

Vermessungsstativ – White Paper

Merkmale und Einflüsse



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

März 2010

Daniel Nindl, Mirko Wiebking
Heerbrugg, Schweiz

Vermessungsstative – Merkmale und Einflüsse

Daniel Nindl, Mirko Wiebking

Kurzfassung

Vermessungstechniker vergessen bei ihrer täglichen Arbeit oft, wie wichtig Vermessungszubehör für die Messgenauigkeit ist. Bei Präzisionsmessaufgaben und Messungen über längere Zeiträume wirkt sich das verwendete Zubehör in erheblichem Mass auf die Genauigkeit der Ergebnisse aus. Kenntnisse über den Einfluss des Messzubehörs auf die Messgenauigkeit sind daher unerlässlich.

Dieses Weissbuch beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Stativen auf die Genauigkeit des Vermessungsgeräts. Die Anforderungen an Stative hinsichtlich Höhenstabilität unter Last und Verdrehsteifigkeit sind in der ISO-Norm 12858-2 geregelt. Leica Geosystems berücksichtigt zusätzlich noch die horizontale Verschiebung. Für das vorliegende Weissbuch wurden diese drei Eigenschaften bei verschiedenen Stativen getestet. Anhand der Ergebnisse werden Empfehlungen zur Wahl des geeigneten Stativs je nach Vermessungsgerät und Anwendung ausgesprochen.

Alle Tests wurden unter konstanten Laborbedingungen durchgeführt, um eine optimale Vergleichbarkeit zu erzielen. Der Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurde nicht berücksichtigt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurden alle Stativklammern mit Hilfe eines Drehmomentschlüssels mit derselben Drehkraft angezogen.

Von jedem Stativtyp von Leica Geosystems wurden zwei Stück getestet. Um vergleichbare Ergebnisse für ein Fiberglasstativ zu ermitteln, wurden auch zwei Trimax Stative von Crane Enterprises in alle Tests einbezogen. Die Testresultate waren für Stativ A und Stativ B jedes Typs (Modells) praktisch identisch. Aus diesem Grund werden jeweils nur die Ergebnisse von Stativ A grafisch dargestellt.

Das vorliegende Dokument folgt der nachstehenden Struktur:

- Qualitätskriterien: Beschreibung der massgeblichen Testparameter
- Testergebnisse: Zusammenfassung und Beurteilung der Testergebnisse
- Empfehlungen für den Benutzer

Qualitätskriterien: Standardisierte Qualitätsmessungen gemäss ISO-Norm 12858-2

Laut ISO-Norm 12858-2 werden Stative in schwere und leichte Stative unterteilt. Ein schweres Stativ muss eine Masse von über 5.5 kg aufweisen. Dieser Stativtyp kann Vermessungsgeräte mit bis zu 15 kg aufnehmen. Leichte Stative sind nur für Geräte mit weniger als 5 kg geeignet. Bei den Geräten von Leica Geosystems sind das: Builder TPS, GPS-Antennen und Prismen.

Höhenstabilität

Laut ISO-Norm darf die Position des Stativkopfs vertikal nicht mehr als 0.05 mm abweichen, wenn das Stativ das doppelte maximale Gerätegewicht aufnehmen muss. Aus diesem Grund müssen die schweren Stative GST120-9, GST101 und Trimax mit 30 kg getestet werden. Die als leicht zu klassifizierenden Stative GST05, GST05L und GST103 wurden mit 10 kg getestet.



Abbildung 1 - Qualitätsmanagement-Schritte beim Dreifuss von Leica Geosystems

Die definierte vertikale Verformung von 0.05 mm ist so gering, dass sie für die TPS-Winkelgenauigkeit nicht signifikant ist. Bei Präzisionsnivelements sollte die Höhenstabilität des Stativs jedoch miteinbezogen werden.

Zur Messung der Verformungen wurde ein Leica DNA03 Digitalnivellier unter Berücksichtigung von Messgenauigkeit und Automatikfunktion verwendet. Die Messungen erfolgten auf einen an der Fixierschraube des Stativs montierten GWCL60 Invar-Massstab (vgl. Abbildung 1). Zuerst wurden 100 Messungen ohne Belastung des Stativs vorgenommen. Mit Hilfe einer Umlenkrolle wurde vorsichtig ein Ge-

wicht auf den Stativteller abgelassen. Nach weiteren 400 Messungen wurde das Gewicht wieder entfernt.

Verdrehsteifigkeit

Wenn sich ein Vermessungsgerät dreht, bewirken die Kräfte eine horizontale Rotation der Stativkopfplatte. Die Verdrehsteifigkeit ist die Fähigkeit des Stativs, diese horizontale Drehung zu absorbieren und in seine Ausgangsposition zurückzukehren, wenn das Vermessungsgerät ruht. Die Präzision, mit der die Orientierung des Stativs in die Ausgangsposition zurückkehrt, wird als Hysterese bezeichnet.

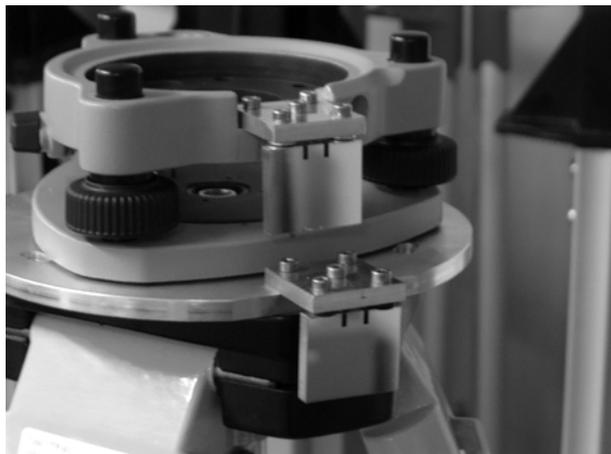


Abbildung 2 - Am Stativ und am Dreifuss angebrachte Autokollimationsspiegel erkennen Rotationsverformungen

Gemäss ISO-Norm beträgt die maximal zulässige Hysterese bei einer Drehung des Stativtellers um 200° (ca. 70")

bei schweren Stativen 10° (3") und bei leichten Stativen 30° (10"). Um praxisnahe Ergebnisse zu erzielen, wurde der Einfluss eines sich drehenden, motorisierten Vermessungsgeräts getestet. Verwendet wurde ein TPS1200, das beim Beschleunigen und Abbremsen ein horizontales Drehmoment von 56 Ncm ausübt.

Mit Hilfe der Anwendung "Satzmessung" wurde automatisch abwechselnd auf zwei Prismen gemessen. So wurde während des Beobachtungszeitraums eine kontinuierliche Drehung in beide Richtungen erzielt. Die Messungen wurden mindestens 200 Sekunden lang aufgezeichnet. Zur Messung der Verdrehsteifigkeit wurden die Verformungen mit einem elektronischen Kollimator anhand des Autokollimationsprinzips überwacht. Eine Ausgangsfrequenz von 16 Hz gewährleistete ein schnelles Tracking der Verformungen. Zwischen dem Stativkopf und dem Dreifuss wurde eine eigens angefertigte Platte angebracht. Die Messungen erfolgten auf einen an dieser Platte angebrachten Spiegel. In der Abbildung oben ist ein zweiter Spiegel sichtbar, der am Dreifuss montiert ist. So konnten zusätzliche Messungen vorgenommen werden, die Auskunft über den kombinierten Einfluss von Stativ und Dreifuss auf das Vermessungsgerät geben.

Horizontale Verschiebung

Bei der Messung der horizontalen Verschiebung eines Stativs wird ermittelt, wie sich die Orientierung des Stativs im Laufe der Zeit verändert. Die horizontale Verschiebung ist nicht in der ISO-Norm geregelt, wird jedoch von Leica Geosystems aus Gründen der Qualitätssicherung trotzdem geprüft.

Zur Ermittlung wurde eine ähnliche Messmethode wie für die Verdrehsteifigkeit gewählt; die Messdauer wurde jedoch auf mindestens drei Stunden erhöht. Zur Verringerung der Menge an Messdaten wurde die Kollimatorfrequenz auf 0.5 Hz reduziert.

Wieder wurde das TPS1200 auf dem Dreifuss angebracht. Das Gerät verharrte während der gesamten Messdauer jedoch in stationärer Position.

Modellbezeichnung	GST120-9	GST101	Trimax	GST05	GST05L	GST103
						
Material	Buchenholz	Kiefernholz	Fiberglas	Kiefernholz	Aluminium	Aluminium
Oberflächenbehandlung	Öl und Farbe	Farbe	Keine	PVC-Beschichtung	Keine	Keine
Fussverstellung	Schraube seitlich	Schraube seitlich	Schnellverschluss	Schraube mittig	Schraube mittig	Schraube seitlich
Hergestellt in	Ungarn	China	USA	Ungarn	Ungarn	China
Gewicht	6.4 kg	5.7 kg	7.4 kg	5.6 kg	4.6 kg	4.5 kg
Maximale Höhe	180 cm	166 cm	175 cm	176 cm	176 cm	167 cm
ISO-Klassifikation	Schwer	Schwer	Schwer	Leicht	Leicht	Leicht

Tabelle 1 - Geprüfte Stativmodelle

Das Vermessungsgerät übt also keine Drehkraft auf das Stativ aus. Die Bewegung des Stativs ist ausschliesslich auf die Last des Geräts zurückzuführen. Tabelle 1 enthält einen Überblick über die unterschiedlichen Eigenschaften der getesteten Stativmodelle.

Testergebnisse – Höhenstabilität

Mit einer Höhenstabilität von 0.02 mm erweist sich das GST120-9 als Testsieger.

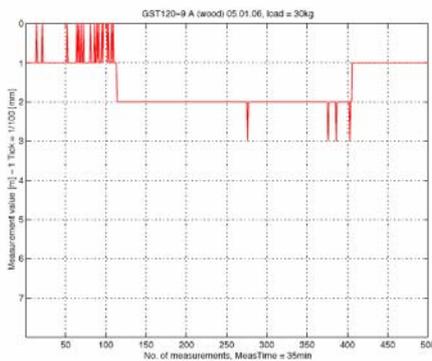


Abbildung 3a - Leica GST120-9 Stativ

Die Beine des GST101 sind 14 cm kürzer als jene des GST120-9, was für erhöhte Stabilität sorgt.

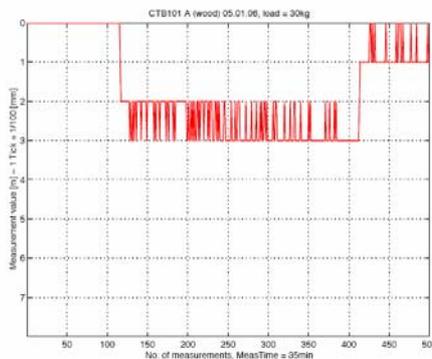


Abbildung 3b - Leica GST101 Stativ

Die Verformung des Trimax beträgt maximal 0.05 mm. Dieser Wert bewegt sich am Rand der ISO-Vorgaben. Im Gegensatz zu den bei allen Stativen von Leica Geosystems verwendeten Schraubklammern besitzt das getestete Stativ Schnellverschlüsse. Möglicherweise sind diese Schnellverschlüsse die Ursache für die mangelhafte Höhenstabilität.

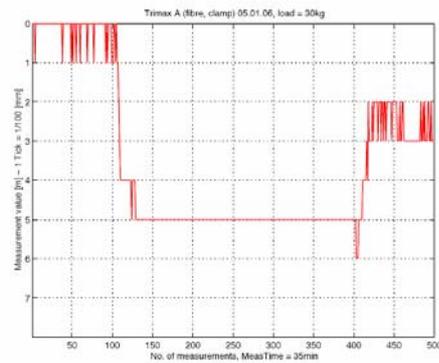


Abbildung 3c - Crain Trimax Fiberglasstativ

Leichte Stativ

Bei den leichten Stativen erzielte das GST05 das beste Ergebnis. Mit einer Last von 10 kg verformt sich das Stativ um maximal 0.02 mm.

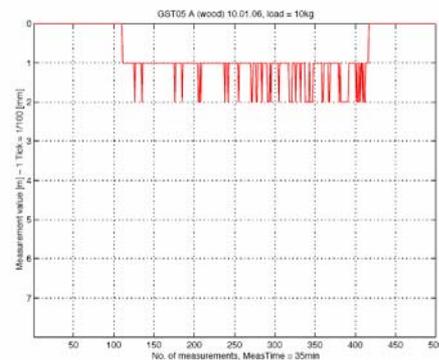


Abbildung 4a - Leica GST05 Stativ

Im Vergleich zum hölzernen GST05 weist das GST05L eine geringfügig höhere vertikale Verformung von 0.03 mm auf.

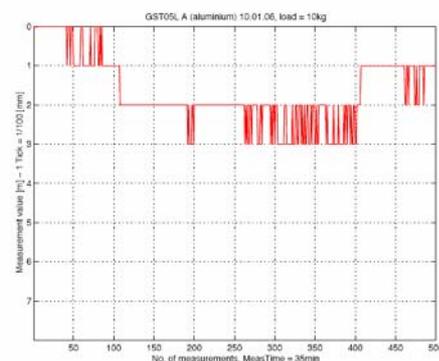


Abbildung 4b - Leica GST05L Stativ

Das GST103 verhält sich mit einer maximalen vertikalen Bewegung von 0.03 mm ähnlich wie das GST05L. Obwohl es sich dabei ebenfalls um ein für weniger genaue Vermessungsgeräte empfohlenes, kostengünstiges Produkt handelt, werden die ISO-Kriterien erfüllt.

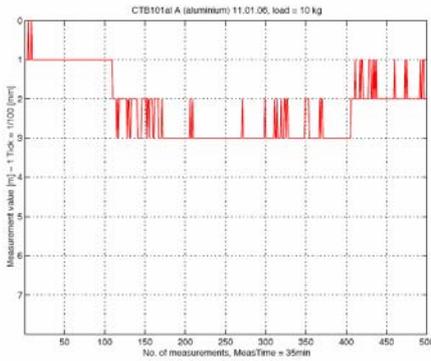


Abbildung 4c - Leica GST103 Alustativ

Testergebnisse – Verdrehsteifigkeit

Die grossen Spitzen treten beim Beschleunigen und Abbremsen des sich drehenden Vermessungsgeräts auf. Da währenddessen keine Winkelwerte mit dem Gerät erfasst werden können, sind diese Einflüsse vernachlässigbar. Der Hysteresewert wird durch die Analyse der maximalen Amplitude der Kurve ermittelt, wobei die Spitzen unberücksichtigt bleiben.

Die Ergebnisse zeigen deutliche Stabilitätsunterschiede zwischen schweren und leichten Stativen. Bei den leichten Stativen kann die Verformung ein Vielfaches der bei den schweren Stativen ermittelten Verformung betragen. Bei den Fiberglas- und Aluminiumstativen lässt sich darüber hinaus insgesamt eine lineare Tendenz beobachten, d.h. das Vermessungsgerät verliert im Laufe der Zeit konstant an Orientierung.

Schwere Stative

Von allen getesteten Stativen weist das GST120-9 mit 2^{cc} ($0.7''$) die geringste Hysterese auf. Die Stativkopfplatte bleibt während des gesamten Messvorgangs äusserst stabil.

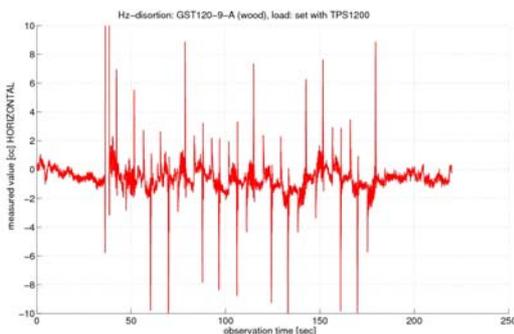


Abbildung 5a - Leica GST120-9 Stativ

Die Ergebnisse des GST101 weisen eine ähnlich niedrige Amplitude von 3^{cc} ($1''$) auf. Die für das Trimax ermittelte Amplitude liegt mit 6^{cc} ($2''$) doppelt so hoch wie die der anderen schweren Stativen. Die insgesamt zu verzeichnende lineare Tendenz weist darauf hin, dass die Hysterese während der Aufstelldauer konstant zunimmt.

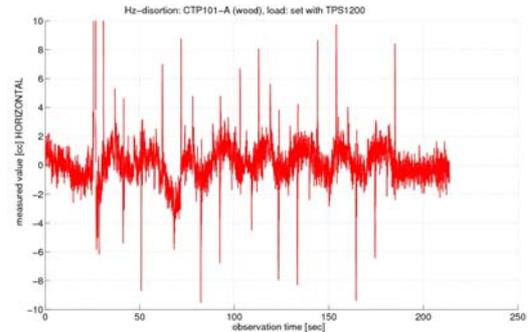


Abbildung 5b - Leica GST101 Holzstativ

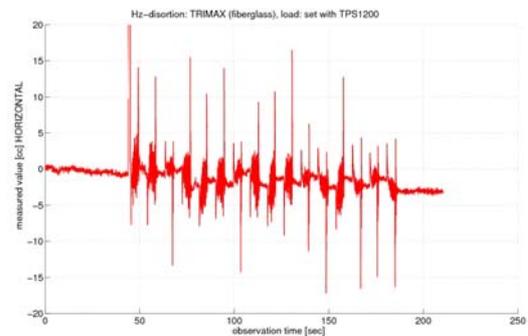


Abbildung 5c - Crain Trimax Fiberglasstativ

Leichte Stative

Bei den leichten Stativen ist das hölzerne GST05 mit einer Hysterese von 8^{cc} ($2.7''$) das stabilste. Beide Aluminiumstative weisen im Laufe der Zeit eine grosse Rotationsabweichung auf. Nach 200 Sekunden liegt das GST05L bei einer Hysterese von 11^{cc} ($3.7''$), das GST103 bei einer Hysterese von 30^{cc} ($10''$). Der Wert von 30^{cc} ($10''$) befindet sich an der Grenze der ISO-Vorgabe für ein leichtes Stativ.

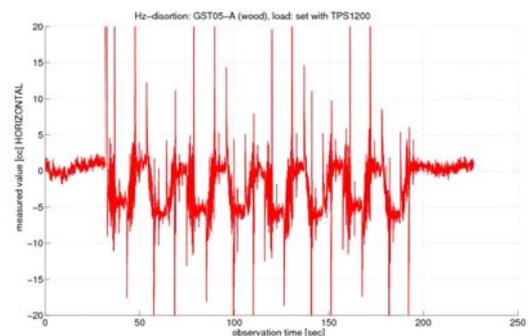


Abbildung 6a - Leica GST05 Stativ

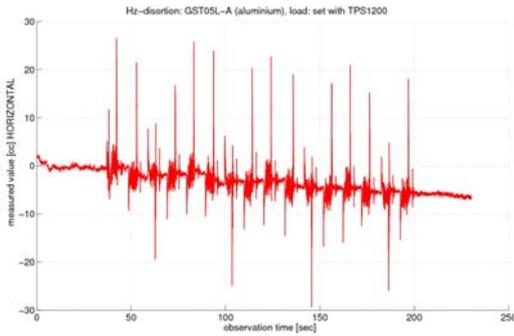


Abbildung 6b - Leica GST05L Stativ

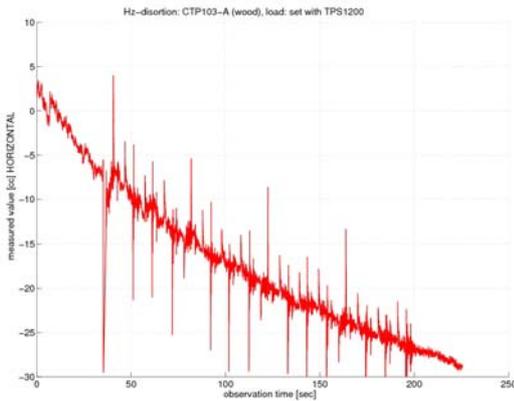


Abbildung 6c - Leica GST103 Stativ

Testergebnisse – Horizontale Verschiebung

Ähnlich wie bei der Prüfung der Verdrehsteifigkeit büssten die Fiberglas- und Aluminiumstative im Laufe der Zeit einiges an Orientierung ein. Orientierungsverluste treten vor allem in den ersten ca. 1200 Sekunden auf. Anschliessend gewinnt das aus Fiberglas hergestellte Trimax an Stabilität. Die Aluminiumstative drehen sich weiter, wenn auch mit einer geringeren Geschwindigkeit.

Schwere Stative

Beim GST120-9 ist während des gesamten Messzeitraums eine konstante, lineare Veränderung zu verzeichnen. Mit 7° (2.3") nach 3 Stunden bleibt die Verschiebung jedoch gering.

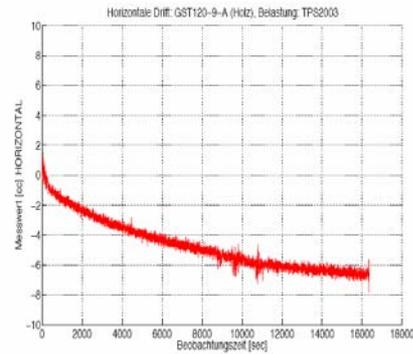


Abbildung 7a - Leica GST120-9 Stativ

Das CTP101 weist mit maximal 4° (1.3") die geringste Verschiebung auf.

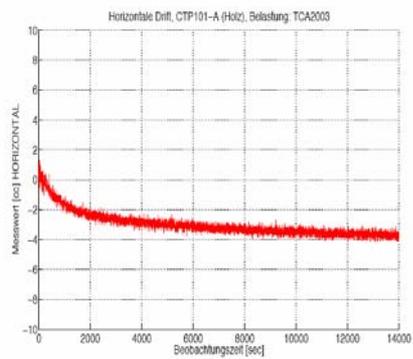


Abbildung 7b - Leica GST101 Stativ

Nach dem Aufstellen zeigt das Trimax mit 12° (4") innerhalb der ersten 600 Sekunden eine rasche, starke Verschiebung. Nach ca. 20 Minuten pendelt sich das Trimax jedoch stabil bei 14° (4,7") ein.

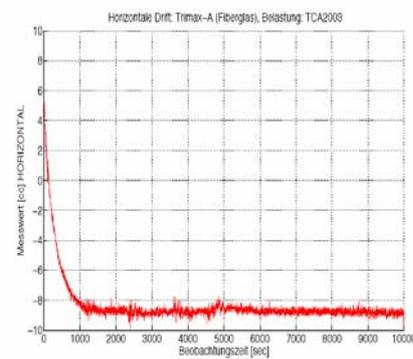


Abbildung 7c - Crain Trimax Stativ

Leichte Stative

Mit einer Verschiebung von weniger als 3° (1") hat sich das GST05 als das stabilste getestete Modell erwiesen. Die Aluminiumstative verformen sich während der gesamten Messdauer weiter. Nach 3 Stunden zeigt das GST05L eine Verschiebung von 23° (7.7"), das GST103 eine Verschiebung von 9° (3").

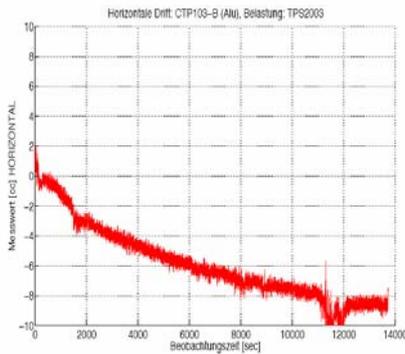


Abbildung 8a - Leica GST103 Stativ

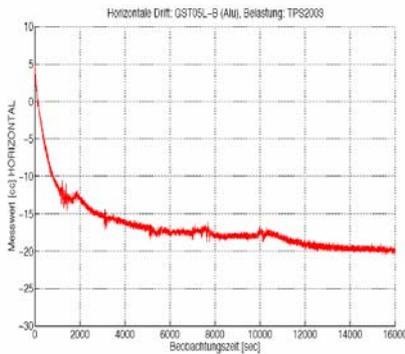


Abbildung 8b - Leica GST05L Stativ

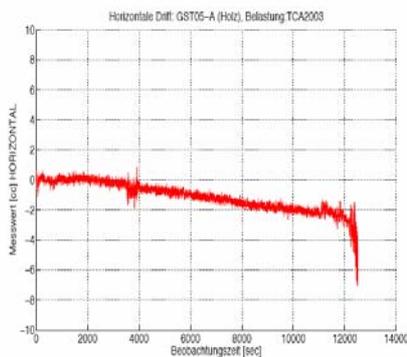


Abbildung 8c - Leica GST05 Stativ

Original vs. Kopie

Am Markt sind verschiedene Kopien der Leica Stativ erhältlich. Aufgrund ihrer bekannten Qualität werden die Stativ von Leica Geosystems vielfach als Qualitätsmaßstab betrachtet.

?

Sie kaufen die „Katze im Sack“: etwas, das zwar aussieht wie Leica Originalzubehör, doch in Wirklichkeit wissen Sie nicht, was Sie vor sich haben ...



Lieferantenqualifikation für zuverlässige Produktqualität
Material- und Prozessqualifikation
Holzstativ oder Aluminiumstativ
Oberflächenstruktur der Stativkopfplatte
Stativspitzen – Spezialstahl
Verdrehsteifigkeit
Höhenstabilität
Horizontale Verschiebung
Überwachung des Montagevorgangs
Einhaltung nationaler Vorgaben und Vorschriften
Requalifikation anhand der technischen Spezifikationen in bestimmten Abständen
Feinabstimmung der Stativ auf die Vermessungsgeräte für maximale Stabilität und Lebensdauer

Tabelle 2 - Qualitätsmanagement-Schritte bei der Herstellung der Leica Geosystems Stativ

Deshalb werden die Leica Stativ oft kopiert. Mehrere Hersteller haben den Markt mit billigen Produktkopien überschwemmt, die den Qualitätsstandards von Leica Geosystems nicht entsprechen. Die rechte Spalte in Tabelle 2 enthält alle zur Herstellung eines echten Leica Stativs erforderlichen Schritte. Der Grossteil dieser Schritte ist für den Anwender nicht sichtbar, doch in Einhaltung unserer strengen Qualitätsgrundsätze garantieren wir unseren Kunden beste Produkte.

Empfehlungen für den Benutzer

Tabelle 3 enthält eine Zusammenfassung aller im Rahmen des Tests ermittelten Messergebnisse. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um die während der Messdauer aufgetretenen Maximalfehler. Zur Bestimmung der Auswirkungen auf die TPS-Genauigkeit ist in der Tabelle auch der Hysteresewert des Dreifusses angegeben. Leica Geosystems empfiehlt die Verwendung des GDF121 (1") mit schweren bzw. des GDF111-1 (3") mit leichten Stativen. Die möglichen Einflüsse zeigen klar, dass sich Stativ und Dreifuss wesentlich auf die TPS-Winkelgenauigkeit auswirken. In Bezug auf das Material hat sich Holz als stabilster Werkstoff für Stative erwiesen. Das GST120-9 erzielte die besten Ergebnisse in puncto Höhenstabilität und Verdrehsteifigkeit. Es ist daher für die Verwendung mit allen Leica TPS-Geräten geeignet. Bei der horizontalen Verschiebung wies das hölzerne GST05 über einen längeren Zeitraum die geringste Verformung auf. Dieses Stativ ist daher ideal für GPS-Antennen und Prismen, deren Aufstellung üblicherweise langfristig erfolgt.

Aluminiumstative bieten bei mangelhafter horizontaler Orientierung eine gute Höhenstabilität. Von ihrer Verwendung im Zusammenhang mit Winkelmessgeräten wird abgeraten. Da Aluminiumstative günstiger,

leichter und haltbarer sind als Holzstative, wird ihr Einsatz bei Nivellieraufgaben empfohlen.

Wie aus den Diagrammen zur horizontalen Verschiebung hervorgeht, weisen Aluminium und Fiberglas innerhalb der ersten 20 Minuten nach der Aufstellung erhebliche Verformungen auf. Um zuverlässige Messergebnisse zu erzielen, sollte in Betracht gezogen werden, diesen Zeitraum vor der Aufnahme der Messungen verstreichen zu lassen. Zudem sollte die Orientierung während des Messvorgangs regelmässig geprüft werden.

Die Stativtests wurden unter Laborbedingungen durchgeführt. Beim Einsatz im Feld wirken sich jedoch noch weitere Einflüsse, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Untergrund, Wind usw., auf die Stabilität aus. Auch mit zunehmendem Alter der Stative ist von Stabilitätsverlusten auszugehen. Aus diesem Grund muss bei der Ermittlung der erzielbaren Winkelgenauigkeit immer auch der Einfluss von Stativ und Dreifuss mitberücksichtigt werden.

Anhand der Werte in der Tabelle kann das für die jeweilige Vermessungsanwendung am besten geeignete Stativ ausgewählt werden. Für Präzisionsmessungen über lange Zeiträume wird die Verwendung eines Betonpfeilers empfohlen. Alternativ sollte zur Kompensation dieser Fehler ein gründlich durchdachtes Messverfahren angewendet werden.

Modellbezeichnung	GST120-9	GST101	Trimax	GST05	GST05L	GST103
Geeignet für welches Leica Produkt	Alle TPS	Alle TPS	TPS >5"	GPS-Antenne Prismen	Prismen Nivelliere	Prismen Nivelliere
Material	Buchenholz	Kiefernholz	Fiberglas	Kiefernholz	Aluminium	Aluminium
ISO-Klassifikation	Schwer	Schwer	Schwer	Leicht	Leicht	Leicht
Höhenstabilität	0.02 mm	0.03 mm	0.05 mm	0.02 mm	0.03 mm	0.03 mm
Hysterese Stativ	1" (2 ^{cc})	1" (3 ^{cc})	2" (6 ^{cc})	3" (8 ^{cc})	4" (11 ^{cc})	10" (30 ^{cc})
Hysterese Dreifuss	1" (3 ^{cc})	1" (3 ^{cc})	1" (3 ^{cc})	3" (10 ^{cc})	3" (10 ^{cc})	3" (10 ^{cc})
Max. möglicher Einfluss	2" (5^{cc})	2" (6^{cc})	3" (9^{cc})	6" (18^{cc})	7" (21^{cc})	13" (40^{cc})
Hz-Verschiebung nach 3 Stunden	2" (7 ^{cc})	1" (4 ^{cc})	5" (14 ^{cc})	1" (3 ^{cc})	8" (23 ^{cc})	3" (9 ^{cc})

Tabelle 3 - Übersicht über Ergebnisse und Empfehlungen

Quelle

Beim vorliegenden Weissbuch handelt es sich um eine Kurzfassung der Diplomarbeit *Genauigkeitsanalyse von Vermessungsstativen und Dreifüssen unter der Belastung verschiedener Instrumente*. Die Diplomarbeit wurde im Jahr 2006 von Daniel Nindl vom Institut für Geodäsie der Technischen Universität Wien unter der Betreuung von Mirko Wiebking von der Leica Geosystems AG Heerbrugg verfasst. Zweck der im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführten Studie war eine Analyse der Auswirkungen von Stativen und Dreifüssen auf die Genauigkeit des Vermessungsgeräts. Die Ergebnisse der Dreifuss-Analyse können

in einem anderen Weissbuch mit dem Titel "Vermessungsdreifüsse – Merkmale und Einflüsse" nachgelesen werden.

Ob Sie eine Brücke oder einen Vulkan überwachen, einen Wolkenkratzer oder einen Tunnel vermessen, eine Baustelle abstecken oder Kontrollmessungen durchführen wollen – Sie benötigen immer eine zuverlässige Ausrüstung. Mit dem hochwertigen Zubehör von Leica Geosystems sind Sie für alle Aufgaben bestens gerüstet. Durch die Verwendung von Leica Geosystems Originalzubehör stellen Sie sicher, dass Ihr Instrument jederzeit spezifikationsgemäss arbeitet. Auf die Genauigkeit, Qualität und Langlebigkeit unseres Zubehörs können Sie sich verlassen. So sind präzise, zuverlässige Messungen jederzeit gewährleistet und Sie nutzen Ihr Leica Geosystems Instrument optimal.

When it has to be right.

Abbildungen, Beschreibungen und technische Daten unverbindlich.
Gedruckt in der Schweiz. Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2010.
VII.10 - INT