, Aktivierung von Korrekturen, GeoCOM oder onBoard-Messprogramm und EDM-Trackingmodus) und der Reichweite liefert der MS60 etwa 17–20Hz. Dies stellt im Vergleich zu den älteren Geräteserien eine deutliche Verbesserung dar. Anders als bei GNSS sind die Abstände der Positionen nicht äquidistant. Zu einer gemessenen kinematischen Streckenmessung wird in der Regel die entsprechende Winkelmessung aus den ATR-Messungen interpoliert.

Synchronisation der Subsysteme

Für eine kinematische Bestimmung ohne systematischen Fehleranteil ist eine Synchronisation der Winkel- und Streckenmessung der wesentliche Fehlereinfluss. Dies gilt vor allem bei Beobachtungen von schnellbewegten Zielen (Kirschner, 2008). Durch eine geeignete Kalibrierungsanordnung kann dieser Synchronisationsfehler bestimmt und anschliessend auch korrigiert werden (Stempfhuber, 2004). Ein solches Kalibrierungskonzept wurde in der Arbeit (Sukale, 2015) für die beiden Geräte TS30 und MS60 angewendet. Diese Gegenüberstellung zeigt die Realisierung

des Synchronisationsfehlers bei Leica MS60 gegenüber der älteren Gerätegeneration (TS30):

Aus dieser Anordnung lässt sich die Zeitdifferenz $\Delta t_{D,R}$ zwischen Strecken- und Winkelmessung errechnen (Stempfhuber, 2004). Anschliessend kann mit den beiden Formeln

$$RW_{korr} = RW_i + v_i \cdot \Delta t_{D,R} \cdot \left(\cos \alpha_{D,R} - \frac{1}{2} \frac{v_i \cdot \Delta t_{D,R}}{s_i} \cdot \sin^2 \alpha_{D,R} \cdot \sin \zeta_{D,R} \cdot \cos t_{R,D} \right)$$

$$HW_{korr} = HW_i + v_i \cdot \Delta t_{D,R} \cdot \left(\cos \alpha_{D,R} - \frac{1}{2} \frac{v_i \cdot \Delta t_{D,R}}{s_i} \cdot \sin^2 \alpha_{D,R} \cdot \sin \zeta_{D,R} \cdot \sin t_{R,D} \right)$$

der Einfluss eliminiert werden ($\alpha_{D,R}$ = Zwischenwinkel Zielstrahl-Bewegungsrichtung, v = mittlere Bewegungsgeschwindigkeit, t und ζ = Richtungs- bzw.

Zenitwinkel). Für die Korrektur der Höhenkomponente muss die Referenzbewegung in vertikaler Richtung erfolgen. Neben bestimmten systematischen Fehlern (z. B. auch die fehlerhaften EDM-Strecken bei TS30, vgl. Abb. 1) müssen Fehlmessungen detektiert und gefiltert werden. Bei Leica TS30 sind immer wieder

Ausreisser in den 3D-Positionen zu sehen. Beim Leica MS60 konnte dieser Effekt nicht festgestellt werden.

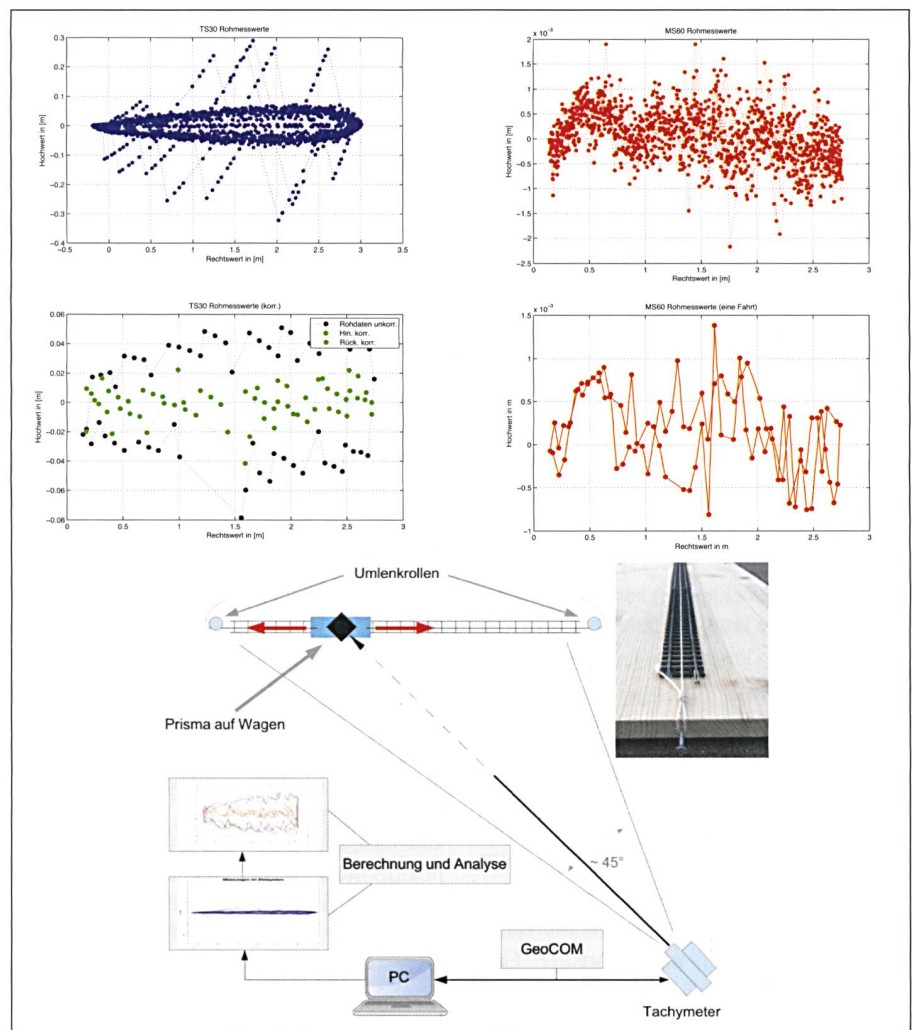


Abb. 2: Messungen an einer Referenzbahn unter einem Winkel von etwa 45° zwischen Bewegungsrichtung des Prismas und dem horizontalen Zielstrahl (Sukale, 2015) (unterschiedliche Skalierung der Ordinate).

Totzeit

Die optimierte Echtzeitsteuerung von Maschinen erfordert eine Minimierung der Totzeit, d.h. der Zeitabschnitt zwischen der Positionsbestimmung aus den Rohmessungen und der Bereitstellung der Positionsinformation nach der Berechnung und Korrektur an der Schnittstelle muss entsprechend der Bewegungsgeschwindigkeit innerhalb der Vorgaben liegen. Die Ermittlung dieser Grösse ist relativ aufwendig und wird im nachfolgenden Abschnitt dargestellt.

4. Kinematische Kalibrierungsanlage (Modellaufbau)

Als Basis einer kinematischen Kalibrierungsanlage wurde ein 3D-Bewegungssimulator mit einer Führungsgenauigkeit von 2mm realisiert. Allgemeine Tests der Performance können mit kleinen Modellen durchgeführt werden (u.a. Mindstorms NXT Modell und Ardurino Robot). Zur Festlegung der Zeitreferenz wurde auf ein Arduino-Shield ein uBlox NEO 6M integriert und das PPS-Signal als absolute Zeitreferenz ausgelesen. Zusätzlich wurden zwei Lichtschranken für die Bestimmung der Totzeit mit dem Arduino-Microcontroller verwendet. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Modellaufbau an der Beuth Hochschule für Technik Berlin.

5. Fazit

Im Rahmen der langjährigen Untersuchungen zu diesem Themenbereich konnte die neue Leica-Instrumentengeneration ohne erkennbare systematische Fehler und mit geringen Totzeiten verifiziert werden. Das Gerät besitzt neben den kinematischen Eigenschaften zahlreiche Zusatzfunktionen. In einer nächsten Stufe soll ein Leica TS16 mit der identischen ATRplus-Technologie kalibriert werden. Der Versuchsaufbau ist lediglich ein erster Ansatz. Eine entsprechende Räumlichkeit mit grösseren Dimensionen und auch Höhenänderungen wäre wünschenswert. Die technischen Voraussetzungen hierfür wurden an der Beuth Hochschule geschaffen. Ein

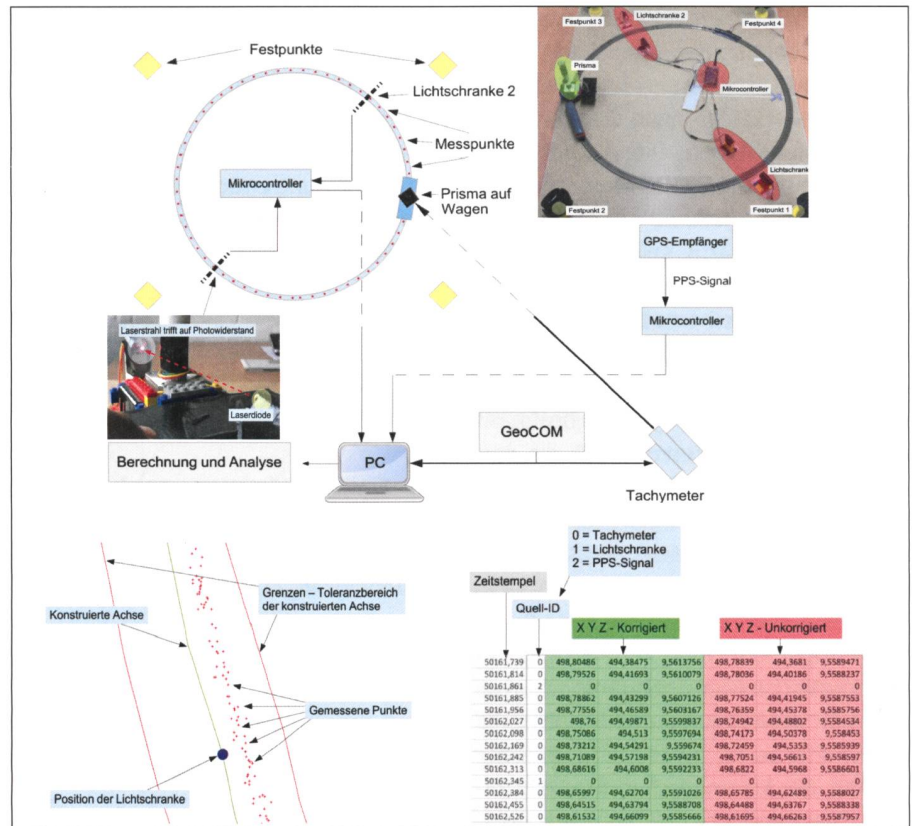


Abb. 3: Modell der Kalibrierungsanlage (Sukale, 2015).

wesentlicher Teil ist die zentrale Steuerung durch den Microcontroller Arduino UNO.

Literatur:

Grimm, D., Kleemaier, G., Zogg, H.: Leica White Paper ATRplus http://www.leica-geosystems.de/downloads123/zz/tps/nova_ms60/white-tech-paper/ATRplus%20White%20Paper_en.pdf, 2015.

Sukale, J.: Genaue Trajektorienbestimmung mit der Totalstation Leica TS30 (ATR) bzw. MS60 (ATRplus), unveröffentlichte Masterarbeit 2015, Beuth Hochschule für Technik Berlin.

Kleemaier, G., Maar, H., Zogg, H.: Enhanced automation performance of Total Stations for kinematic applications using the ATRplus technology, MCG 2016 – 5th International Conference on Machine Control & Guidance, Vichy, France.

Stempfhuber, W.: Ein integritätswahrendes Messsystem für kinematische Anwendungen, Deutsche Geodätische Kommission, Vol. C, No. 576, München, 2004.

Stempfhuber, W., Ingensand, H.: Baumaschinenführung und -steuerung – Von der stati-

schen zur kinematischen Absteckung, ZfV, pp. 36-44, 2008.

Keller, F., Kagerah, S., Sternberg, H.: Automatisierung eines Low-Cost-360° Reflektors für die genaue Positionierung einer 3D-Trajektorie, AVN-Ausgabe 8-9/2015, Wichmann Verlag im VDE Verlag GmbH, Offenbach, 2015.

Kirschner, H., Stempfhuber, W.: The Kinematic Potential of Modern Tracking Total Stations - A State of the Art Report on the Leica TPS1200+, In: Stempfhuber, W and Ingensand, H. [Eds.], MCG-Proceedings, pp. 51-60., 2008.

Prof. Dr.-Ing. Werner Stempfhuber
Fachgebiet – Praktische Geodäsie
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Strasse 10
DE-13353 Berlin
<http://prof.beuth-hochschule.de/stempfhuber/>

M. Sc. Jens Sukale
Leica Geosystems AG
Heinrich-Wild-Strasse
CH-9435 Heerbrugg