Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 91 (1993)

Heft: 7

Artikel: Zur Kalibrierung von GPS-Antennen

Autor: Ryf, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-234974

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

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

Zur Kalibrierung von GPS-Antennen

A. Ryf

Das Satellitenmesssystem GPS ist mittlerweile in der Schweiz stark verbreitet und einige Vermessungsbüros haben praktische Messerfahrungen gemacht. Am Beispiel von Versuchsmessungen wird eine einfache Methode für die Kalibrierung von GPS-Antennen dargestellt.

Le système GPS de positionnement par satellites est pour l'instant largement répandu en Suisse et quelques bureaux de mensuration ont acquis une expérience pratique dans ce type de mesures. Sur la base de mesures-tests, on va présenter une méthode simple de calibrage des antennes GPS.

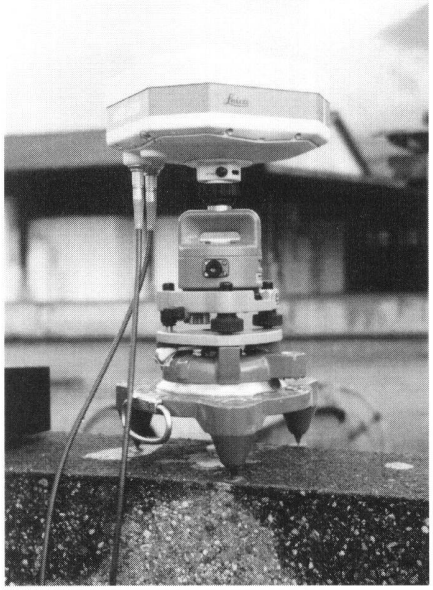

Abb. 2: Aufstellung der Antennen.

1. Einleitung

Es gehört zu den wichtigsten Regeln der geodätischen Messkunst, sich vor einem Feldeinsatz zu vergewissern, dass das Messinstrumentarium, das man zu verwenden plant, einwandfrei funktioniert, dass alle möglichen Fehlerquellen bekannt sind und diese wenn immer möglich durch geeignete Messmethoden ausgeschaltet oder zumindest in Grenzen gehalten werden. Von den konventionellen Messungen her kennt man beispielsweise die Nivellierprobe, die Bestimmung der Additionskonstante des Distanzmessgerätes oder die Richtungsmessung in zwei Lagen, um Zielachsen- und Kippachsenfehler zu eliminieren.

Bei Messungen mit dem Global Positioning System GPS stellt die Antenne eine der möglichen Ursachen systematischer Fehler dar. Das elektronische Phasenzentrum einer GPS-Antenne liegt in der Regel nicht genau in der Achse des Zentriersystems der Antenne. Für hochpräzise GPS-Messungen ist die Kenntnis dieses Fehlereinflusses unabdingbar. Der folgende Text beschreibt eine einfache Methode, die Grössenordnung dieser Antennenfehler für sogenannte Micro-Strip-Antennen zu bestimmen. Bei den Versuchsmessungen, die dem Text zu Grunde gelegt sind, wurden vier mit Micro-Strip-Antennen ausgerüstete Sensoren des Typs Wild GPS-System-200 der Firma Leica geprüft.

2. Der Antennenoffset

Mit dem Begriff Antennenoffset wird die Abweichung des Phasenzentrums einer GPS-Antenne von der Zentrierachse des Antennenträgers bezeichnet. Diese Abweichung ist einerseits mechanisch, andererseits elektronisch bedingt. Bei den meisten Antennentypen liegt das elektronische Phasenzentrum je nach der Richtung, aus der die Satellitensignale auf die Antenne auftreffen, an einer anderen Stelle. Es ändert sich also mit der sich verändernden Konstellation der Satelliten. Die Micro-Strip-Antenne bildet dabei eine Ausnahme. Sie hat den grossen Vorteil, dass der Antennenoffset konstellationsunabhängig ist [1].

Es sei hier kurz erwähnt, dass die Phasenzentren der beiden unterschiedlichen Frequenzen L1 und L2 von GPS nicht identisch sind, dass aber im Folgenden immer von einem virtuellen Antennenoffset gesprochen wird, der sich aus den zwei verschiedenen Offsets der beiden Frequenzen zusammensetzt.

Verschiedene Antennentypen haben unterschiedliche Antennenoffsets. Dies führt zu der Forderung, bei präzisen Messungen, wenn immer möglich, nur Antennen des gleichen Typs zu verwenden. Werden alle Antennen bei den Messungen jeweils gleich ausgerichtet, meistens anhand einer Markierung an der Antenne mit Hilfe einer Bussole nach Norden, so wird bei der differentiellen Auswertung ein grosser Anteil der Antennenoffsets eliminiert.

Der Restanteil der Antennenoffsets lässt sich nur mit sorgfältigen Messungen und einer entsprechend gewählten Messanordnung bestimmen. Für die im Folgenden beschriebenen Messungen wurde eigens eine Antennenprüfstrecke eingerichtet.

Abb. 1: Antennenprüfstrecke Tenero.

3. Die Antennenprüfstrecke Tenero

Die Antennenprüfstrecke Tenero (siehe Abbildung 1) liegt auf einer etwa zwei Meter hohen, stabilen Betonmauer. Im Ab-

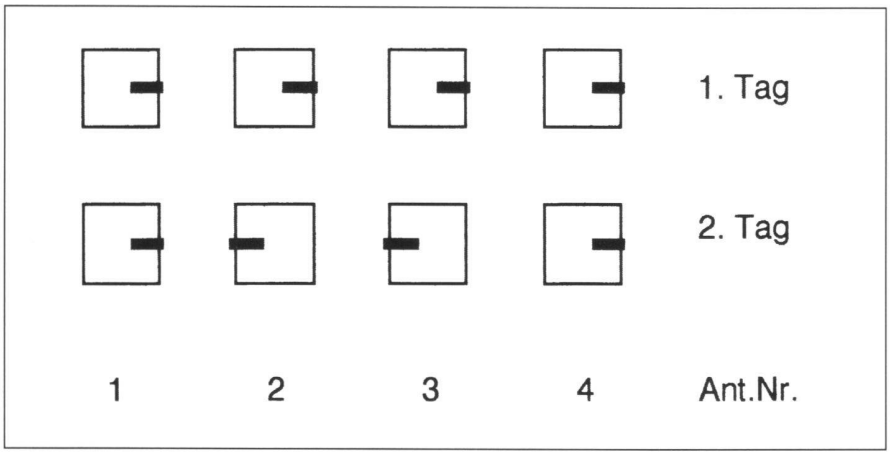

Abb. 3: Prinzip der Antennenanordnung.

stand von jeweils einem Meter sind in die Mauer vier Bolzen eingelassen, auf die Kern-Pfeilergrundplatten aufgesetzt werden, die sich mit einer Genauigkeit im Bereich von einem Zehntelmillimeter aufstellen lassen.
Zu Vergleichszwecken wurden die vier Punkte untereinander von einem fünften Punkt in etwa 15 m Entfernung mit dem Mekometer ME 5000 und einem Präzisionstheodoliten Wild T3000 bestimmt. Die Genauigkeit dieser Bestimmung liegt bei einem Zehntelmillimeter. Bei der zweiten Messung, vier Monate nach der Erstbestimmung, betrugen die Koordinatendifferenzen zur ersten Messung alle weniger als 0.2 mm.
Für die Aufstellung der Antennen werden Wild-Dreifüsse des Typs GDF21K verwendet; das K steht dabei für die Adaption auf Kern-Zentrierungen. Das Horizontiersystem besteht aus nur zwei Fussschrauben, die Höhe bleibt dadurch praktisch konstant. In diese Füsse werden Träger des Typs Wild GZR 1 eingesetzt. Deren Röhrenlibelle erlaubt eine präzise Horizontierung. Der Zapfen dieser Träger wurde so modifiziert, dass die GPS-Antenne diekt darauf aufgesetzt werden kann. Eine Kontrolle dieses Zentriersystemes ergab maximale Fehler von 1 bis 2 Zehntelmillimeter. Für die Antennentestmessungen besteht somit die Gewährleistung einer präzisen und stabilen Zentrierung (siehe Abbildung 2).

4. Die Prüfmethode

Das Prinzip der Prüfmethode besteht darin, dass an zwei verschiedenen Tagen mit der genau gleichen Satellitenkonstellation während einer gewissen Zeit gemessen wird, wobei zwei Antennen an beiden Tagen gleich ausgerichtet sind, währenddem die zwei anderen, zu prüfenden Antennen an den zwei Tagen in zwei verschiedenen Lagen (um 200 gon verdreht) aufgestellt werden. Die Abbildung 3 zeigt die beiden Anordnungen. Der kleine schwarze Balken stellt dabei die Markierung auf der Antenne dar, die zur Ausrichtung im Feld (normalerweise nach Norden) verwendet wird. Bei der dargestellten Anordnung werden die Exzentrizitäten der Antennen 2 und 3 bestimmt, die Antennen 1 und 4 geben dazu eine feste Basis.

Zur Bestimmung der Offsets der Antennen 1 und 4 wird der Messvorgang wiederholt, wobei dann die Antennen 2 und 3 die äusseren Plätze belegen und die beiden inneren Antennen 1 und 4 bei der zweiten Session um 200 gon gedreht werden.

Für die beiden mittleren Antennen erhält man an den zwei verschiedenen Tagen zwei unterschiedliche Lösungen, die beiden äusseren Antennen ergeben bis auf die Messgenauigkeit das Gleiche. Letztere war so gut, dass die Distanz zwischen Punkt 1 und 4 von einem Tag zum andern im gleichen Fenster nie um mehr als 0.3 mm änderte!
Bei den Versuchen wurde jeweils an zwei verschiedenen Tagen zur gleichen Zeit gemessen, um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen. Da der Antennenoffset aber bei diesen Antennen konstellationsunabhängig ist, sollte man ähnliche Resultate auch erhalten können, wenn die Messungen am gleichen Tag nacheinander ausgeführt werden.

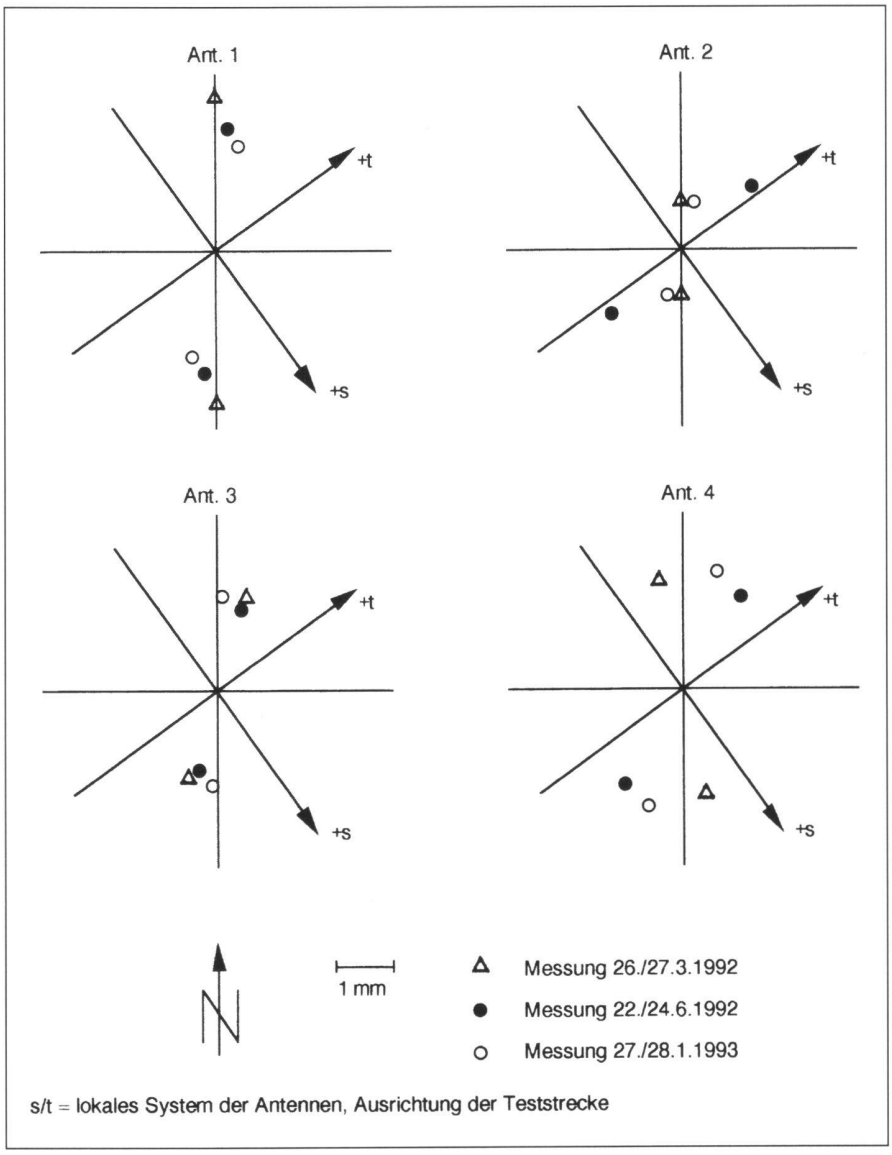

Abb. 4: Antennenoffsets der vier getesteten GPS-Antennen.

5. Resultate

Bei den mittleren Antennen stellt die Differenz (Horizontaldistanz) zwischen den GPS-Lösungen der zwei Tage die doppelte Antennenexzentrizität dar. Trägt man die beiden Antennenlagen gegenüber ihrem Mittel auf, so erhält man das in Abbildung 4 dargestellte Bild. Eingetragen sind dabei Messungen aus drei verschiedenen Versuchen: März 1992, Juni 1992 und Januar 1993.

Die Abbildung 4 lässt die folgenden Schlüsse zu:

- Die Punkte liegen bei allen drei Versuchen im gleichen Bereich. Die in [1] gemachte Aussage über die Konstanz der Antennenoffsets bei Micro-Strip-Antennen wird voll bestätigt.
- Der Betrag der Antennenoffsets ist äusserst klein. Für den Anwender, der eine Genauigkeit von 5 bis 10 mm anstrebt, sind sie vernachlässigbar, ja die gleiche Ausrichtung der Antennen erübrigt sich in diesem Genauigkeitsbereich.

Die Antennenoffsets sind im Landesnetz gerechnet und dargestellt. Da die Antennen bei der Versuchsmessung nicht nach Norden, sondern nach der Mauer ausgerichtet sind, müssen die Werte zur Weiterverwendung ins Antennensystem umgerechnet werden, da ja bei Feldmessungen die Antennen normalerweise nach Norden ausgerichtet werden. Die Umrechnung erfolgt mit dem aus der GPS-Lösung gerechneten Azimut der Prüfstrecke (60.57 gon).

Zur Überprüfung der Plausibilität der Resultate wurden bei allen Versuchen die folgenden Kontrollrechnungen durchgeführt:

A Helmerttransformation der GPS-Lösung vom ersten Tag (alle Antennen gleich ausgerichtet) auf die terrestrische Lösung.

B Helmerttransformation der GPS-Lösung vom zweiten Tag (die mittleren zwei der vier Antennen um 200 gon gedreht) auf die terrestrische Lösung.

C Helmerttransformation der GPS-Lösung vom ersten Tag, um die errechneten Antennenoffsets korrigiert, auf die terrestrische Lösung.

Die beste Übereinstimmung mit den terrestrischen Koordinaten hatten bei allen Versuchen die Koordinaten der Variante C, bei denen die Antennenoffsets vorgängig korrigiert worden waren. Die Restklaffungen lagen praktisch durchwegs unter 0.5 mm. Als leicht schlechter erwies sich die Variante A mit Restklaffungen von bis zu maximal 1 mm. Die gleiche Ausrichtung aller Antennen erlaubt also schon grösstenteils die Elimination der Antennenoffsets. Oder anders ausgedrückt: die getesteten Antennen sind mechanisch und elektronisch sehr präzis, die Antennenoffsets sind bei allen Antennen praktisch gleich gross.

Antenne 1	in Y:	-0.5 mm	in X:	+0.2 mm
Antenne 2		+0.6 mm		-0.3 mm
Antenne 3		+0.1 mm		-0.1 mm
Antenne 4		-0.1 mm		+0.1 mm

Tab. 1: Reduzierte Antennenoffsets der getesteten Antennen.

Staumauer Cavagnoli Restklaffungen in mm

	Y	X	H
Pf. 16	+0.9	-0.5	+0.6
Pf. 17	+0.6	+0.6	+4.6
Pf. 18	-0.7	-0.3	+3.4
Pf. 19	+0.5	-0.7	-3.4
Pf. 20	-0.2	+1.0	-1.5
Pf. 21	+0.8	-0.2	-3.6
Pf. 22	-0.5	+0.9	-2.3
Pf. 23	-1.4	-0.8	+2.2

Tab. 2: Restklaffungen der 3D-Transformation GPS-terrestrisch.

Am schlechtesten stimmte eindeutig die Variante B, bei der die Restklaffungen bis zu 2 mm betrugen. Bei ungleicher Ausrichtung der Antennen sind die Koordinaten also eindeutig mit Fehlereinflüssen der Antennenoffsets belastet.

Nur am Rande sei hier noch eine Bemerkung zu den Höhen angeführt: Die Höhengenauigkeit bei den Testmessungen betrug ±1 mm. Systematische Höhenoffsets konnten keine festgestellt werden.

6. Die Einführung der Antennenoffsets bei praktischen Messungen

Mittelt man die Ergebnisse der Antennoffsets aus den drei in Abbildung 3 dargestellten Versuchen und reduziert dann die Werte der vier Antennen, so dass deren Mittel Null beträgt, erhält man die in Tabelle 1 dargestellten, verschwindend kleinen Werte.

Diese Werte sind so klein und ausserdem noch mit gewissen Unsicherheiten behaftet, dass sich ein Anbringen bei der Auswertung von praktischen Messungen kaum lohnt. Dass diese Werte aber mit grosser Wahrscheinlichkeit reelle Unterschiede der Antennenoffsets darstellen, zeigt der folgende Versuch einer Berücksichtigung in einem Staumauernetz mit 8 Pfeilern, das in vier einstündigen Sessionen mit den vier getesteten Geräten gemessen wurde:

Vergleicht man die Resultate der GPS-Messungen (Antennenoffsets berücksichtigt) mit den im selben Netz mit terrestrischen Methoden (Mekometer ME 5000 und Wild T3000) bestimmten Koordinaten mittels einer dreidimensionalen Helmerttransformation, so erhält man die in Tabelle 2 dargestellten Restklaffungen. Errechnet man Durchschnittswerte der Restklaffungen in allen drei Richtungen und vergleicht diese mit den Restklaffungen der analogen Transformation ohne Berücksichtigung der Antennenoffsets, so zeigt sich, dass die Werte in X und H praktisch gleich bleiben, währenddem sie in Y, wo die grössten Unterschiede der Antennenoffsets auftreten, eindeutig um ca. 15% kleiner sind.

Da sich dieser Vergleich im Bereich von äusserst kleinen Werten abspielt, ist seine Aussage natürlich nicht unbedingt signifikant, es müssten sicher noch weitere Versuche zur Erhärtung der Aussage durchgeführt werden.

Die Berücksichtigung der Antennenoffsets bei der Auswertung von GPS-Messungen mit dem Wild-System-200 ist übrigens äusserst einfach. Man gibt die Werte in der Auswertesoftware an den eigentlich für exzentrische Messungen vorgesehenen Stellen ein.

7. Schlussfolgerungen für den praktischen Anwender von GPS

Beim Einsatz der im Versuch getesteten GPS-Empfänger, die mit guten Micro-Strip-Antennen ausgerüstet sind, kann in der Regel auf die Berücksichtigung der Antennenoffsets verzichtet werden. Bei Genauigkeitsanforderungen von 5–10 mm und mehr kann sogar auf eine Ausrichtung der Antenne nach Norden verzichtet werden. Bei präzisen Messungen (erforderliche Messdauer in kleinen Netzen ca. 1 Stunde) erreicht man bei gleicher Ausrichtung aller Antennen Genauigkeiten im Millimeter- oder sogar Submillimeterbereich. Eine Bestimmung der Antennenoffsets vor jeder Messkampagne erübrigt sich somit. Im Sinne einer Instrumentenprüfung, wie zum Beispiel der Bestimmung der Additionskonstante des Distanzmessers, ist aber sicher auch eine Bestimmung der Antennenoffsets von GPS-Empfängern sinnvoll.

Literatur:

[1] Geiger A. Dr. dipl. phys. ETHZ (1988): Einfluss und Bestimmung der Variabilität des Phasenzentrums von GPS-Antennen. IGP-ETHZ-Mitteilungen Nr. 43.

Adresse des Verfassers:
Adrian Ryf
Vermessungsbüro U. Meier
Via Vignascia 7
CH-6648 Minusio

HTL Brugg-Windisch (Ingenieurschule)

Nachdiplomstudium Raumplanung 1993/94

Praxisnahe Zusatzausbildung für Absolventen eines Grundstudiums (HTL ETH Uni usw.), die an Raum- und Umweltfragen interessiert sind: Arch., Ing., Geogr. u.a.m.

Themen Siedlung, Verkehr, Versorgung, Landschaft, Ökologie, Umwelt, Recht, Politik, Soziologie, Wirtschaft, Arbeitstechnik

Dauer Vollpensum 1 Jahr ab 8.11.1993 oder berufsbegleitendes Halbpensum 2 Jahre

Auskunft HTL, 5200 Brugg-Windisch, 056/41 63 63

Zu verkaufen:

Digitalisier-Planimeter X-Plan 360iR

neuwertig, inkl. Datenkabel für Externanschluss

Fr. 2900.–

A. Werner, Tel. G: 052/41 25 21, P: 052/31 14 86

C-PLAN Landinformationssystem

Anwendung Vermessung

Anwendung Leitungskataster
(Strom, Gas, Wasser, Kanalisation, Zivilschutz etc.)

Anwendung Digitales Geländemodell

Anwendung Strassenbau

auf MS-DOS und UNIX Ein- und Mehrplatzsystemen

C-Plan AG • Hübscherstrasse 3 • CH-3074 Muri/Bern
Telefon (031) 951 15 23 • Telefax (031) 951 15 73

C-PLAN
Software + Hardware für Vermessung + Straßenbau