

R. Höglund & P. Large,
Trimble Integrated
Surveying Group,
Westminster,
Colorado, USA

Direct Reflex – Reflektorlose EDM-Technologie für Vermesser und Bauingenieure

Die Direct Reflex-Messung, die reflektorlose elektromagnetische Streckenmessung, ist die wohl neueste, revolutionäre Technologie in der Vermessung. Direct Reflex (DR) ermöglicht Vermessern die präzise Messung unzugänglicher Punkte ohne die vorherige Positionierung eines Reflektors an dem jeweiligen Punkt. Damit bietet Direct Reflex völlig neue Möglichkeiten bei Ein-Personen-Vermessungen, sowie erhöhte Produktivität und verbesserte Sicherheit. Die Kombination aus Direct Reflex- und Robotic-Technologie erhöht die Anwendungsmöglichkeiten bei Ein-Personen-Vermessungen um ein Weiteres.

DR-Technologien: Laufzeitverfahren (Impulslaser) und Phasenvergleichsverfahren

Reflektorlose EDM-Messungen können entweder mit dem *Laufzeitverfahren (Impulslaser)* oder dem *Phasenvergleichsverfahren* durchgeführt werden. Das neue patentierte Laufzeitverfahren verwendet einen Impulslaser als Messgrundlage der DR200+- und DR300+-Technologie. Das Phasenvergleichsverfahren liegt der DR-Standard-Technologie zugrunde.

Wie in Abb. 1 veranschaulicht, sind die optischen Grundlagen beider Verfahren unterschiedlich. Beide haben bestimmte Vor- und Nachteile.

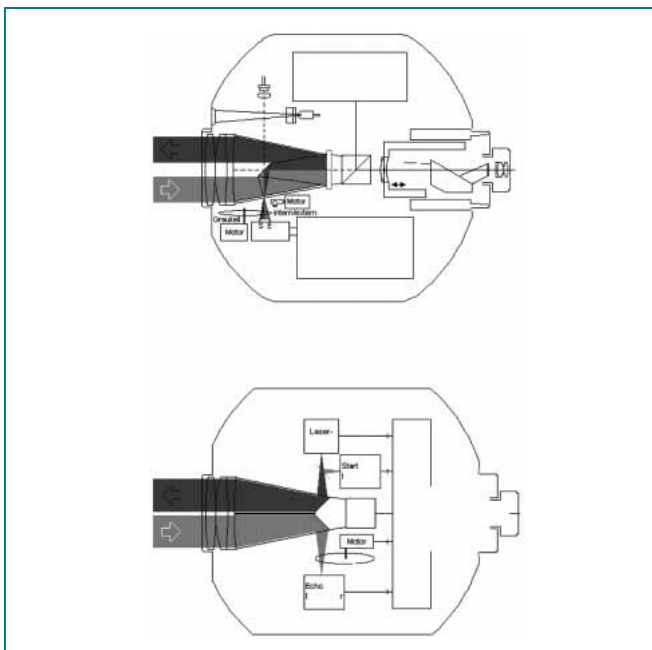


Abb. 1: Optische Grundlagen für EDM mit Phasenvergleichsmessung (oben) und Impulslaser (unten)

Phasenvergleichsmessung

Beim Phasenvergleichsverfahren wird ein Messsignal auf eine kontinuierliche Trägerphasenwelle moduliert. Das Verfahren ähnelt im Prinzip dem Aufmodulieren von Musik auf einen Träger bei Rundfunkübertragungen, mit dem Unterschied, dass die Trägerphase beim elektronischen Entfernungsmesser Lichtwellenlänge besitzt. Trotz der zwangsläufigen Abweichungen von ausgesendetem und empfangenem Signal misst das Instrument eine konstante Phasenverschiebung. Durch den Phasenvergleich wird nur die Phasenverschiebung ermittelt. Eine Phasenmehrdeutigkeit verhindert zunächst, dass die Gesamtstrecke direkt geschätzt wird. Diese Phasenmehrdeutigkeit wird unter Verwendung der Modulationswellenlänge von Mehrfachmessungen aufgelöst, was einen eindeutigen ganzzahligen Phasenwert ergibt. Wenn der ganzzahlige Wert bekannt ist, kann die Strecke zum Zielobjekt sehr genau bestimmt werden: bis zu $\pm(1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ bei DR-Messungen im Standardmessmodus mit Prisma, $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ohne Prisma.

Laufzeitmessung (Impulslaser)

Beim Laufzeitverfahren (Time of Flight – TOF) wird die Messzeit zur Berechnung der Entfernungsmessung präzise bestimmt.

Vereinfacht dargestellt erzeugt der elektronische Entfernungsmesser viele kurze Infrarot- oder Laserlichtimpulse, die zum Zielobjekt übertragen werden. Diese Impulse werden vom Ziel reflektiert und gelangen wieder zum Instrument zurück, dessen Elektronik für jeden Lichtimpuls die für diesen Weg benötigte Zeit (Laufzeit oder „Flugzeit“) ermittelt. Da die Lichtgeschwindigkeit durch das Übertragungsmedium Luft genauestens bestimmt werden kann, kann die Laufzeit zur exakten Berechnung der Strecke zwischen dem Instrument und dem Zielobjekt verwendet werden.

Obwohl mit dem Laufzeitverfahren in der Regel die größten Reichweiten erzielt werden, erfüllt sie dennoch die höchsten Normen für Arbeitssicherheit und den Schutz der Augen, da die einzelnen Intervalle zwischen den Laserimpulsen eine unter Umständen zu Verletzungen führende Strahlüberlagerung verhindern.

Jeder Impuls ist eine direkte Entfernungsmessung. Wenn Tausende von Impulsen in einer Sekunde während der Durchführung der Messung gesendet werden, kann daher relativ schnell ein guter Durchschnittswert ermittelt werden. Abb. 2 veranschaulicht die Messwertverteilung bei einem Trimble DR200+-Impulslaser. In der Regel werden 20 000 Impulslasermessungen pro Sekunde vorgenommen. Die Mittelung dieser Messungen ergibt einen genauen Streckenmesswert.

Im Vergleich zum EDM-Phasenvergleich kann bei konventionellen Impulslasermessungen die Genauigkeit verringert sein (bis zu 10 mm). Die Trimble DR200+- und DR300+-Serie verwendet jedoch ein neues patentiertes Signalverarbeitungsverfahren, mit dem sowohl eine große Reichweite, als auch eine hohe Genauigkeit erzielt wird: $3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$ beim DR200+, mit oder ohne Prisma. Beachten Sie bitte, dass das Fernrohr bei einigen konventionellen Impulslaser-EDM-Instrumenten vor der Streckenmessung fokussiert werden muss. Dies ist beim Trimble DR200+ nicht erforderlich.

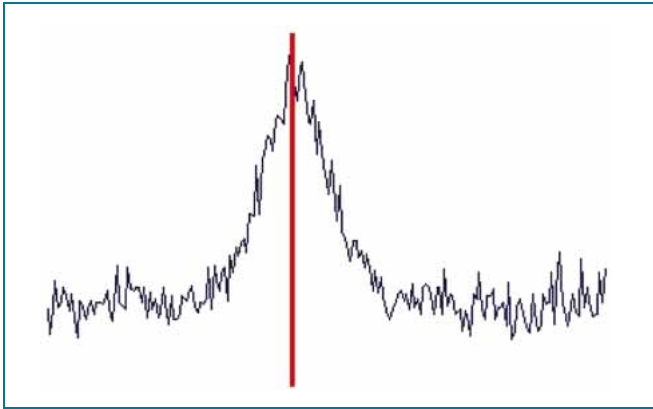


Abb. 2: Übertragung von TOF-Impulsen

Vergleich der beiden Verfahren

Kurz zusammengefasst verwendet das Laufzeitverfahren Lichtimpulse zur direkten Streckenmessung, während das Phasenvergleichsverfahren modulierte Licht zur Messung einer Phasenverschiebung benutzt, aus der sich nach Auflösung einer Phasenmehrdeutigkeit Strecken ergeben.

Die bei dem Laufzeitverfahren verwendeten Impulse können um ein Vielfaches stärker sein, als die bei einer Phasenvergleichsmessung verwendete Energie. Mit dem Laufzeitverfahren können daher wesentlich größere Reichweiten (mit oder ohne Prisma) gemessen werden.

Das herkömmliche Laufzeitverfahren ist in der Regel etwas ungenauer als das Phasenvergleichsverfahren. Mit Hilfe der zuvor beschriebenen modernen patentierten Trimble Signalverarbeitungsverfahren ist die Differenz jedoch äußerst minimal. Bei der reflektorlosen Messung von Zielobjekten entspricht die Differenz zwischen beiden Verfahren nur der Differenz zwischen $3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$ und $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Dies ergibt auf 100 m einen Unterschied von ungefähr 0,1 mm. Diese Differenz ist für viele praktische Anwendungen unerheblich. Der Vorteil der wesentlich größeren Reichweite des Laufzeitverfahrens macht es für viele Anwender höchst interessant.

Die physikalischen Eigenschaften des Lichts sorgen dafür, dass alle Lichtstrahlen streckenabhängig divergieren, siehe Abb. 3. Dies trifft sowohl auf die Laufzeit- als auch auf die Phasenvergleichsmessung zu, obwohl die Größe und Form der Strahldivergenz bei beiden Verfahren unterschiedlich ist (Strahlaufweitung abweichend von perfekter Kollimation), was zu einem unterschiedlichen Durchmesser des Laserpunkts führt. Diese unterschiedlichen Divergenzen haben ihre eigenen Vor- und Nachteile, die später in dieser Dokumentation noch genauer behandelt werden.

Die Laufzeit- und Phasenvergleichsverfahren unterscheiden sich zudem im Hinblick auf ihre Toleranz gegenüber Ziellinienunterbre-

chungen während der Messung, wie z. B. Unterbrechungen durch vorbeifahrende Fahrzeuge im Straßenverkehr. Da das Laufzeitverfahren direkte Impulse mit dem Trimble Signalverarbeitungsverfahren kombiniert, ist dieses Verfahren im Allgemeinen toleranter gegenüber solchen Ziellinienunterbrechungen als das Phasenvergleichsverfahren. Unterbrechungen während der Phasenvergleichsmessung können dazu führen, dass Phasenmehrdeutigkeiten neu berechnet werden müssen.

DR-Reichweite

Die Reichweite der unterschiedlichen EDM-Verfahren lässt sich problemlos vergleichen, wenn ein Prisma verwendet wird, da die Messoberfläche dann immer die gleiche ist. Wenn Sie unter Verwendung des Langstreckenmodus die Strecke zu einem Prisma messen, ist die Reichweite beim DR200+, DR300+ und DR-Standard mit 5500 m bzw. 5000 m im Prinzip gleich. Nicht alle elektronischen Entfernungsmesser mit Phasenvergleichsverfahren können jedoch über eine so große Entfernung zu einem Prisma messen, wie das DR-Standard-EDM. Prüfen Sie daher beim Vergleich der verschiedenen Instrumente auch alle Spezifikationen.

Kodak-Grau und Kodak-Weiß-Standards

Ein angemessener Vergleich der Reichweite ohne entsprechendes Prisma ist nicht ganz unproblematisch. Da DR-Messungen in der Praxis zu den unterschiedlichsten Oberflächen durchgeführt werden können, müssen die Messungen zu einer geeigneten Standardoberfläche wie zum Beispiel die neutrale Prüfkarte von Kodak (üblicherweise als Kodak-Graukarte bezeichnet) erfolgen, siehe Abb. 4.

Die Kodak-Graukarte ist seit vielen Jahren eine anerkannte Norm in der professionellen Photographie. Es handelt sich um eine Karte mit den typischen Abmessungen $4'' \cdot 5''$ oder $8'' \cdot 10''$, die ungefähr $1/8''$ dick ist, und eine graue und eine weiße Seite besitzt. Die graue Seite, bekannt als Kodak-Grau, reflektiert hierbei *genau 18 %* des einfallenden Weißlichtes. Die weiße Seite, Kodak-Weiß, reflektiert *genau 90 %* des einfallenden Weißlichtes. Da Kodak-Weiß stärker reflektiert als Kodak-Grau, ist es wichtig, dass entsprechend nur Messungen verglichen werden, die entweder zu Kodak Grau- oder zu Kodak Weiß-Oberflächen durchgeführt wurden, jedoch nicht Kodak-Grau mit Kodak-Weiß-Messungen.

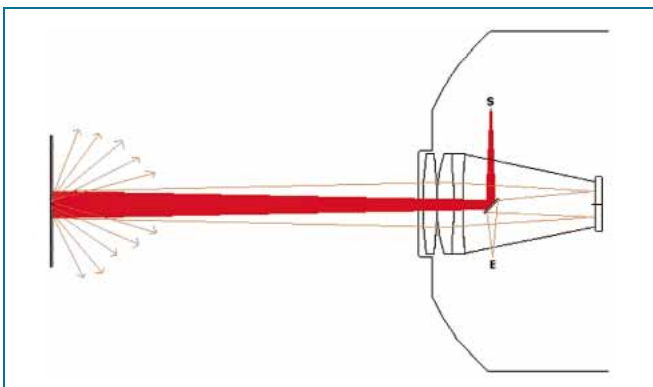


Abb. 3: Strahldivergenzeffekt



Abb. 4: Neutrale Prüfkarte von Kodak

In der Vermessung werden nicht immer einheitliche Standardoberflächen verwendet. Es ist daher sehr wichtig, sicherzustellen, dass bei allen Produktvergleichen Messungen verwendet werden, die zur gleichen Oberfläche durchgeführt wurden. Einige Spezifikationen geben zum Beispiel nur an, dass eine Kodak-Karte für den Test verwendet wurde, ohne festzulegen, ob die 18 % oder 90 % reflektierende Seite benutzt wurde.

Die korrekten Bezeichnungen für die beiden Seiten der Kodak-Graukarte sind „Kodak-Graukarte, 18 % Reflexion“ und „Kodak-Graukarte, 90 % Reflexion“. Die ursprüngliche Wahl eines 18 % reflektierenden Zielobjekts als Kodak-Norm für Photographen beruhte auf der Tatsache, dass die meisten zu photographierenden Alltagsszenen und -objekte einen durchschnittlichen Reflexionsgrad von 18 % besitzen. Dies ist auch der Grund dafür, warum die meisten Belichtungsmesser so geeicht sind, dass sie eine genaue Belichtung bei einem Reflexionsgrad von 18 % liefern. Das Gleiche gilt in der Regel auch für zu vermessende Gebiete und Objekte – 18 % Reflexion bietet einen guten Mittelwert.

In der Vermessungspraxis werden DR-Messungen zu zahlreichen alltäglichen Objekten durchgeführt, die in aller Regel aber nicht zu 90 % reflektieren. Aus diesem Grund ist die 18 % reflektierende Kodak-Grau-Norm der zuverlässigste Indikator für die Mindestreichweite, die bei alltäglichen Anwendungen erzielt werden kann. Die Reichweite mit der 90 % reflektierenden Kodak-Weiß-Norm gibt nur die maximale EDM-Reichweite bei einem *äußerst* vorteilhaften hochreflektierenden Zielobjekt an.

Reichweitenvergleiche

Die nachstehende Tabelle 1 enthält einen Vergleich der veröffentlichten Maximalreichweiten von Trimble DR200+, DR300+ und DR-Standard-Instrumenten bei Messungen zu unterschiedlichen Oberflächen.

Die Tabelle zeigt, dass das beim DR200+ verwendete Laufzeitverfahren das Phasenvergleichsverfahren im Hinblick auf die Reichweite um das Vier- bis Achtfache übertrifft. Das beim DR300+ verwendete Verfahren erzielt bei Messungen zu einer 90 % reflektierenden Oberfläche im Vergleich zum Phasenvergleichsverfahren eine fast zehnfache Reichweite.

Messungen auf nasse und nicht reflektierende Oberflächen und bei flachen Winkeln

Die höheren Energieniveaus des Laufzeitverfahrens liefern auch bei Messungen auf nasse Oberflächen eine größere Reichweite. In Feldtests wird beim Messen gegen eine nasse Oberfläche mit dem Laufzeitverfahren in der Regel die doppelte oder eine sogar noch größere Reichweite gegenüber dem Phasenvergleichsverfahren erreicht, vor allem bei schleifenden Schnitten. Mit dem DR300+ kann eine weitere Erhöhung der Reichweite erzielt werden.

Das Laufzeitverfahren erhöht außerdem die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Messung auf nichtreflektierende und schräge

Tab. 1: Reichweite des Trimble DR mit unterschiedlichen Zieloberflächen

Oberfläche	DR Standard	DR200+	DR300+
Kodak 90 %	> 70 m	> 600 m	> 800 m
Kodak 18 %	> 50 m	> 200 m	> 300 m
Beton	> 50 m	> 300 m	> 400 m
Holz	> 60 m	> 300 m	> 400 m
Helles Gestein	> 50 m	> 250 m	> 300 m
Dunkles Gestein	> 40 m	> 150 m	> 200 m

Oberflächen, wie z. B. nasse Straßen. In diesen Fällen ist die Messfähigkeit das Kriterium. Darüber hinaus ist die Messgeschwindigkeit des Laufzeitverfahrens beim Messen von Punkten im belebten Straßenverkehr hilfreich.

Mit dem Laufzeitverfahren können außerdem schmale Objekte, wie Kabel und Oberleitungen, erfolgreich gemessen werden. Hierbei ist das Kriterium wiederum einfach die Fähigkeit, messen zu können.

Laserschutzklassen

Trotz des höheren Energieniveaus des Laufzeitverfahrens erfüllen elektronische Entfernungsmesser, die dieses Verfahren verwenden, wie der DR200+ und DR300+, im Allgemeinen die höchsten Lasersicherheitsnormen und sind auch entsprechend klassifiziert. Dies gründet sich auf der Tatsache, dass die verwendeten Laserimpulse zwar leistungsstark genug sind, um über eine Reichweite von mehreren hundert Metern zu messen, aber von kurzer Dauer sind und der Laserstrahl keine Energie akkumuliert. Bei der kontinuierlichen Laserstrahlung, die teilweise zur Erhöhung der Reichweite von elektronischen Entfernungsmessern mit Phasenvergleich verwendet wird, kann es zu einer unter Umständen gefährlichen Energieakkumulation kommen.

Die für die meisten Vermessungsinstrumente relevanten Laserklassen sind Klasse 1, Klasse 2 und Klasse 3R.

Laser der Klasse 1

Laser der Klasse 1, zu denen der Trimble DR200+ und DR300+ gehören, sind nicht sichtbare Laser, die die höchsten Sicherheitsnormen erfüllen: Es ist hierbei mehr als unwahrscheinlich, dass direkter Haut- oder Augenkontakt mit dem Messstrahl zu Gesundheitsschäden führt. Laser der Klasse 1 führen zudem zu keiner Gefährdung, wenn der Laserstrahl z. B. auf ein anderes Vermessungsinstrument ausgerichtet ist. Die Norm DIN EN 60825-1 spezifiziert hier Laser, die unter vernünftigerweise vorhersehbaren Betriebsbedingungen, einschließlich des direkten Augenkontakts mit dem Strahl, ungefährlich sind. Sicherheitsvorkehrungen sind hierbei nicht erforderlich.

Laser der Klasse 2

Laser der Klasse 2 senden sichtbare Laserstrahlung aus, die für das nackte Auge schädlich sein kann, wenn man direkt in den Laserstrahl starrt. Benutzer müssen auch besonders darauf achten, mit optischen Instrumenten wie Ferngläsern oder Vermessungsinstrumenten nicht direkt in den Laserstrahl zu starren.

Laser der Klasse 2 sind im Allgemeinen bei der Verwendung in der Öffentlichkeit ungefährlich, ohne dass, abgesehen von der Vermeidung des direkten Augenkontakts mit dem Laserstrahl, spezielle Vorsichtsmaßnahmen erforderlich sind.

Für Laser dieser Klasse sind gemäß der Vorschriften ebenfalls keine Warnschilder, akustischen Warnsignale oder spezielle Personalschulungen erforderlich.

Der Trimble DR-Standard fällt, ebenso wie der sichtbare Punktlaser der 5600-Serie, in die Laserklasse 2. Viele gewöhnliche Handlasergeräte, wie Laserpointer für Präsentationen im Taschenformat, gehören ebenfalls zur Klasse 2.

Laser der Klasse 3R

Die Reichweite eines elektronischen Entfernungsmessers mit Phasenvergleich kann erhöht werden, indem die Leistung der Lichtquelle gesteigert wird – in der Regel von unter 1 mW auf über 4 mW. Das leistungsstärkere, kontinuierlich ausgesendete Laserlicht erhöht je-

doch die vom Laserstrahl ausgehenden Gesundheits- und Sicherheitsgefährdungen erheblich. Damit wird der Laser als Laser der Klasse 3R klassifiziert. Diese Klasse ist allerdings kein Ersatz für die früher gebräuchliche Laserschutzklasse 3A.

Die internationale Norm DIN EN 60825-1 legt die zusätzlichen Vorsichtsmaßnahmen zur Verwendung von Lasereinrichtungen der Klasse 3R speziell für Vermessungsarbeiten fest. Nachfolgend eine Zusammenfassung:

SCHUTZMASSNAHMEN BEI DER BENUTZUNG VON LASEREINRICHTUNGEN DER KLASSE 3R ZUM ZWECK DER VERMESSUNG, AUSRICHTUNG UND NIVELLIERUNG

Es sollten ausschließlich qualifizierte und geschulte Personen mit dem Aufbau, der Justierung und dem Betrieb der Lasereinrichtung beauftragt werden. Die Bereiche, in denen diese Laser verwendet werden, sollten mit einem entsprechenden Laserwarnschild gekennzeichnet sein. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass eine unbeabsichtigte Rückstrahlung vermieden wird. Die Ausrichtung des Lasers, und damit des Fernrohrs, sollte möglichst aus sicherer Entfernung oder ferngesteuert vorgenommen werden. Entsprechende Vorkehrungen müssen getroffen werden, dass niemand in den Strahl blicken kann, da dies nachhaltig gefährlich sein kann. Unter Umständen muss zuerst der Laserschutzbeauftragte dem Betrieb des Lasers zustimmen. Der Auftreffpunkt des Lasers muss so abgesichert werden, dass sich der Laserstrahl von diesem Punkt aus nicht weiter fortsetzt. Generell soll der Laserstrahl weit über- oder unterhalb der Augenhöhe verlaufen. Es sollten Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um sicherzustellen, dass der Laserstrahl nicht unabsichtlich auf spiegelnde Oberflächen gerichtet wird. Letztlich sind unbenutzte Laser dieser Klasse zu verschließen und Dritten nicht zugänglich zu machen.

Die für den Einsatz solcher Laser relevanten Unfallverhütungsvorschriften gehen sogar noch weiter und schreiben z. B. vor, dass: *Für Vorführungen, Displays und Ausstellungen nur Lasereinrichtungen der Klasse 1 oder 2 verwendet werden. Ein derartiges System sollte nur von Personen bedient werden, die auf einem entsprechenden Niveau geschult wurden. Die Schulung sollte Folgendes beinhalten: Einarbeitung in die Systembedienung, sachgerechte Nutzung von Gefahrenabwehrmaßnahmen, Verwendung der Warnschilder, usw., die Notwendigkeit von Personenschutz, Unfallanzeigeverfahren und biologische Auswirkungen des Lasers auf Auge und Haut. Ferner sollen, wenn der Laser eingeschaltet ist, entsprechende akustische oder optische Warnsignale auf bestehende Gefahren hinweisen.* Angesichts dieser Vorsichtsmaßnahmen kann die Verwendung von Lasern der Klasse 3R wohl nur bedingt in Bergwerken oder unter Laborbedingungen zweckmäßig sein, jedoch nicht in offenen und öffentlichen Bereichen, wo üblicherweise die meisten Vermessungen stattfinden.

Bei der Überprüfung entsprechender technischer Spezifikationen ist es daher auch wichtig, nur vergleichbare Laserklassen (Klasse 1 oder 2) zu vergleichen und die Vorschriften und Verpflichtungen des Anwenders für andere Laserklassen wie 3R vollständig zu verstehen.

Trimble-Instrumente enthalten keine Laser der Klasse 3R.

Messzeit

Beim Vergleich der Reichweiten von DR-Entfernungsmessern ist es wichtig, auch die Messzeiten zu vergleichen, da die zur Messung benötigte Zeit die Produktivität beeinflusst. Bei größeren Entfernungen ist das Laufzeitverfahren im Allgemeinen wesentlich schneller als das Phasenvergleichsverfahren, da sich bei Letzterem in der Regel die Messzeit in Abhängigkeit von der Streckenlänge erhöht. Die Messzeiten für DR-Phasenvergleichs-EDMs werden oft als Messzeiten für kurze Distanzen angegeben, plus Zuschläge für weitere Entfernungsbereiche.

Beim DR-Standard (Phasenvergleichs-EDM) z. B. beträgt die Messzeit im Verfolgungsmodus 0,8 Sekunden über die ersten 30 m plus einer Sekunde pro zusätzliche 10 m. Dies ist bei 100 m 7,8 Sekunden. Die typische Messzeit für den TOF DR200+ und DR300+ be-

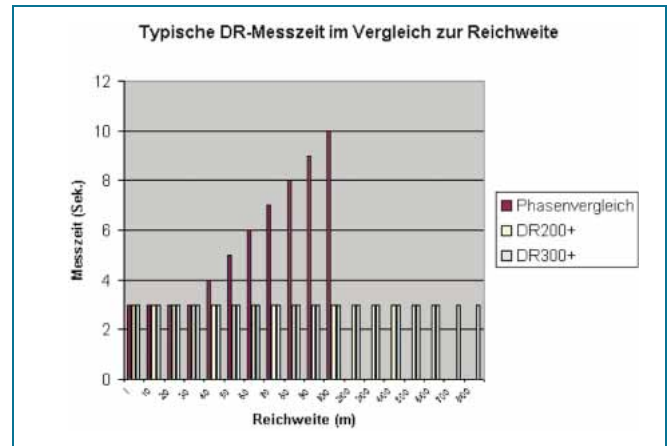


Abb. 5: Typische reichweitenabhängige Messzeiten

trägt 3 Sekunden. Sie variiert abhängig von der jeweiligen Oberfläche, zu der gemessen wird. Nach der ersten Messung erfolgt im Trackingmodus eine Aktualisierung alle 0,4 Sekunden. Um eine höhere Messgenauigkeit zu erzielen, ist bei beiden Verfahren eine längere Zeit erforderlich. Beim Laufzeitverfahren erhöht sich die Messzeit jedoch nicht in Abhängigkeit von der Reichweite. Dieser Punkt ist wichtig, da eine kürzere Messzeit bei beliebiger Entfernung die Produktivität bei der Arbeit erheblich steigert.

Abb. 5 zeigt typische reichweitenabhängige Messzeiten bei Trimble DR200+/DR300+-Instrumenten und DR-Phasenvergleichsentfernungsmessern.

Die Abbildung zeigt, dass das TOF-Impulsverfahren in der Regel vielmal schneller ist als der Impulsverfahren bei den Maximalreichweiten des Phasenvergleichsinstruments. Größere Entfernungen können nicht verglichen werden, da sie außerhalb der Reichweite von DR-Entfernungsmessern mit Phasenvergleich liegen.

Strahldivergenz und Genauigkeit

Mit zunehmender Entfernung von der Strahlungsquelle erfolgt eine Aufweitung des Messstrahls, wie in Abb. 3 veranschaulicht. Die Divergenz bei einem TOF-Impulsverfahren unterscheidet sich von der eines kontinuierlichen Phasenvergleichsinstruments. Mit dem Austritt des Laserstrahls aus dem Instrument ist der Durchmesser des Messstrahls beim Impulsverfahren geringfügig größer als beim Phasenvergleich. Da der Impulsverfahren in der Regel eine zwei- bis dreimal größere Reichweite hat als beim EDM-Phasenvergleich, kann sich der Durchmesser des Laserpunkts auf große Entfernung auf ungefähr 4 cm erhöhen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Messgenauigkeit des jeweiligen Verfahrens auf 4 cm herabgesetzt wird. Die Genauigkeit bleibt wie angegeben bei 3 mm + 2 ppm für DR-Standard und 3 mm + 3 ppm für DR200+/DR300+. Es bedeutet lediglich, dass der für die Messung abgetastete Bereich diese Größe besitzt.

Ein größerer oder kleinerer Durchmesser des Messstrahls bzw. ein größerer oder kleinerer Durchmesser des Laserpunkts kann sowohl Vor- als auch Nachteile haben. Ein größerer Durchmesser des Laserpunkts ist bei größeren Entfernungen vorteilhafter, da kleinere Objekte, insbesondere Oberleitungen und Antennen, erfasst und gemessen werden können. Bei einem kleineren Durchmesser werden diese unter Umständen nicht erfasst. Da sich der Hochenergieimpuls über einen weiteren Bereich ausbreiten kann, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein schmales Zielobjekt erfasst wird, und die Messung dennoch sehr genau ist.

Der kleinere Laserpunktdurchmesser beim elektronischen Entfernungsmesser mit Phasenvergleich hat Vorteile, wenn viele Ecken und Kanten auf sehr geringe Entfernung angemessen werden, wie bei Vermessungen im Gebäudeinneren, oder wenn quasi durch „Schlüssellocher“ gemessen werden muss. Obwohl bestimmte Feh-

ler mit einem kleineren Laserpunktdurchmesser verringert werden, muss dennoch erwähnt werden, dass in diesen Fällen weiterhin Fehler vorhanden sind. Die genaueste Lösung beim Messen von Ecken ist die Umgehung des Problems durch die Verwendung integrierter Anwendungsprogramme. Dazu gehören z. B. Programme, mit denen der Benutzer Winkel- und Streckenmessungen zu zwei Punkten an einer angrenzenden Wand durchführen und dann präzise den horizontalen und vertikalen Winkel zur Ecke oder zur Kante messen kann, siehe Abb. 6. Diese Methode funktioniert sowohl bei DR-Entfernungsmessern mit Laufzeitmessung als auch mit Phasenvergleich. Damit kann für den Punkt eine genauere Position bestimmt werden, als dies mit einer direkten Messung unter Verwendung einer DR-Technologie möglich ist. (Da sowohl der elektronische TOF-Entfernungsmesser als auch der Entfernungsmesser mit Phasenvergleich eine Strahldivergenz aufweisen, treten bei beiden Verfahren Ungenauigkeiten auf, wenn eine direkte Messung zu einer Ecke oder einer Kante durchgeführt wird).

Die Strahldivergenz spielt darüber hinaus eine Rolle, wenn Oberflächen mit der TOF DR-Technologie mit schleifenden Schnitten gemessen werden. Sie beeinflusst die Messungen, kann jedoch bei Trimble-Instrumenten mit Hilfe einer weiteren integrierten Anwendung durch Messung in zwei Fernrohrlagen eliminiert werden. Abweichungen infolge des schleifenden Schnittes werden durch das Mittel aus beiden Lagen eliminiert.

Feldtests

Bei der Bewertung der DR-Technologien können die Anwender die Leistung der Technologien und Gültigkeit der Behauptungen der jeweiligen Hersteller sehr einfach überprüfen.

Wählen Sie zur Überprüfung der Reichweite einfach einige bis zu 600 m entfernte Objekte oder Oberflächen und ermitteln Sie, welche mit Hilfe der verschiedenen DR-Optionen angemessen werden können.

Zur einfachen Überprüfung der Auswirkungen von Strahldivergenz und Genauigkeit nehmen Sie ein Objekt, dessen Abmessungen einfach gemessen werden können, z. B. einen Bleistift. Halten Sie den Bleistift in beliebiger Entfernung gegen eine Wand und messen Sie die Strecke. Entfernen Sie dann den Bleistift und messen Sie zur Wand. Vergleichen Sie dann die Differenz zwischen den beiden Strecken mit der bekannten Differenz, die der Dicke des Bleistifts entspricht. Unter Verwendung einer der DR-Technologien ist die Differenz unabhängig vom Laserpunktdurchmesser sichtbar. In einem weiteren Test können Sie versuchen, mit unterschiedlichen Reichweiten zu Oberleitungen und Telefonkabeln zu messen.

Überprüfen Sie die Toleranz gegenüber Unterbrechungen des Laserstrahls, indem Sie DR-Messungen zu Objekten auf der gegenüberliegenden Seite einer vielbefahrenen Straße durchführen.

Überprüfen Sie die Genauigkeit zu bekannten Punkten und stellen Sie sicher, dass Sie die typischen Messzeiten bei unterschiedlichen Entfernungen vergleichen: Wenn Hunderte von Punkten pro Tag vermessen werden, haben Messzeiten einen erheblichen Einfluss auf die Tagesleistung.

Schlussfolgerungen

Direct Reflex-Messungen bieten deutliche Vorteile im Hinblick auf Produktivität und Sicherheit. Unzugängliche Punkte und Bereiche können jetzt problemlos angemessen werden. Die Vermesser können Steilhänge, Dämme, Felsen, Grubenwände und belebte Verkehrsbereiche jederzeit ohne Sicherheitsrisiken aufnehmen. Mit dieser Technologie können Vermessungen von Baufassaden sehr schnell von einem Ein-Personen-Messtrupp durchgeführt werden, wodurch die Kosten erheblich reduziert werden. Die Möglichkeit zur Durchführung reflektorloser Messungen im Straßen- und Schienenverkehr verringert zudem Verkehrsunterbrechungen und erhöht die Sicherheit.

Die beiden Verfahren, die diese Technologie ermöglichen – das Phasenvergleichs- und das Laufzeitverfahren – wurden gemeinsam mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen vorgestellt. Es wurden zudem typische unterstützende Anwendungen beschrieben.

Das bei der Trimble DR-Standard-Technologie verwendete Phasenvergleichsverfahren ist die DR-Einstiegslösung, die bei den Totalstationen der 3000-, 3600- und 5600-Serie zur Verfügung steht. Der DR-Standard bietet zudem einen koaxial angeordneten Laserpointer, der besonders bei Anwendungen für die Grubenvermessung und den Tunnelbau nützlich ist. Der DR-Standard ist darüber hinaus ideal für Vermessungen in Gebäuden geeignet, wo die größere Reichweite des DR200+ und DR300+ nicht benötigt wird. Dies sind Anwendungen, bei denen die DR-Standardoption empfehlenswert ist. Das Laufzeit- oder Impulslaserverfahren, das bei DR200+-Instrumenten zum Einsatz kommt, bietet im DR-Modus eine erhöhte Genauigkeit von $\pm (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$ und erzielt in der Regel die zweibis dreifache Reichweite des Phasenvergleichsverfahrens.

Der DR200+ wird daher als das zweckmäßigste Instrument für Anwendungen empfohlen, bei denen die allgemein größere Reichweite und die Fähigkeit, auch bei nassen Bedingungen und bei flachen Winkeln über größere Entfernungen zu messen, von Vorteil ist.

Gleichzeitig bietet dieses Instrument u. a. die Möglichkeit, sowohl die Elta®-Kontrolleinheit mit der bewährten Zeiss-Software oder die Geodimeter®-Kontrolleinheit und die Trimble ACU- und TSCe™-Controller als Bedieneinheit zu verwenden.

Der DR300+ bietet Vermessern die derzeit größte Reichweite. Er erzielt in der Regel die bis zu sechsfache Reichweite eines DR-Entfernungsmessers mit Phasenvergleich, ohne die Genauigkeit oder Messzeit zu beeinträchtigen. Diese Spitzenoption wird für Außenanwendungen empfohlen, bei denen DR-Messungen über große Entfernungen zwischen 150 m und 800 m erforderlich sind, um die Anzahl der Instrumentaufstellungen zu minimieren und somit die Produktivität zu erhöhen.

Mit den DR-Standard-Funktionen der Trimble 3300-, 3600- und 5600-Serie und den Impulslaserfunktionen der Trimble 5600 DR200+- und DR300+-Serie bietet Trimble Vermessern die umfangreichste Palette von reflektorlosen Streckenmesslösungen, die heute auf dem Markt erhältlich ist. Unter Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den vorstehend beschriebenen Messverfahren können Anwender eine sachkundige Wahl im Hinblick auf die für ihre Anwendung am besten geeignete Option treffen.