

# Vermessungsreflektoren – White Paper Merkmale und Einflüsse



- when it has to be **right**

**Leica**  
Geosystems

März 2009

Junyu Mao und Daniel Nindl  
Leica Geosystems AG  
Heerbrugg, Schweiz

# Vermessungsreflektoren – Merkmale und Einflüsse

Daniel Nindl und Junyu Mao

## Kurzfassung

Dieses Weissbuch bietet einen Überblick über die Faktoren im Zusammenhang mit Vermessungsreflektoren, die für qualitativ hochwertige Vermessungsergebnisse zu berücksichtigen sind. Erstens werden die Eigenschaften von Rundprismen und 360°-Reflektoren sowie deren Unterschiede erläutert. Wir widmen uns dem Aufbau der Reflektoren und der Frage, warum sie unterschiedliche Reflektorkonstanten aufweisen. Ausserdem nennen wir typische Anwendungen für jeden Reflektor. Zweitens zeigen wir, welche Eigenschaften (z.B. Antireflexbeschichtung) sich auf Winkel- und Distanzmessungen auswirken. Abschliessend legen wir dar, welche Einflüsse trotzdem in den Händen des Vermessungstechnikers liegen und im Zusammenhang mit der Einrichtung des Vermessungsgeräts und der Verwendung eines qualitativ hochwertigen Dreifusses und Stativs stehen.

## Einführung

Vermessungsziele – insbesondere Vermessungsreflektoren – sind für viele unterschiedliche Vermessungsanwendungen erforderlich. Als zuverlässiges Zubehör geniessen Reflektoren eine so hohe Akzeptanz, dass Vermessungstechniker häufig nicht bedenken, inwiefern sie sich auf die Messgenauigkeit auswirken. Die Erzielung eines bestimmten Grads an Genauigkeit und Zuverlässigkeit erfordert jedoch die Berücksichtigung aller möglichen Messeinflüsse. Grosser Wert wird auf die Spezifikation und die Genauigkeit der Totalstation gelegt, während die Rolle des Zubehörs in Bezug auf die Anwendung und die Messergebnisse zu oft ausser vor gelassen wird. Viele Applikationen erfordern eine 3D-Koordinatenqualität, die nur im Zentimeterbereich liegt. Doch andere Aufgaben, wie die Ausrichtung von Maschinen oder Deformationsmessungen sensibler Objekte, benötigen wesentlich höhere Genauigkeiten. Für solche Tätigkeiten ist eine detaillierte Analyse der Einflüsse und des Umgangs mit potenziellen Fehlerquellen unabdingbar.

Das vorliegende Weissbuch fasst die Hauptfaktoren, die sich im Zusammenhang mit Vermessungsreflektoren auf die Messgenauigkeit von Distanz- und Winkelmessungen auswirken können, zusammen. Die Zentriergenauigkeit und die geometrische Ausrichtung an der Zielachse des Geräts sind zwei Aspekte, die sich entscheidend auf die Vermessungsergebnisse auswirken können. Werden diese Faktoren nicht beachtet, führt dies im Allgemeinen zu einer Verringerung der Messqualität. Bei sämtlichen Vermessungsreflektoren von Leica Geosystems werden diese wichtigen Faktoren berücksichtigt. Mit Hilfe durchdachter Produktionsverfahren und strenger Montage- und Qualitätskontrollen stellt Leica Geosystems sicher, dass alle Leica Reflektoren höchsten Qualitätskriterien entsprechen.

Abbildung 1 zeigt die drei Hauptphasen einer elektronischen Distanzmessung: die Erzeugung des Signals, die Laufzeit durch die Atmosphäre zum Reflektor und die Signalreflexion. Das abgestrahlte EDM-Signal muss zum Empfänger zurückreflektiert werden. Dies ist die Aufgabe des Reflektors. Seine Bedeutung für den Messpfad wird nachstehend weiter beleuchtet.

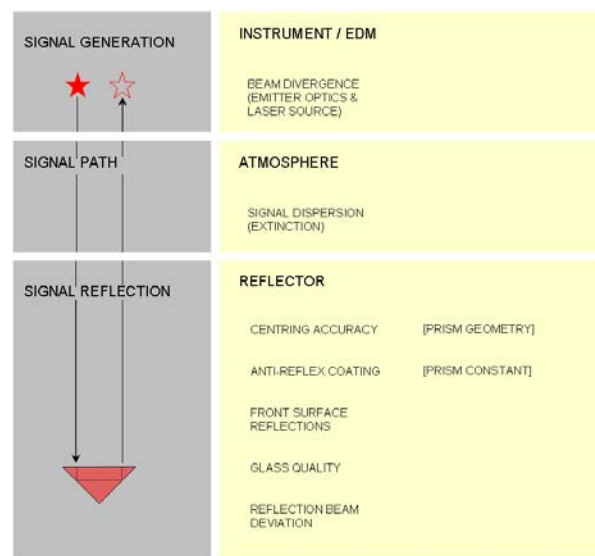


Abbildung 1 – Die verschiedenen Phasen einer elektronischen Distanzmessung

Das vorliegende Weissbuch unterteilt sich in drei Hauptabschnitte:

- **Reflektoreigenschaften:** Reflektorgeometrie und Reflektorkonstanten
- **Signalzeugung und Signalpfad:** Abstrahlung und Verbreitung des EDM-Signals
- **Signalreflexion:** Zu den Einflussfaktoren zählen Zentriergenauigkeit, Strahlenlenkung durch den Reflektor, Reflex- und Antireflexbeschichtung für bestimmte Wellenlängen, Glasqualität und schliesslich die Ausrichtung an der Zielachse des Geräts

## Reflektoreigenschaften

Die Qualität zweier wichtiger Reflektoreigenschaften kann nicht gemessen werden. Dies ist einerseits der **Reflektortyp** und seine allgemeine Geometrie - handelt es sich um einen 360°-Reflektor, der Messsignale aus allen Richtungen reflektiert, oder muss der Reflektor, wie etwa ein Rundprisma, an der Zielachse des Geräts ausgerichtet werden? Die zweite wichtige Eigenschaft ist die **Reflektorkonstante**, die für jedes

Modell vorgegeben ist. Sie definiert das Verhältnis der Distanzmessung zum mechanischen Referenzpunkt des Reflektors (Halters).

Unterschiedliche Anwendungen erfordern unterschiedliche Reflektortypen: Von hochpräzisen Rundreflektoren über omnidirektionale 360°-Reflektoren bis hin zu kleinen Zielmarken sind diese Eigenschaften kaufentscheidende Faktoren.


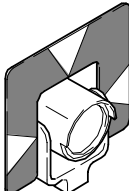
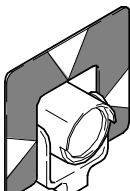
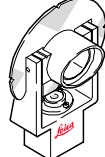

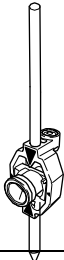
Modell:	GPH1P	GPR121	GPR1+GPH1	Mini GMP101	GRZ122	GMP111
Abbildung:						
Material:	Metall	Metall	Kunststoff	Metall	Metall	Metall
Zentriergenauigkeit:	0.3 mm	1.0 mm	2.0 mm	1.0 mm	2.0 mm	2.0 mm
Reflektorkonstante	0	0	0	+17.5 mm	+23.1 mm	+30 mm

Abbildung 2 – Eine Auswahl von Leica Geosystems Vermessungsreflektoren

Im Prinzip ist die Reflektorkonstante konstant. Solange sie korrekt berücksichtigt wird, wirkt sie sich nicht auf die Messungen aus. Die Reflektorgeometrie ist rein davon abhängig, welches Modell gewählt wurde.

## Reflektorgeometrie – Rundprismen

Üblicherweise werden die meisten Vermessungsaufgaben mit Hilfe von Rundprismen durchgeführt (vgl. Abbildung 3). Hochpräzise Messungen mit strengen Spezifikationen werden generell mit Rundprismen vorgenommen. 360°-Reflektoren wurden erst vor kurzem entwickelt (hauptsächlich für automatisierte Anwendungen). Derzeit ist noch immer das Rundprisma der Standard bei der Vermessung. Automatische Vermessungsgeräte sind eine neuere Entwicklung. Viele Vermessungstechniker verwenden noch keine motorisierten Geräte und das Rundprisma mit seiner gebündelten Reflexion erfüllt seinen Zweck (vgl. Abbildung 10).

Für ein Rundprisma werden die drei Ecken eines Tripelprismen-Glaskörpers abgeschliffen, bis sie genau in das runde Gehäuse passen (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3 - Unterschiedliche Ansichten eines Rundprismas, bestehend aus rundem Gehäuse und Glaseinsatz

Das Produktportfolio von Leica Geosystems beinhaltet für jede Anwendung das richtige Modell (vgl. Abbildung 2) – wählen Sie den für Ihre Messaufgabe geeigneten Reflektor.

Alle Leica Geosystems Standard-Rundprismen und Halter (GPH1P, GPR121, GPR1 und GPH1) haben denselben Durchmesser (62 mm). Diese Dimension dient zur effizienten Nutzung der Empfängeroptik (der Prismendurchmesser wird relativ zum Fernrohrdurchmesser inklusive Toleranzen justiert). Dies wird als Signalreflexionskapazität des Prismas bezeichnet. Abbildung 3 zeigt unterschiedliche Ansichten eines Rundprismas (GPR1 und GPH1 Halter).

Seit EDMs eingesetzt werden, bietet Leica Geosystems verschiedene Rundprismen zur Abdeckung des Spezifikationsbedarfs unserer Kunden. Von Fixinstallationen zur Präzisionsüberwachung bis hin zu klassischen Höhenaufnahmen eignen sich Leica Geosystems Reflektoren für alle Einsatzgebiete. Sie bilden den Standard für zuverlässige und präzise Vermessungsziele.

## Prismengeometrie – 360°-Reflektoren

Moderne Totalstation wie die Geräte der Leica Geosystems TPS1200+ Serie nutzen Technologien zur automatischen Zielerfassung (ATR) und -verfolgung. Diese Technologien funktionieren am besten mit omnidirektionalen Prismen. Die Arbeit mit dem Lotstock wird erheblich erleichtert, da das Prisma nicht ständig am Gerät ausgerichtet werden muss. Grundsätzlich ist die Funktion eines 360°-Prismas dieselbe wie die eines Rundprismas: die Reflexion des ankommenden EDM-Signals zur EDM-Empfängeroptik des Vermessungsgeräts. Das 360°-Prisma besteht jedoch aus sechs eng verbundenen Tripelprismen-Glaskörpern (patentiert von Leica Geosystems, U.S.-Patentnummer 6,123,427). Jeder dieser sechs Glaskörper lässt sich mit einem einzelnen, kleineren Rundprisma vergleichen, dessen Ecken leicht abgeschliffen sind (vgl. Abbildungen 4 und 5). Eine kontinuierliche und permanente Reflexion des EDM-Signals ist wichtig, um die Vorzüge der Arbeit mit Automatisierungstechnologie voll nutzen zu können. Im Einmannbetrieb sollte sich die Person am Lotstock zügig bewegen und auf die Messpunkte konzentrieren können, anstatt ständig das Prisma am Vermessungsgerät auszurichten.



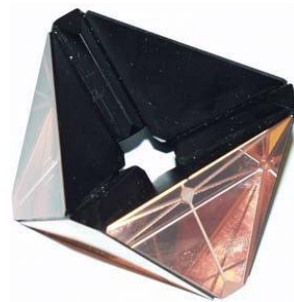
**Abbildung 4** – Einer der Leica Geosystems 360°-Reflektoren (GRZ122)

Ermöglicht wird das durch die Verwendung eines der folgenden Leica Geosystems 360°-Reflektoren:

- GRZ4 Klassischer 360°-Reflektor
- GRZ122 360°-Reflektor mit Zusatzgewinde (zur Anbringung von GNSS-Antennen)
- GRZ101 360°-Minireflektor für den Nahbereich
- MPR121 360°-Reflektor - extra robust für Maschinensteuerungsanwendungen (verstärkter Mittelschaft)

Nachteile von 360°-Reflektoren sind ihre Grösse und das relative hohe Gewicht. Doch die Produktivitätssteigerungen im Einmannbetrieb (einschliesslich ATR- oder Lock-Modus bei Geräten der Leica Geosystems TPS1200+ Series) sowie die Unterstützung von Leica SmartAntennen machen 360°-Reflektoren zu einem unverzichtbaren Zubehör für die effiziente Arbeit.

Die Verwendung der Leica Geosystems Geräte zusammen mit 360°-Reflektoren von Leica Geosystems gewährleistet optimale Messleistungen – die typische Lagegenauigkeit liegt bei 2 mm oder besser - und hohe Benutzerfreundlichkeit.



**Abbildung 5** – Sechs Tripelprismen-Glaskörper

## Reflektorkonstanten

Werden unabhängig von einer Distanz- oder Winkelmessung Messungen auf Reflektoren vorgenommen, müssen diese zwischen zwei Punkten referenziert werden: der Stehachse des Geräts und dem Zielpunkt. Daher müssen der mechanische Aufbau des Reflektorkörpers, das Gehäuse und der Befestigungsbolzen berücksichtigt werden, um für eine klar definierte Referenz der Reflektormitte (Reflektor-Stehachse) zum gewünschten Punkt zu sorgen (der zweite Punkt wird üblicherweise durch die Kipp- oder die Mittelachse des Vermessungsgeräts repräsentiert).

### Definition der Reflektorkonstante:

Prismen werden nach wie vor hauptsächlich aus Glas hergestellt. Glas besitzt einen anderen Brechungsindex als Luft – das Medium, in dem sich Messsignale normalerweise ausbreiten. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle wird beim Eintritt in einen Glaskörper verlangsamt. Dabei verlängert sich die tatsächlich gemessene Distanz. Für alle Lichtstrahlen lotrecht zur Prismenvorderseite ist die Länge des Strahlengangs (vgl. Abbildung 6):

$$W = n \cdot d \quad (1)$$

Dabei ist

$d$  der Abstand von der Prismenvorderseite zum Eckpunkt des Tripelprismas (vgl. Abbildung 6)

$n$  der Refraktionsindex des Glaskörpers und  
 $W$  der Abstand von der Prismenvorderseite zum theoretischen Umkehrpunkt  $S_0$

$d$  ist gleich der geometrischen Distanz von der Vorderseite zum Eckpunkt des Prismas.  $W$  ist definiert durch den Abstand zwischen dem theoretischen Umkehrpunkt  $S_0$  und der Prismenvorderseite (vgl. Abbildung 6).

Die Reflektor-Stehachse befindet sich vor dem theoretischen Umkehrpunkt  $S_0$ . Um die Messungen zur Stehachse (mit dem Abstand  $e$  zur Vorderseite) in Bezug zu setzen, wird die entsprechende Prismenkonstante  $K_R$  angewendet. Andere Hersteller verwenden üblicherweise die folgende Definition:

$$K_R = e - n \cdot d \quad (2)$$

Dabei ist

$K_R$  die Definition der Prismenkonstante anderer Hersteller (wird von Leica Geosystems nicht verwendet)

$e$  der Abstand vom mittigen Symmetriepunkt zur Vorderseite

Auf der Grundlage der obigen Definition beträgt die Prismenkonstante eines Leica Geosystems Standardprismas  $K_R = -34,4$  mm. Leica Geosystems definiert dies als  $K_{Leica} = 0$  mm. Zwischen diesen beiden Definitionen muss klar unterschieden werden. Die Distanzmessung von Leica Geosystems Totalstationen berücksichtigen diesen Versatz.

### Position der Prismen-Stehachse:

EDM-Messungen müssen an der Reflektor-Stehachse referenziert werden. Leica Geosystems bringt die Reflektoren so an, dass ein absolutes Minimum an Auswirkungen auf die Winkel- und Distanzmessungen gewährleistet ist, sollten die Reflektoren nicht lotrecht zur Zielachse des Messgeräts ausgerichtet sein. Die Reflektor-Stehachse fällt mit dem mittigen Symmetriepunkt (oder virtuellen Prismenmittelpunkt) des Prismenglases zusammen (vgl. Abbildung 6). Bei Leica Standardreflektoren, z.B. GPH1P und GPR121, liegt die Reflektor-Stehachse vor dem geometrischen Prismenmittelpunkt (der hinteren Ecke des Glaswürfels), wird jedoch in den scheinbaren Prismenmittelpunkt verlagert. So lässt sich der entstehende Abstand zwischen dem echten und dem scheinbaren Mittelpunkt (wenn die Zielrichtung nicht lotrecht zur Vorderseite ist) minimieren. Dieser Aufbau wurde eigens gewählt, um eine winkelunabhängige Definition von  $K_R$  für Leica Geosystems Reflektoren zu erzielen.

Dementsprechend wirkt sich ein falsch ausgerichtetes Prisma so gering wie möglich auf Winkel- und Distanzmessungen aus.

Sollte das Licht (die Lichtwelle) nicht lotrecht, sondern unterhalb des Winkels  $\alpha$  auf die Vorderseite auftreffen, wird der Strahlengang verlängert. Dabei entsteht ein Distanzmessfehler  $\Delta d$  ( $\equiv \Delta AC$ ). Dieser Effekt lässt sich mit der nachstehenden Formel beschreiben:

$$\Delta d = e \cdot (1 - \cos \alpha) - d \cdot \left( n - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \right) \quad (3)$$

Dabei ist

$\alpha$  der Einfallswinkel der Zielachse auf die Vorderseite des Prismas

Ein Reflektor mit den Abmessungen  $e = 40$  mm,  $d = 60$  mm und  $n = 1.5$  besitzt dementsprechend eine Prismenkonstante von  $K_R = -50$  mm. Auf der Grundlage dieses Werts kann durch Addition eines Winkels von  $30^\circ$  (Abweichung der Kollimationsachse) ein Distanzfehler von  $\Delta d = 0.1$  mm ermittelt werden [vgl. Joeckel/Stober, 1999].

Distanzfehler infolge der ungenauen Ausrichtung des Prismenreflektors sind üblicherweise vernachlässigbar. Trotzdem empfiehlt sich eine ordnungsgemäße (präzise) Ausrichtung, um einen maximalen Effizienzgrad bei der Reflexion des ankommenden EDM-Signals auf der Reflektoroberfläche zu erzielen.

Darüber hinaus sind Prismenkonstanten von der Wellenlänge des EDM-Signals abhängig, da der Refraktionsindex des Prismenglases je nach Wellenlänge unterschiedlich ist.

Durch die Verwendung von hochwertigem Glas, die präzise Fertigung des Prismas und die exakte Bestimmung des Refraktionsindex  $n$  gewährleistet Leica Geosystems für alle Prismenmodelle höchst zuverlässige Prismenkonstanten bei vernachlässigbaren Abweichungen im Laufe der Zeit.



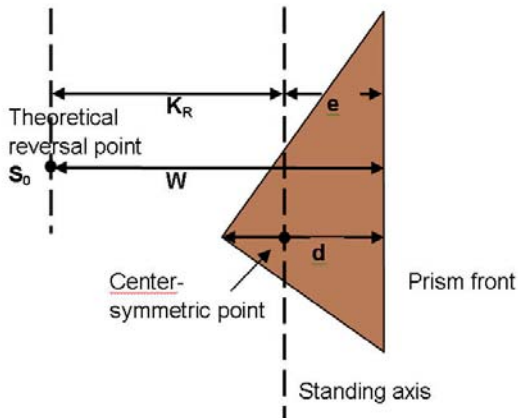


Abbildung 6 - Querschnitt durch ein Tripelprisma

## Signalerzeugung und Signalpfad

Zu Beginn einer Distanzmessung emittiert das Vermessungsgerät einen Laserstrahl, der aufgrund des elektronischen Aufbaus des Geräts während des Messvorgangs den Umgebungsbedingungen ausgesetzt ist. Schwierigkeiten bei der Signalerzeugung oder -fortpflanzung wirken sich auf die beim Prisma ankommende Lichtmenge (Intensität) aus. Diese Faktoren lassen sich nicht durch die Verwendung eines bestimmten Vermessungsprismas beeinflussen. Auf der Grundlage dieser Informationen erläutern wir diese Aspekte nun ausführlicher, um zu verstehen, wie viel Signal zur Rückreflexion eigentlich beim Prisma ankommt.

Die Reichweite von Streckenmessungen ist in hohem Mass von der Energie der Laserquelle abhängig. Durch den EDM-Sensor wird der emittierte Laserstrahl mehreren anderen Einflüssen ausgesetzt, vor allem der Atmosphäre. Die Atmosphäre ist ein geeignetes Medium für die Abstrahlung von Infrarot- (oder sichtbaren) Signalen. Deren Übermittlung wird jedoch durch die Absorption von Staub, Luftmolekülen und Wassertropfen – die sogenannte Extinktion – beeinträchtigt. Das EDM-Signal muss zudem genau kollimiert werden, um den verbleibenden Divergenzwinkel (vgl. Abbildung 7) zu minimieren:

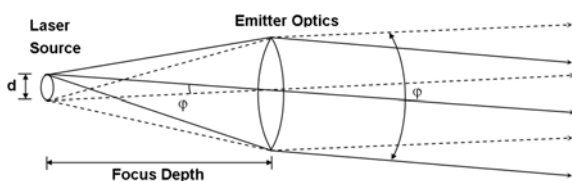


Abbildung 7 – Beispiel für eine Strahldivergenz nach der Emission vom Fernrohr

Ein Winkel von  $\varphi = 5'$  (durchschnittlicher Wert für ein modernes Vermessungsgerät) erzeugt beispielsweise eine Fläche von  $41,5 \text{ m}^2$  in einer Entfernung von 5 km.

Ein gegebenes Prisma (z.B.  $\varnothing 5 \text{ cm}$ ) bietet eine Reflexionsoberfläche von  $0,002 \text{ m}^2$ . Das ist  $1/20000$  des abgestrahlten Signals. Doch nur ein Bruchteil davon wird von der EDM-Optik empfangen. Trotzdem ist diese Reflexionsoberfläche das Optimum in Bezug auf die Reflexion des EDM-Signals. Ein grösseres Prisma würde die Reichweite bei der Distanzmessung nicht erhöhen, weil die Empfängeroptik das reflektierte Signal nur innerhalb eines bestimmten Durchmessers verarbeiten kann. Zwar würde ein grösseres Prisma die reflektierte Signalmenge erhöhen, doch der Grossteil des EDM-Signals würde einfach am Vermessungsgerät vorbeilaufen. Im Gegensatz dazu würde die Verwendung mehrerer Reflektoren (vorzugsweise Reflektoren der gleichen Grösse und des gleichen Modells) die reflektierte nutzbare Signalmenge und damit auch die Reichweite erhöhen.

Der Einsatz einer aus Leica Geosystems Komponenten bestehenden Messausrüstung gewährleistet, dass Signalstärke, Sendeoptik und Prismengestaltung zueinander passen und Bestleistungen liefern. Die Messspezifikationen können so mit Leichtigkeit eingehalten werden.

## Signalreflexion - Einflussfaktoren

Nach der Signalerzeugung (durch das EDM) kommt das Signal am Ende der Laufzeit (durch die Atmosphäre) am Vermessungsprisma an. Von dort wird das Signal wieder zurück zum Vermessungsgerät reflektiert. Die Faktoren, die sich auf die Reflexionseigenschaften von Vermessungsreflektoren auswirken, sind nachstehend beschrieben.

Im Grunde ist eine Messausrüstung so genau, wie sie vom Vermessungstechniker eingerichtet wird. Die unten beschriebenen Parameter sind dagegen produktabhängig.

Bei einer aus Geräten und Zubehör von Leica Geosystems bestehenden Messausrüstung ist gewährleistet, dass Signalstärke, Sendeoptik und Prismengestaltung zueinander passen und höchste Leistung erbringen.

## Zentriergenauigkeit

Die Zentriergenauigkeit ist das Mass der Genauigkeit, mit der der optische Mittelpunkt des Prismas mit der Stehachse des Prismenhalters zusammenfällt. Sie lässt sich mit folgender Formel ausdrücken:

$$\sigma_{3D} = \left( \sqrt{\sigma_{cross}^2 + \sigma_{vertical}^2 + \sigma_{along}^2} \right) \quad (4)$$

Dabei ist

- $\sigma_{quer}$  die Standardabweichung quer zur Zielachse des Geräts
- $\sigma_{vertikal}$  die Standardabweichung vertikal zur Zielachse des Geräts
- $\sigma_{entlang}$  die Standardabweichung entlang der Zielachse des Geräts

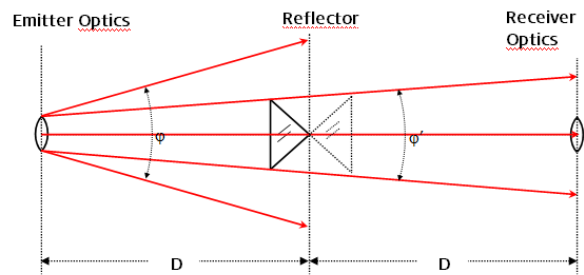
Dies ist jedoch noch nicht das Mass, das die allgemeine Zentriergenauigkeit über einem bestimmten Kontrollpunkt definiert. Der Dreifuss und das Stativ spielen nämlich ebenfalls eine wichtige Rolle. Auch die Messgenauigkeit des gewählten Prismas, beispielsweise das Leica Geosystems GPH1P-Modell mit 0.3 mm oder das 360°-Prisma GRZ122 mit 2.0 mm, ist zu berücksichtigen.

Der mechanische Aufbau der Reflektoren von Leica Geosystems dient auch zur Geringhaltung des mechanischen Verschleisses, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten und so die Erwartungen der Kunden hinsichtlich Qualitätsprodukten zu erfüllen.

## Strahlabweichung

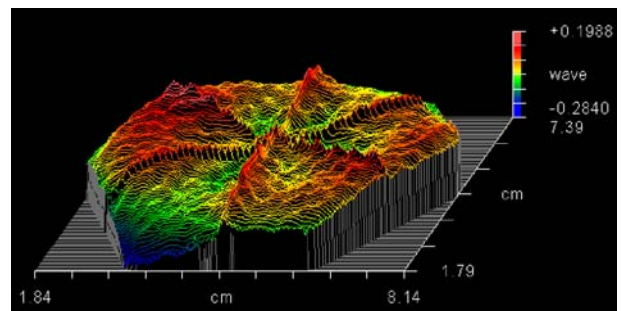
Der Schliff eines Prismenglases spielt für die Reflexion von Signalen eine wichtige Rolle. Je genauer der Schliff (Eckwinkel und Oberflächen), umso besser wird das Signal in dieselbe Richtung reflektiert und umso höher die Intensität.

Die Abweichung zwischen auftreffendem und austretendem Strahl wirkt sich entscheidend auf den Messbereich (vgl. Abbildung 8) aus. Das reflektierte Signal folgt einem abweichenden Winkel  $\alpha$ . Abbildung 9 zeigt eine mit einem Interferometer durchgeführte Testmessung der Strahlabweichung eines Rundprismas.



**Abbildung 8** – Abweichung des reflektierten Signals nach dem Verlassen des Prismas in Richtung Vermessungsgerät (Abweichungswinkel  $\alpha$  im Vergleich zur Richtung des Eingangssignals).

Die Distanzmessung basiert auf der Erfassung der Phasendifferenz (oder Laufzeit) zwischen Eingangs- und Ausgangssignal. Üblicherweise weisen Vermessungsreflektoren eine Strahlabweichung von einigen Bogensekunden auf. Nach der Fertigung des Prismas wird kontrolliert, ob die Strahlabweichung unter dem Grenzwert von einer Bogensekunde liegt. Jedes einzelne Prisma wird zertifiziert. In dem Beispiel in Abbildung 9 repräsentiert die Sternform eine durch die Prismenkanten hervorgerufene leicht überdurchschnittliche Abweichung. Das oben getestete Rundprisma besitzt eine Maximalabweichung von 0.8 Bogensekunden. Das bedeutet, dass in jedem Sechstel des gläsernen Prismenkörpers die Richtung des auftreffenden Strahls eine Abweichung von weniger als 0.8 Bogensekunden im Vergleich zum austretenden Strahl aufweist. Werden die Glaskanten beiseite gelassen, liegen die Mittelwerte weit unter einer Bogensekunde.



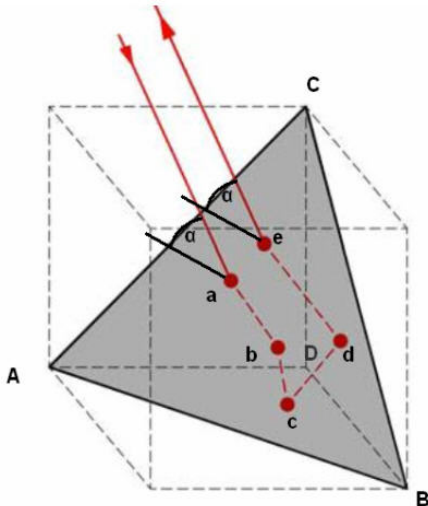
**Abbildung 9** - Interferometermessung zur Bestimmung der Phasenheterogenität der reflektierten Strahlen (wie gut ist das jeweilige Prisma poliert)

## Reflexbeschichtung

Der Reflexionsgrad ist definiert als die Fähigkeit eines Materials – in diesem speziellen Fall – sichtbare und infrarote Strahlung zu reflektieren (die EDM-Wellenlänge kann sich bei verschiedenen Herstellern unterscheiden). Diese Fähigkeit ist abhängig vom Material selbst und von seiner Oberflächenqualität.

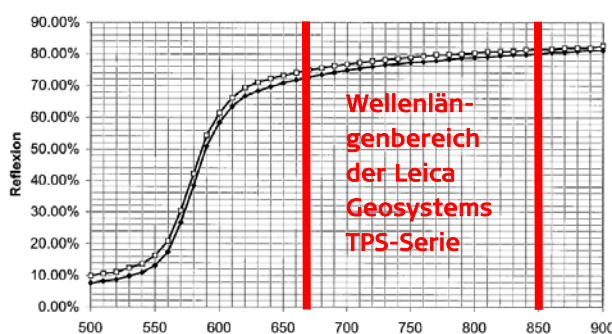


Abbildung 9 zeigt ein gut poliertes Beispiel. Die Leica Geosystems Reflektoren sind mit Kupfer beschichtet (vgl. Abbildung 11). Der Reflexionsgrad von Kupfer liegt über 75%. Kupfer ist zudem sehr robust und korrosionsbeständig (mit schwarzem Epoxid eingekapselt).



**Abbildung 10** - Strahlengang in einem Tripelprisma mit auftreffendem und austretendem Strahl

So kann eine lange Lebensdauer des Prismenglaskörpers gewährleistet werden. Andere Reflektoren am Markt verfügen über keine solche Beschichtung. Dadurch kann sich die EDM-Leistung um bis zu 30% verringern. Das Distanzmesssignal der Leica Geosystems TPS-Serie schwankt zwischen 658 nm und 850 nm (z.B. arbeitet das TCA2003 IR-EDM-Modul auf einer Frequenzbasis von 850 nm, das TPS1200+ dagegen mit 660 nm).



**Abbildung 11** – Reflexionseigenschaften einer Kupfer-Reflexbeschichtung je nach EDM-Signalwellenlänge

Der Darstellung in Abbildung 11 zufolge bieten die Wellenlängen der Leica Geosystems EDM innerhalb

des gesamten Bereichs (660 nm - 850 nm) beste Reflexionseigenschaften.

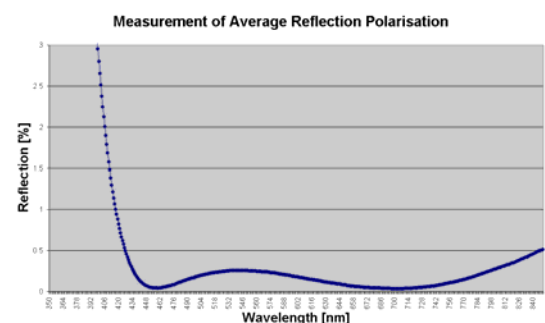
Für alle Reflektormodelle von Leica Geosystems wird die Kompatibilität mit unseren Totalstationen geprüft und gewährleistet.

## Antireflexbeschichtung

Während einer Distanzmessung wird ein grosser Anteil des Signals durch das Prisma zurückgeworfen, wie aus den Abbildungen 10 und 12 hervorgeht. Neben der gewünschten Reflexion durch den Prismenkörper wird das abgestrahlte EDM-Signal jedoch auch von der Prismenvorderseite reflektiert (4% typisch). Dieser Anteil des zurückgeworfenen Signals stört das erwünschte Signal, da seine Laufzeit kürzer ist, weil es den Glaskörper des Prismas nicht durchdringt.

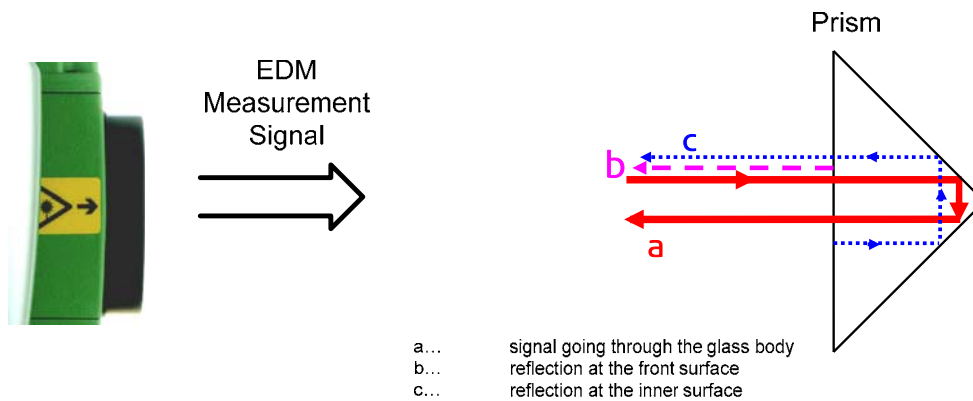
Dieses Phänomen tritt bei einer sehr genauen Ausrichtung auf einem kurzen Messbereich auf. (Die Zielachse des Geräts muss die Prismenvorderseite lotrecht schneiden.) In einem solchen Fall wird ein kürzerer Abstand ermittelt. Zur Vermeidung dieses Phänomens wird eine Spezialbeschichtung auf die Vorderseite des Prismenglases aufgetragen. Abbildung 12 zeigt den Strahlengang des Eingangssignals. Das erwartete Signal ist als rote Linie (a) dargestellt. Seine Intensität ist mit ca. 70% am stärksten.

Von Leica Geosystems verwendete Bandbreite (660 nm - 850 nm).



**Abbildung 13** – Reflexionseigenschaften einer Antireflexbeschichtung je nach EDM-Signalwellenlänge

Bei der Verwendung eines Prismas ohne Antireflexbeschichtung (oder mit einer an die falsche Wellenlänge angepassten Beschichtung) können Distanzmessfehler von bis zu 3 mm auftreten.

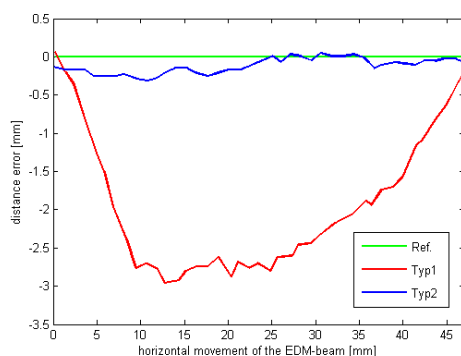


**Abbildung 12** – Unterschiedliche Reflexionen am Prisma, die durch die Vorderseite, die Innenseite (vorne) oder den normalen Weg durch die rückwärtigen Oberflächen verursacht wurden

Das an der Innenseite reflektierte Signal ist in Blau (b) dargestellt (ca. 4%). Die durch die Vorderseite erzeugte Reflexion ist in Pink (c) gehalten (weniger als 2%).

Reflektoren anderer Hersteller als Leica Geosystems besitzen meist keine Beschichtung. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass beschichtete Reflektoren anderer Hersteller möglicherweise die Messgenauigkeit verringern können. Dies ist abhängig von der bei der Entwicklung angenommenen EDM-Wellenlänge, da Antireflexbeschichtungen der Wellenlänge der verwendeten EDM-Sensoren entsprechen müssen. Abbildung 14 zeigt diesen Einfluss am Beispiel einer Distanzmessung auf 20 m. Zur Beobachtung dieses Effekts muss die Prismenvorderseite lotrecht zur Zielachse des Vermessungsgeräts ausgerichtet sein.

Abbildung 13 illustriert die Eigenschaften der Antireflexbeschichtung bestimmter Leica Geosystems Rundprismen. Die Reflexion liegt bei unter 0.5% des Gesamtsignals.



**Abbildung 14** - Einfluss der Antireflexbeschichtung auf die Distanzmessung

Mit beschichteten Reflektoren von Leica Geosystems ist die Erfassung des korrekten EDM-Signals zu 100% gewährleistet.

## Glasqualität

Leica Geosystems Reflektoren werden aus qualitativ äusserst hochwertigem Glas hergestellt. Die nachstehenden Eigenschaften sorgen für beste Leistungen bei Distanzmessungen und Zielerfassung:

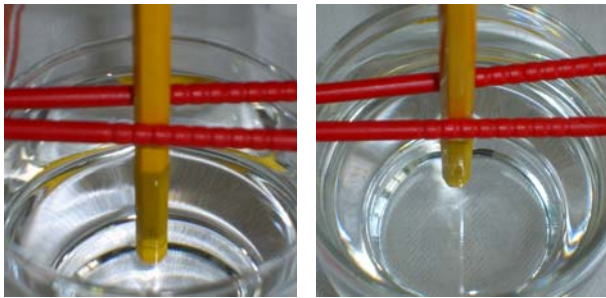
- Hohe Homogenität des Refraktionsindex innerhalb des gesamten Glaskörpers
- Minimierte Toleranzen zur Bestimmung von Refraktionsindex und abbescher Zahl
- Minimierte Anzahl von Schlieren
- Hohe Säureresistenz
- Minimierte Anzahl von Luftblasen
- Hohe Robustheit bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen

Diese Eigenschaften gewährleisten höchste Lebensdauer und Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse.

## Ausrichtung / Einrichtung

Rundprismen müssen innerhalb einer bestimmten Toleranz an der Zielachse des Vermessungsgeräts ausgerichtet sein. Für hochpräzise Messungen geht diese Abhängigkeit klar aus Abbildung 17 hervor. Eine zulässige Abweichung könnte  $\pm 10^\circ$  betragen.

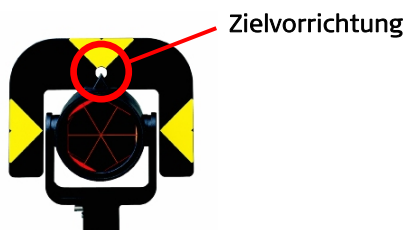
Beim Anzielen eines Prismas, das nicht lotrecht zur Zielachse des Geräts steht, ist es nicht so einfach möglich, den Prismenmittelpunkt anzuzielen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Refraktionsindex von Luft und Glas unterschiedlich ist und so zusätzliche Fehler bei der Messung der Horizontalrichtung entstehen können.



**Abbildung 15** – Ein Beispiel für Refraktion im Alltag: Dieser Effekt tritt auch bei geneigten Messungen auf Reflektoren auf – ein Stift in einem Glas Wasser aus verschiedenen Blickwinkeln

Ein Blick auf den Stift in Abbildung 15 zeigt den beschriebenen Effekt: Der Stift wirkt im linken Bild anders, weil der Refraktionsindex von Luft und Wasser unterschiedlich ist. Wird das Prisma jedoch lotrecht zu seiner Vorderseite betrachtet, kann seine tatsächliche Position festgestellt werden. Dieser Effekt wird im rechten Bild von Abbildung 15 demonstriert.

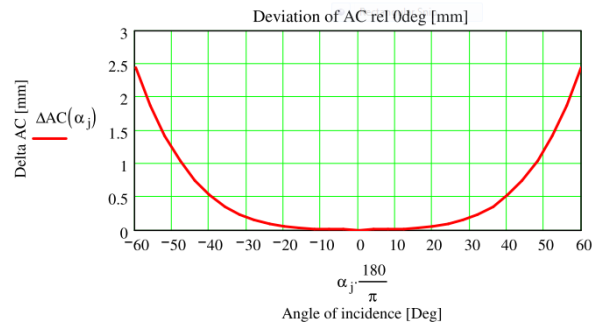
Leica Geosystems bietet eine Zieleinrichtung, um die präzise Ausrichtung an der Zielachse des Geräts zu gewährleisten (vgl. Abbildung 16). Der Anwender kann die Ausrichtung einfach binnen Sekunden durchführen, indem er das Gerät mit dem Prisma anzielt.



**Abbildung 16** - Leica Geosystems GPR1 Rundprisma mit Zielvorrichtung zu Ausrichtzwecken

Ist das Prisma nicht an der Kollimationsachse des Geräts ausgerichtet, fällt die Stehachse des Prismenstocks nicht mit dem scheinbaren Mittelpunkt des Prismas zusammen (vgl. Abbildung 18). Dementsprechend würde der Anwender den scheinbaren Prismenmittelpunkt anzielen.

Dieses Problem wird durch die spezielle Konstruktion der Leica Geosystems Reflektoren minimiert. Unter 40° würde der Anzielfehler weniger als 0.5 mm betragen. Über 50° liegt er jedoch bereits bei über 1 mm.



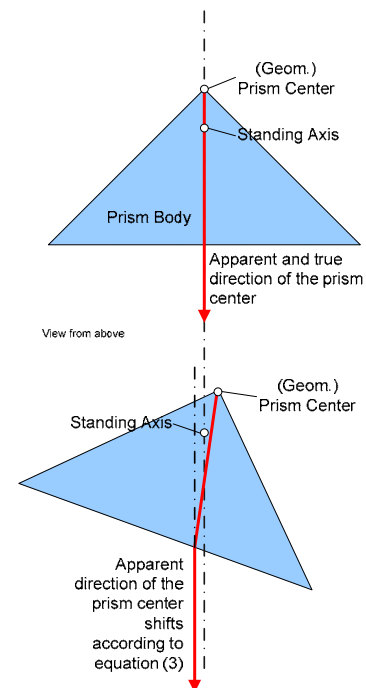
**Abbildung 17** - Abweichung der Achse in Abhängigkeit von der fehlerhaften Ausrichtung eines Leica GPR1 Reflektors

Beispielsweise verfügen die neuen Geräte der TS/M30 Serie von Leica Geosystems über ein hochpräzises Winkel- und Distanzmesssystem. Um dessen volles Potenzial zu nutzen, lohnt es sich, den Reflektor korrekt an der Zielachse des Geräts auszurichten.

Bei 60° liegt der Fehler bereits bei über 2.5 mm.

Da der Prismenkörper symmetrisch ist, wirkt sich eine fehlerhafte vertikale Ausrichtung genauso aus wie eine fehlerhafte horizontale Ausrichtung.

Dem Anwender von Leica Geosystems Reflektoren wird die korrekte Ausrichtung leicht gemacht, doch die endgültige Verantwortung liegt letztlich beim Vermessungstechniker.



**Abbildung 18** - Tatsächliche und scheinbare Erkennung von Prismenmittelpunkten

## Original vs. Kopie

Die obigen Abschnitte beschreiben mehrere Faktoren, die zur hohen Qualität der Original- Vermessungsreflektoren von Leica Geosystems beitragen. Aufgrund ihrer bekannten Qualität werden diese Produkte von Leica Geosystems am Markt 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
Gewährleistung der Glasqualität
Überwachung des Schleifvorgangs
Zusätzliches Polieren für höhere Genauigkeit
Zusätzliche Kupfer-, Haft-, Schutzschicht
Spezieller Decklack gegen Umwelteinflüsse
Zusätzliche Antireflexbeschichtung
Überwachung des Montagevorgangs
Einhaltung nationaler Vorgaben und Vorschriften
Requalifikation anhand der technischen Spezifikationen in bestimmten Abständen
Feinabstimmung der Stative auf die Vermessungsgeräte für maximale Stabilität und Lebensdauer

Abbildung 19 – Fertigungsprozess der Leica Geosystems Originale vs. der Kopien

Deshalb werden die Leica Reflektoren oft kopiert. Mehrere Hersteller haben den Markt mit billigen Produktkopien überschwemmt, die den Qualitätsstandards von Leica Geosystems nicht entsprechen. Die rechte Spalte in Tabelle 19 enthält alle zur Herstellung eines echten Leica Prismas 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

Ziel dieses Weissbuches ist es, Vermessungsfachleuten die Grundlagen der weniger bekannten Details ihrer Messungen näherzubringen. Vermessungstechniker, die hochpräzise Distanzmessungen benötigen, können diesem Weissbuch die Einflüsse dieses Zubehörs auf die Genauigkeit ihrer Messungen und deren Größenordnungen entnehmen.

Um eine maximale Messgenauigkeit zu erzielen

- dieselben Prismentypen verwenden, damit unterschiedliche Zentrierfehler infolge verschiedener Reflektoren vermieden werden
- sicherstellen, dass - wenn nur Messungen auf kurze Entfernungen durchgeführt werden - ein Modell mit Antireflexbeschichtung verwendet wird
- ein Prisma verwenden, das zu Ihrem Vermessungsgerät passt
- die Reflektoroberflächen staubfrei halten, damit immer die maximale Signalmenge reflektiert wird

Die Vorzüge beim Einsatz der Vermessungsreflektoren von Leica Geosystems sind eine lange Lebensdauer sowie höchste Präzision und Zuverlässigkeit. Das Leica Geosystems Zubehör wird mit den Geräten von Leica Geosystems justiert. So können wir die höchste Leistung und Qualität unserer Messungen gewährleisten.

## Quelle

Dieses Weissbuch basiert auf der Diplomarbeit mit dem Titel "Analyse und Vergleich von Vermessungsreflektoren", die 2007/08 von Junyu Mao unter der Betreuung von Daniel Nindl (Leica Geosystems AG Heerbrugg) und Volker Schwieger vom Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB) der Universität Stuttgart verfasst wurde.

## Literaturhinweise

[Joeckel u. Stober 1999]

JOECKEL, Rainer und STOBBER, Manfred: Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung – Wittwer, 1999

[Mao 2008]

Mao, Junyu: Analyse und Vergleich von Vermessungsreflektoren – Diplomarbeit, Universität Stuttgart, 2008

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