



Kombinierte Vermessung mit Tachymeter und RTK

Integrated surveying with total stations and RTK

Ekkehart Grillmayer, Garsten und Franz Blauensteiner, Wien

Kurzfassung

Die gemeinsame Nutzung von Tachymetern und RTK Systemen hat sich in den letzten Jahren in der vermessungstechnischen Praxis weitgehend durchgesetzt. Die unmittelbare Kombination beider Messmittel im Feld wird von vielen Anwendern jedoch noch wenig genutzt. Dabei hat gerade diese Methode entscheidende Vorteile, die wir in dieser Arbeit aufzeigen wollen. Einführend wird der Ablauf einer unmittelbar kombinierten Vermessung erläutert und die Unterschiede zwischen den beiden Messmitteln, sowie der Umgang der Gerätesoftware damit, dargelegt. Mit besonderem Augenmerk auf die Überführung zwischen zwei unterschiedlichen Koordinatenräumen in Österreich (ETRS und MGI – System der österreichischen Landesvermessung) wird die Berechnung einer freien Stationierung anhand eines Beispiels besprochen.

Schlüsselwörter: Hybride Messverfahren, kombinierte Vermessung, freie Stationierung, RTK Systeme, Tachymeter, Transformation

Abstract

The joint use of total stations and RTK systems has become widely accepted in surveying practice in recent years. However, many users still do not create the benefit of the direct combination of both measurement systems, although this hybrid and integrated surveying technique in particular has decisive advantages that we want to emphasize in this paper. At first, the procedure of a hybrid and integrated surveying is explained and the differences between the two measurement systems, as well as the handling of the common device software, are presented. Moreover, the computation of a free station setup is discussed on the basis of an example, paying special attention to the transformation process between the two different coordinate spaces in Austria.

Keywords: hybrid surveying technique, integrated surveying, free station setup, RTK systems, total stations, transformation

1. Motivation

Mit Einführung vereinheitlichter Bedienplattformen für die Sensortypen Tachymeter und RTK GNSS wurde deren durchgängig kombinierter Einsatz schon während des Außendienstes möglich. Bis dahin konnten Daten aus beiden Sensorwelten nur im Nachhinein in der Auswertesoftware im Büro zusammengeführt werden. Das zentrale Element des Plattformkonzepts war zu Beginn eine Datenbankstruktur, in welcher die Sensordaten gemeinsam gehalten und als ein Datensatz von Gerät zu Gerät weitergegeben wurden. In weiterer Folge wurde die Anwendungssoftware, mit welcher die unterschiedlichen Sensortypen gesteuert werden, vereinheitlicht. Die Nutzung von Feldrechnern (heute ist eher der Anglizismus „Controller“ gebräuchlich) führte schließlich zur vollständigen Fusion der beiden Sensorwelten, sodass heute sehr einfach während der Messung zwischen beiden Sensortypen gewechselt werden kann. Diese Funktionalität ermöglicht Veränderungen in den Arbeitsabläufen, die zur

Effizienzsteigerung genutzt werden können und zusätzlich den Vorteil bieten, dass Aufnahmen und Absteckungen bereits während der Arbeit im Feld weitgehend kontrolliert und physisch unabhängig vom Festpunktfeld erfolgen können.

Ein Nebeneffekt ist, dass alle bestimmten Koordinaten (auch die mit dem Tachymeter gemessenen Detailpunkte) unmittelbar aus Messungen im Referenzrahmen ETRF abgeleitet werden. Der Übergang z.B. zu Gauß-Krüger-Koordinaten (GK) erfolgt nur mittelbar durch eine Transformation. Damit ist festzuhalten, dass das Ergebnis der Messungen im ersten Moment frei von Zwängen des inhomogenen amtlichen Festpunktfelds vorliegt.

Unter dem in der österr. Vermessungsverordnung 2016 §1(12) als zulässiges Messverfahren angeführten „hybriden Anschluss“ ist diese Methode der direkten Kombination der beiden Sensortypen zu verstehen. Somit erlangt die Methode auch für Arbeiten im Kataster zunehmend an Bedeutung (siehe [1]).

2. Ablauf einer kombinierten Vermessung – Voraussetzungen

Wie oben erwähnt unterstützen moderne Vermessungssysteme bereits den kombinierten Einsatz von Tachymetrie und RTK GNSS für die gleichzeitige Anwendung im Feld. Dies bedeutet nicht nur, dass bei der Aufnahme unmittelbar für jeden Detailpunkt das Messmittel gewechselt werden kann, sondern vor allem auch, dass die Stationierung des Tachymeters unmittelbar mit Hilfe eben gemessener RTK Punkte erfolgen kann. Dies ist allerdings nur möglich, wenn es sich bei dem eingesetzten Vermessungssystem um eine Robotik-Totalstation handelt und das auf dem Lotstab montierte Prisma so ausgeführt ist, dass ein RTK Empfänger zentrisch darüber angebracht werden kann. Die Anwendungssoftware muss zudem die Möglichkeit bieten, den Höhenoffset von Tachymeter-Prisma und RTK Empfänger zu berücksichtigen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf solche Vermessungssysteme. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass viele der darauffolgenden theoretischen Überlegungen auch für den sequentiellen Einsatz von RTK GNSS und Tachymetrie gelten.

Die einfachste Stationierungsmöglichkeit ist die freie Stationierung. Dem Gerät wird lediglich ein Punktname für den Standpunkt und ggf. die Instrumentenhöhe (falls das Gerät dennoch über einer Punktkennzeichnung aufgestellt wurde, deren Höhe für weitere Arbeiten relevant ist) vorgegeben. Der Anwender begibt sich zu einem, sowohl für den RTK Empfang als auch für die Punktverteilung der freien Stationierung günstigen Standort. Um die Messung zu diesem Anschlusspunkt, der im Projekt noch nicht bekannt ist, auszuführen, muss er vorab eine neue Punktnummer für diesen Punkt vergeben. Nun wechselt der Anwender zum Messmittel RTK (je nach System erfolgt dies passiv durch Aufforderung oder aktiv durch Wahl des Messensors) und bestimmt die Koordinaten des Anschlusspunkts. Unmittelbar anschließend misst der Tachymeter auf das Prisma. Der Vorgang wird wiederholt; ab dem zweiten Anschlusspunkt ist die Berechnung der Stationskoordinaten und der Restklaffungen in den Anschlusspunkten möglich.

3. Was passiert dabei im Hintergrund?

Die auf Anwenderseite möglicherweise bestehende Unsicherheit bzw. Skepsis beim kombinierten Einsatz beider Messmittel erscheint verständlich und bei näherer Betrachtung auch angemessen. Die am Markt verfügbaren Systeme lösen die

Aufgabe, die beiden unterschiedlichen Koordinatenräume ineinander überzuführen recht unkompliziert und ohne großes Zutun des Anwenders, jedoch liegt auch hier die Tücke im Detail, dem wir uns in den nächsten Abschnitten zuwenden wollen.

3.1 Tachymetrie

Mit dem Tachymeter werden Richtungen und Strecken in einem Horizontsystem gemessen. Da es sich hierbei eigentlich bereits um zwei unterschiedliche Messmittel handelt, die einen Punkt relativ zum Gerätestandort festlegen, kann der Tachymeter als hybrides Messsystem bezeichnet werden (siehe dazu Definition nach [2]).

Die Koordinatenrechnung ist, abgesehen von etwaigen meteorologischen Reduktionen, bekannt und nahezu trivial, man erhält aber lediglich lokale Koordinaten am Standort. Die eigentliche Schwierigkeit liegt somit darin, den Anschluss an bestehende Planwerke herzustellen. Da diese Planwerke in den meisten Fällen im österr. Landeskoordinatensystem MGI abgefasst sind, ist der heute gebräuchliche Ablauf die nach Lage und Höhe getrennte Berechnung. Wegen der Konformität der Abbildung muss lediglich die Strecke entsprechend den bekannten Formeln reduziert werden. Für das Beispiel einer freien Stationierung, dem wir uns hier hauptsächlich widmen, gibt es im Wesentlichen zwei Möglichkeiten der Standpunkts- und Orientierungsberechnung unter Einbeziehung von Punkten mit bereits bekannten Koordinaten: eine vermittelnde Ausgleichung der Beobachtungen oder eine Helmert-Transformation (weitere Methoden siehe [3]). In beiden Fällen wird sich das Ergebnis in Abhängigkeit der angenommenen Genauigkeiten (Gewichtsansätze) und der Verteilung der Anschlusspunkte (Geometrie) unterscheiden. Oftmals wird leider auch übersehen, dass die Gewichtsansätze sowohl in der Auswertesoftware im Büro als auch in der Gerätesoftware unterschiedlich konfiguriert sein können und dass bei mangelnder Überbestimmung die Ergebnisse variieren, wodurch die tatsächlichen Genauigkeitsverhältnisse nicht korrekt abgeleitet werden (weitere Ausführungen dazu ebenfalls in [3]).

Der Einfachheit halber wurde hier immer eine Helmert-Transformation verwendet.

3.2 RTK GNSS

Bei RTK GNSS Messungen entstehen bereits im Rahmen des Messprozesses, der eigentlich auch die Auswertung der Messdaten beinhaltet,

Koordinaten in einem bekannten Koordinatenrahmen, nämlich jenem, in dem die Koordinaten der Referenzstation(en) angegeben werden. Bei der Benutzung von beispielsweise APOS – Austrian Positioning Service erhält man somit unmittelbar Koordinaten in ETRS 89/ Realisierung ETRF2000 zur Epoche 2002.56.

Da die meisten Planwerke in der Regel nur zweidimensionale Koordinaten enthalten, ist in jedem Fall eine Verebnung notwendig, in den meisten Fällen aber auch eine Transformation um auch hier in denselben Koordinatenrahmen der vorangegangenen Planwerke zu gelangen. Es ist heute üblich, diese Transformation (zumindest zum Teil) vor der Verebnung durchzuführen. Wie in [4] dargelegt, erfolgt die Überführung der mittels RTK GNSS bestimmten Koordinaten üblicherweise in zwei Schritten. Zuerst erfolgt mittels einer 7-Parameter-Transformation der Übergang zwischen den beiden Koordinatenrahmen (bei APOS ETRS zu MGI). Anwender, welche andere österreichische Korrekturdatendienste (z.B. EPO-SA, NetFocus, etc.) nutzen, müssen für den dort ggf. von ETRS89 abweichenden verwendeten Referenzrahmen (z.B. ITRF20xy) passende Parameter benutzen. Anschließend erfolgt die Abbildung der räumlichen Koordinaten mit den bekannten Formeln nach Gauß-Krüger in das Meridianstreifensystem der österreichischen Landesvermes-

sung. Die nun noch verbliebenen Restklaffungen (als Folge der Netzinhomogenität) werden durch Anfelderung (ebene Helmert-Transformation ohne oder mit Maßstab) minimiert. Eine detaillierte Diskussion in Bezug auf das amtliche Festpunktfeld in Österreich findet sich ebenfalls in [4].

4. Berechnungsmöglichkeiten

Wie oben ausgeführt, ist neben der Berechnung einer freien Stationierung auch der Übergang vom Koordinatenrahmen der RTK Messungen in das Plankoordinatensystem zu lösen. Grundsätzlich wird dafür das in Kapitel 3.2 beschriebene zweistufige Verfahren mit einer Rahmentransformation und einer Anfelderung auf örtlich bekannte Punkte empfohlen.

Im Folgenden wird anhand eines konkreten Beispiels untersucht, unter welchen Voraussetzungen die verschiedenen Möglichkeiten, die Stationskoordinaten zu berechnen, zum gleichen Ergebnis führen. Der Beispieldatensatz wurde in Westösterreich in einer Höhe von ca. 870 m über Adria gemessen. Es wurden im Wechsel 10 Anschlusspunkte jeweils erst mittels RTK GNSS bestimmt und unmittelbar darauf die Richtungs- und Streckenmessung ausgeführt. Abbildung 1 zeigt die Konfiguration.



Abb. 1: Messanordnung freie Stationierung

Berechnungsart	RW [m]	HW [m]	ΔRW^1 [mm]	ΔHW^1 [mm]	σ_L [mm]
2+1D GK	100817.037	240839.444			5.9
2+1D UTM	100817.037	240839.444	0.0	0.0	5.9
3D ETRS89	100817.036	240839.446	0.9	-2.4	5.0

RW ... Rechtswert HW ... Hochwert

Tab. 1: Unterschiede in den Ergebnissen der freien Stationierung in Abhängigkeit vom Koordinatenrahmen

4.1 2+1D in GK nach Transformation und Abbildung der Anschlusspunkte

Diese mit Sicherheit gebräuchlichste Methode ist auch jene, welche für die praktische Anwendung die meiste Relevanz haben wird. Nach Abschluss der Stationierung im Feld können unmittelbar Punkte im Landeskoordinatensystem abgesteckt werden und es können auch unmittelbar Maße zwischen neu eingemessenen Punkten angegeben werden, die mit den später im Büro berechneten Werten übereinstimmen.

Als Vorbereitung ist es erforderlich eine Anfelderung an jene Festpunkte zu berechnen, die dem ursprünglichen Plan zu Grunde liegen respektive jener, die für eine spätere Ausfertigung genutzt werden sollen. Diese Anfelderung muss vorab auf den Feldrechner aufgespielt werden und es empfiehlt sich auch für alle Punkte, die für die Anfelderung benutzt wurden, die für die Landeskoordinaten zu übertragen.

In unserem Beispiel wurde eine Anfelderung auf die 7 nächstgelegenen amtlichen Festpunkte berechnet, wobei der Maßstab festgehalten wurde.

Auch bei der Berechnung der Stationskoordinaten wird der Maßstab festgehalten. Das Ergebnis findet sich in Tabelle 1 in Zeile 1.

Die Restklaffungen in den Anschlusspunkten betragen:

PunktNr	ΔRW [cm]	ΔHW [cm]	ΔPL [cm]
1	-2.3	-1.6	2.8
2	0.7	1.2	1.4
3	-0.3	2.2	2.2
4	0.1	-0.8	0.8
5	-0.6	-0.6	0.9
6	-0.6	-0.1	0.6
7	-0.8	-1.3	1.5
8	0.8	1.9	2.1
9	1.2	-0.6	1.4
10	1.2	-0.8	1.4

Tab. 2: Restklaffungen in den Anschlusspunkten

Wird bei der Berechnung der freien Stationierung ein Maßstab mitberechnet, fallen die Restklaffungen in diesem Beispiel minimal kleiner aus. Da im realen Anwendungsfall jedoch deutlich weniger Anschlusspunkte zum Einsatz kommen werden, sollte eine Entscheidung für eine Berechnung mit oder ohne Maßstab bewusst und unter Bedachtnahme auf den konkreten Anwendungsfall getroffen werden.

Eine Reduktion auf die vermeintlich vier besten RTK Punkte 5, 7, 8 und 10 (also jene, von denen auf Grund ihrer Situierung angenommen werden kann, dass sie weitgehend unbeeinträchtigt von Abschattungen und Mehrwegeeffekten sind) hätte zu einer Änderung der Koordinaten der freien Stationierung um 1.1 cm geführt (siehe dazu [3]).

4.2 2+1D in UTM und Transformation des Ergebnisses

Diese Form der Berechnung kann zum Beispiel genutzt werden, um die ETRS Koordinaten eines nicht RTK tauglichen Festpunkts zu bestimmen. Der Vorteil liegt darin, dass die mittels RTK bestimmten Anschlusspunkte nicht vorab mit einer berechneten Anfelderung in das Landeskoordinatensystem übertragen werden müssen, sondern lediglich eine rein formale und umkehrbare Vergebung erfolgt. Deren Umkehrung liefert wiederum die ETRS Koordinaten der neu eingemessenen Punkte.

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, ist das Ergebnis unabhängig von der Wahl des Abbildungssystems. Die Genauigkeiten sind ebenfalls gleich.

4.3 3D direkt im geozentrischen Koordinatensystem

Diese Methode wird hier nur der Vollständigkeit halber angeführt. Sie hat eher keine bis geringe praktische Relevanz und kommt hauptsächlich im Zusammenhang mit Ausgleichsaufgaben, in denen Ergebnisse aus GNSS Beobachtungen mit

1) Berechnungsart: 2+1D GK im System der Landesvermessung dient als Referenzlösung

tachymetrischen Messdaten zu verknüpfen sind (vergleiche dazu [5]), zum Einsatz.

Da die Transformation nicht nur in der Lage, sondern im dreidimensionalen Raum berechnet wird, nehmen die Höhen auf das Ergebnis Einfluss. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, wird ein minimal anderes Ergebnis erzielt, die Genauigkeit der Punktlage ist jedoch vergleichbar.

Es muss auch noch darauf hingewiesen werden, dass auf Grund der Vernachlässigung der Refraktion bei der Berechnung der lokalen Koordinaten im Horizontsystem des Tachymeters die Höhenunterschiede nicht korrekt ermittelt werden. Auch darin zeigt sich, dass diese Methode für einfache praktische Anwendungen eher ungeeignet sein wird.

5. Anmerkungen zur Höhenableitung

Für die Höhenableitung wird nur die erste Berechnungsmethode praktisch relevante Ergebnisse liefern. In den meisten Fällen werden Gebrauchshöhen gefragt sein und diese liegen nur im System der Landesvermessung vor.

Durch die Möglichkeit, die Anzahl der Anschlusspunkte einer freien Stationierung mehr oder weniger beliebig zu erhöhen und als Kriterium dafür die festgestellten Restklaffungen zu benutzen, kann die bekannte Unsicherheit in der Höhenbestimmung mit RTK GNSS reduziert werden. Der Anwender erkennt unmittelbar während der Anschlussmessung, welche Punkte in der Höhe von anderen abweichen und daher auszuschließen sind. Er kann somit die erzielte Genauigkeit weitgehend selbst steuern. Es gilt jedoch auch hierbei einige Rahmenbedingungen zu beachten: So sollte (a) während der Anschlussmessung mehrfach eine Neuinitialisierung des RTK Empfängers vorgenommen werden, (b) bekannt ungünstige Messumgebungen vermieden werden und (c) sind bekannte (auch saisonale) Effekte aus den Referenzdaten bzw. Unterschiede in den benutzten Diensten zu berücksichtigen (vergleiche dazu [6]) und durch geeignete Messanordnung zu eliminieren.

Unter Einbeziehung einer geeigneten Höhenanfelderung sind so Höhengenaugigkeiten von 1 cm relativ zu den Festpunkten (welche in der Anfelderung zur Verwendung gelangen) realisierbar. Als technisch sinnvolle Methoden zur Anfelderung in der Höhe (mit der angeführten Genauigkeit) können derzeit ein konstanter Offset oder eine geneigte Korrektorebene, welche

als Tangentialebene an den lokalen Ausschnitt des Geoids interpretiert werden kann, angeführt werden. Beide Methoden sind als kleinräumige Lösungen zur Höhenübertragung zu betrachten. Für großräumige Höhenübertragungen wären ein feingliedriges Geoid (je nach Genauigkeitsanforderung) und das vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen – BEV publizierte Höhen-Korrektur-Grid (siehe [7]) notwendig.

6. Vorteile der kombinierten Vermessungen

Durch den kombinierten Einsatz der Sensortypen Tachymeter und RTK GNSS während der Messung im Feld, ist die Aufnahme unmittelbar kontrolliert und es wird möglich, Absteckarbeiten während oder im Zuge der Aufnahme mit auszuführen. Lässt man zusätzlich während des gesamten Messeinsatzes (also auch während der eigentlichen Aufnahme- und Absteckarbeiten mit dem Tachymeter) das RTK System weiter mitlaufen, kann flexibel zwischen beiden Sensoren gewechselt werden. Dies eröffnet zusätzliche Kontrollmöglichkeiten und ermöglicht die Einbindung zusätzlicher Anschluss- oder Polygonpunkte.

Alle Ergebnisse sind auf eine einheitliche Koordinatenbasis bezogen und in sich, im Rahmen der Messgenauigkeit, homogen. Der Anwender erhält nicht nur ein Ergebnis im Landeskoordinatensystem in Bezug auf das Festpunktfeld, welches er in seiner Anfelderung benutzt hat, sondern er erhält auch unmittelbar für alle mittels Tachymeter eingemessenen Punkte ETRS89 Koordinaten. Gleichfalls wäre eine Absteckung von Punkten, deren Koordinaten im ETRS89 vorliegen mit dem Tachymeter möglich.

Die weitgehende Unabhängigkeit von physischen Festpunkten kann als Vorteil gesehen werden. Es sei jedoch hier noch explizit darauf hingewiesen, dass diese Unabhängigkeit in bestimmten Anwendungen zu Problemen führen kann und daher nicht immer sinnvoll ist. So wird das Verfahren für Absteckungen mit hoher Relativgenauigkeit (z.B. auf Baustellen) nicht sinnvoll einsetzbar sein, wohl aber für die Schaffung eines ersten Polygonpunktnetzes. Die limitierte Genauigkeit der RTK Messung, die in den meisten Fällen bei 2 cm in der Lage liegen wird, darf nicht außer Acht gelassen werden.

Referenzen

- [1] Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft über Vermessungen und Pläne (Vermessungsverordnung 2016 – VermV 2016), StF: BGBl. II Nr. 307/2016, einzelne Änderungen mit BGBl. II Nr. 235/2018
- [2] Harald Schlemmer [1998], Hybride Vermessungssysteme – Ein Überblick. In: Hybride Vermessungssysteme – Grundlagen und Anwendungen. Schriftenreihe des DVW, Heft 29, Seite 13 – 28
- [3] Ekkehart Grillmayer und Philipp Zebedin, Die freie Stationierung in Geräte- und Bürosoftware, Berechnungsarten und ihre Konfiguration. Paper in Vorbereitung
- [4] Ekkehart Grillmayer und Franz Blauensteiner [2017], GNSS Messungen im Kataster, vgi 3/2017, S 167 - 173
- [5] Johannes Otepka und Georg Regensburger [2002], Hybride 3D Ausgleichung von GPS-, Tachymeter-, und Nivellementbeobachtungen, vgi 2/2002, S 46 - 52
- [6] Helmut Titz und Martin Freitag [2019], Improving GNSS Realtime Height Measurements in Mountain Areas – Activities of the D-A-CH Group in the Alpine Region, vgi 2/2019, S 109 - 114
- [7] Andreas Hellerschmied [2020], Höhenreferenzsysteme, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilung Grundlagen, Wien, S 31 ff

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Dr. Ekkehart Grillmayer, Ingenieurkonsulent, geoAT. OG, Lektor an der Universität für Bodenkultur und der FH Oberösterreich, Reithofferstraße 63, A-4451 Garsten. E-Mail: grillmayer@zivilgeometer.at

Dipl.-Ing. Franz Blauensteiner, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Leiter der Abteilung Grundlagen, Schiffamtsgasse 1-3, 1020 Wien. E-Mail: franz.blauensteiner@bev.gv.at

vgi

25 JAHRE

SURVEYORS - EXPRESS™ GmbH
 WWW.VERMESSEN.DE WWW.GPSGEO.COM
 Lupinenweg 10B | 61119 Bad Vilbel
 Vermessungsinstrumente | Land-Surveying-Instruments



TOTAL STATIONS - THEODOLITE - LASERDISTANCEMETER - CONSTRUCTION-LASERS - LEVELS - SURVEYING EQUIPMENTS

...new and secondhand Total Stations on stock.



- when it has to be right **Leica**
Geosystems

Brandmarks: Sprinter™ - Baumeister™ - Swiss-Style-Level™ - Swiss-Style-Theo™

Wir kaufen Ihre Altinstrumente (ab BJ. 2000). Verbessern Sie damit deutlich Ihre Einkaufsposition gegenüber Ihrem Werksvertreter. Keine Rückgabe = mehr Rabatt. (Leider keine Jap. Instrumente)