



# Die Trimble S6 Totalstation

## Neue Technologien in der Tachymeterentwicklung

Martin Köhler

**Produktivität erzielt man durch die leistungsstarke Interaktion von Technik, ergonomischen Bedienelementen und leistungsfähiger Software. Die Trimble S6 Totalstationsserie setzt Maßstäbe mit neuen Technologien. Dabei sind MagDrive™, SurePoint™ und MultiTrack™ die drei wichtigsten Funktionen. Mit MagDrive™ wird die Antriebstechnik in Tachymetern revolutioniert: ein elektromagnetischer Direktantrieb für hohe Drehgeschwindigkeiten und dabei leise, verschleißarm und Strom sparend. SurePoint™ ist ein Qualitätsmanagementtool, das im Hintergrund die Totalstation überwacht und die Genauigkeit und Zuverlässigkeit sicherstellt. Mit MultiTrack™ ist die Fähigkeit zur automatischen Zielerkennung von Prismen, zur eindeutigen Identifizierung, automatischen Einstellung und schnellen sowie direkten Verfolgung umfassend gelöst.**

### 1 Einleitung

Im Frühjahr 2005 wurde die neue Trimble S6 Totalstation in Deutschland vorgestellt. Diese neue Tachymetergeneration ist nicht als eine Fortentwicklung einer der älteren Instrumentenreihen entstanden, sondern es handelt sich um eine komplette und konsequente Neuentwicklung, in die Erfahrungen aus allen Trimble-Entwicklungszentren eingeflossen sind. Anforderungen des Marktes an eine moderne Totalstationsserie wurden mit fortschrittlichen Technologien verwirklicht. Die Trimble S6 Totalstation bildet damit eine Basis für weitere Entwicklungen im Segment optischer Totalstationen.

### 2 Kurze Beschreibung des Systems

Die Trimble S6 Totalstation ist ein Instrument, das bei der Feldarbeit durch die Integration von Tachymeterfunk und Batterie keine lästigen Kabelverbindungen benötigt. Eine interne Lithium-Ionen Batterie versorgt das Instrument im Robotic-Modus für 6 Stunden mit Strom. Durch Nutzung der „Smart-Battery“-Technologie kann die verbleibende

Batteriekapazität an einer entsprechenden LED-Anzeige abgelesen und eine lange Batterielebensdauer garantiert werden.

Störungen im Funkbetrieb durch Interferenzen mit weiteren Funkstellen sind für die Arbeit im Robotic-Betrieb äußerst lästig. Daher wird bei der Trimble S6 Totalstation im 2.4 GHz-Bereich mit der SSFH Funktechnologie (SSFH = Spread-Spectrum Frequency-Hopping) gearbeitet. Die „Spread-Spectrum“ Technologie erlaubt es Funkgeräten, sehr schnell während des Sendens und Empfangens zwischen verschiedenen Kanälen zu wechseln. Dieses Verfahren wird „Frequency Hopping“ genannt, eine Technik, bei der nur für kurze Zeit auf einer bestimmten Frequenz gesendet wird. Stattdessen erfolgen sehr schnelle Frequenzwechsel nach einer vordefinierten Sequenz – synchronisiert für das Funkgerätepaar. Durch diese schnellen Frequenzwechsel werden Funkinterferenzen deutlich reduziert, auch wenn in Umgebungen mit regem Funkbetrieb gearbeitet wird.

Für die Trimble S6 Totalstation wurde eine neue, kleine und leichte Bedieneinheit entwickelt, die „Trimble Control Unit“ (TCU). Die TCU ist abnehmbar, kann also sowohl am Instrument als auch separat in einer neuen Halterung am Robotic-Stab betrieben werden (Abb. 2 und 16). In dieser Halterung sind – wie schon im Instrument – Funk und Batterie integriert, so dass sich auch am Stab eine kabellose Lösung mit einer Batteriebetriebszeit von



Abb. 1: Trimble S6 Totalstation

ca. 12 Stunden ergibt. Rundum-Prisma und Target-ID, eine Einheit zur Zielidentifizierung, komplettieren den kompakten, leichten Robotic-Stab.

Das schon über viele Jahre verfolgte Konzept der Ausbauvarianten Servo, Autolock und Robotic wird natürlich auch mit der Trimble S6 Station fortgeführt. Alle Varianten sind motorisch unterstützt:

- Im Servobetrieb führt der Beobachter die Zielungen durch.
- Im Autolockbetrieb wird ihm die Zieleinstellung durch den Tracker abgenommen, der das Ziel selbständig einstellt und verfolgt.
- Beim Robotic-Betrieb wird das Tachymeter vom Ziel aus über den Tachymeterfunk gesteuert, während der Tracker auch hier die Zielverfolgung und -einstellung übernimmt.

Ungewöhnlich, aber extrem praktisch ist der exzentrische Handgriff, der auch sehr steile Visuren und sogar Zenitzielungen erlaubt, ohne dass zuvor der Handgriff abgebaut werden muss. Steilsichtprisma und Zenitokular sind als Zubehör erhältlich. Insbesondere bei Steilsichten wird der neue Servofokus sich als sehr hilfreich erweisen. Der Servoknopf für die motorisch unterstützte Fokussierung und die Feintriebe für den Magnetantrieb sind ergonomisch optimal auf der rechten Tachymeterseite angeordnet (Abb. 1), so dass alle Bedienvorgänge mit einer Hand ohne Umgreifen ausgeführt werden können.

Mit dem Display und den Tasten in der zweiten Fernrohrlage können vor dem Start einer Robotic-Messung die Kalibrierungsroutinen wie Horizontierung, Justierung und Funkkanaleinstellung etc. auch ohne TCU am Instrument durchgeführt werden. Während einer Servo- oder Autolockmessung mit TCU werden im 2. Lage-Display die aktuellen Messdaten angezeigt. Neben dem Display ist auch das optische Lot im drehbaren Oberteil eingebaut.

Die in Zusammenarbeit mit Carl Zeiss entwickelte Qualitätsoptik integriert im Fernrohr koaxial die Strahlengänge für Entfernungsmesser, Laserpointer und Tracker mit Target-ID. Der Kunde hat die Wahl zwischen einem Impuls-

distanzmesser, welcher auch reflektorlose Messungen auf außergewöhnlich große Reichweiten möglich macht, und einem Phasendistanzmesser mit Vorteilen z.B. bei der reflektorlosen Vermessung von Innenräumen. Weiterhin arbeiten Trimble Entfernungsmesser und alle weiteren Lichtquellen (Tracker, Laserpointer, Target-ID, Tracklight) nur mit den augensicheren Laserklassen 1 und 2. Mit der Wahl der Genauigkeitsklassen für die Winkelmessung, der Wahl zwischen den Entfernungsmesservarianten und der Entscheidung für eine der o.a. Ausbauvarianten kann sich der Benutzer ein für seine Anwendungen optimales System zusammenstellen.

Auf drei neue Technologien in der Trimble S6 Totalstation soll im Folgenden ausführlich eingegangen werden: MagDrive, SurePoint und MultiTrack.

### 3 MagDrive

Die Grundlagen der MagDrive Technologie basieren auf dem Prinzip des Magnetbahnantriebs durch magnetische Induktion (siehe auch <http://www.transrapid.de/cgi-tdb/de/basics.prg> ). Dieses Antriebssystem hat den Vorteil, dass es keine beweglichen Teile wie Getriebe oder Räder erfordert; das magnetische Feld allein hebt den Zug vom Gleis ab und bewegt ihn, wobei die Geschwindigkeit über die Änderung der Stromstärke und die Bewegungsrichtung durch die Änderung der Fließrichtung des Stroms gesteuert wird.

Abb. 3 zeigt die prinzipielle Realisierung dieses Direktantriebes in der Trimble S6 Totalstation. Die Permanentmagnete sind in 2 konzentrischen Ringen mit einem Abstand von ca. 5 mm auf einem Magnethalter angeordnet, der mit den Spiegel- und Teilkreisen eine feste Einheit bildet. Der Spulenring steht senkrecht auf der Winkelplatine und ist in der Lücke zwischen den Permanentmagnetreihen platziert. Magnethalter und Spulenring sind gegeneinander frei beweglich, so dass die magnetische Induktion ohne ein Getriebe mit Anziehung und Abstoßung die gegensei-



*Abb. 2:  
Batterie und Funk integriert im Instrument und in der Robotic-Halterung*

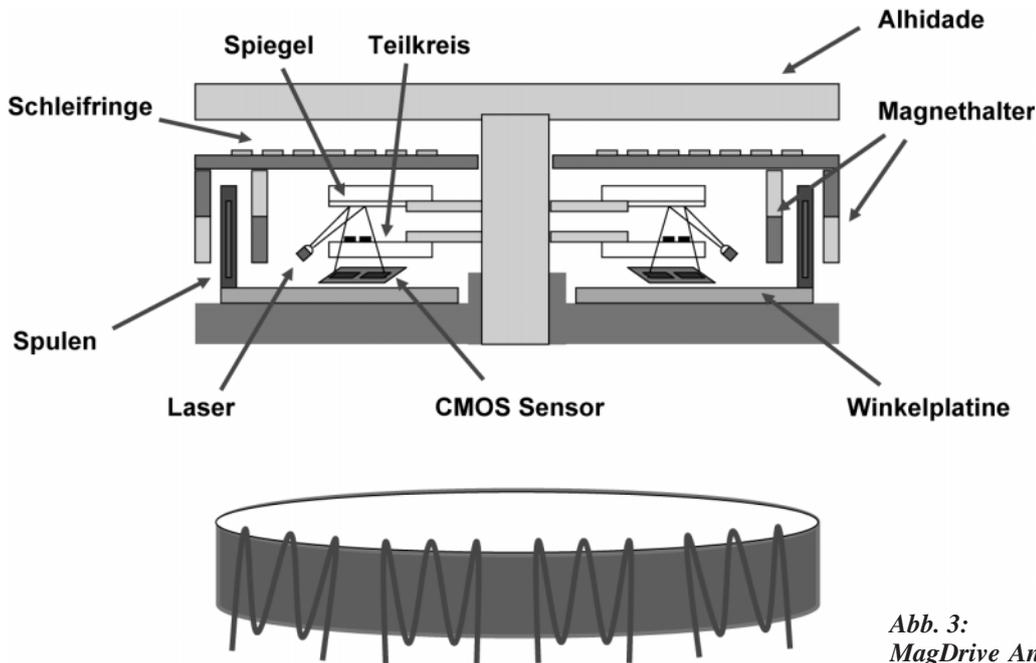


Abb. 3: MagDrive Antrieb und Winkelmesssystem

tige Drehung erzeugen kann. Ein solcher Direktantrieb zeichnet sich dadurch aus, dass er leise, verschleiß- und wartungsarm und letztlich Strom sparend ist.

Tatsächlich sind in dem Spulenring mehrere separate Spulen angeordnet. Stromrichtung und Stromstärke können in den einzelnen Spulen getrennt gesteuert werden, wodurch die verschiedenen Bedienweisen eines Tachymeters optimal unterstützt werden können:

- Friction Mode: Das Instrument kann manuell frei gedreht und das Fernrohr geneigt werden, wobei durch die Art des Antriebs keine Reibung oder Behinderung durch ein dazwischen geschaltetes Getriebe entsteht.
- Driving Mode: Sehr schnelle Drehungen bei der automatischen Ansteuerung oder sehr feine Bewegungen bei manuellem Antrieb über die Feintriebe.
- Holding Mode: Das Instrument stellt sicher, dass einmal eingestellte Winkel gehalten werden. Im Kapitel 4 wird auf diesen Prozess noch näher eingegangen. An dieser Stelle sei nur gesagt, dass dafür eine sehr empfindliche Steuerung über unterschiedliche Stromrichtungen und schnell wechselnde Stromstärken in den verschiedenen Spulen notwendig ist.

Eine Umschaltung des Benutzers zwischen diesen Betriebszuständen ist nicht notwendig. Das Instrument erkennt auf intelligente Weise allein, welche Bedienweise gerade betrieben wird. Die Logik ist dabei getrennt nach Hz und V, so dass der Hz-Wert im Holding-Mode gehalten werden kann, während das Fernrohr manuell im Friction Mode geneigt wird.

### 3.1 Winkelmessung

Eine Laserdiode dient als Beleuchtung für die Winkelsensorik (Abb. 3). Das Licht wird an einem Spiegelkreis reflektiert, durchleuchtet den Glaskreis und bildet die beiden Codespuren – einen absoluten Grobcode und einen

inkrementellen Feincode – auf einem CMOS Flächensensor ab. Diametrale Abgriffe eliminieren Exzentrizitätsfehler der Alhidade.

Die Einheit aus Magnethalter, Teilkreis und Spule ist generell identisch für den Hz- wie für den V-Antrieb. Unterschiedlich ist nur, welcher Teil festgehalten wird und welcher Teil beweglich ist (Abb. 4). Auch beim Aufbau der

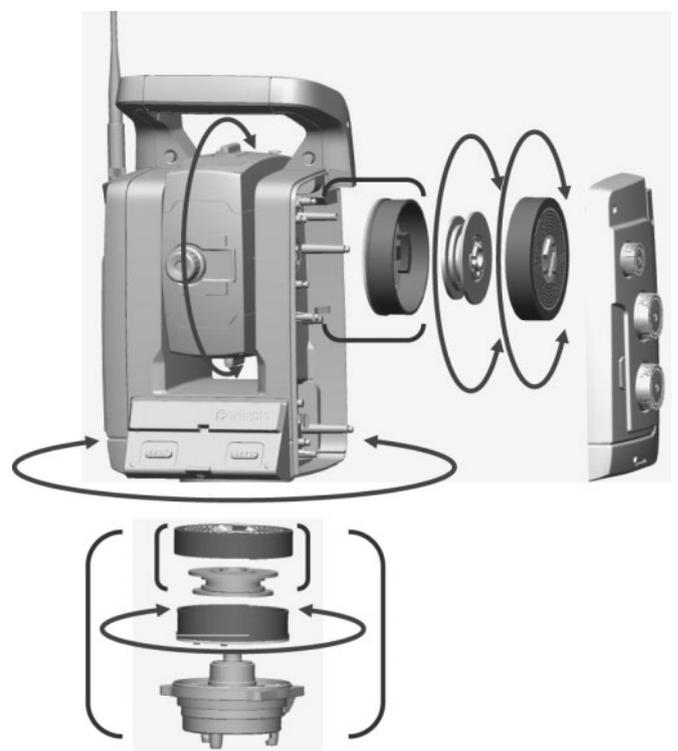


Abb. 4: MagDrive Anordnung in Stehachse und Kippachse

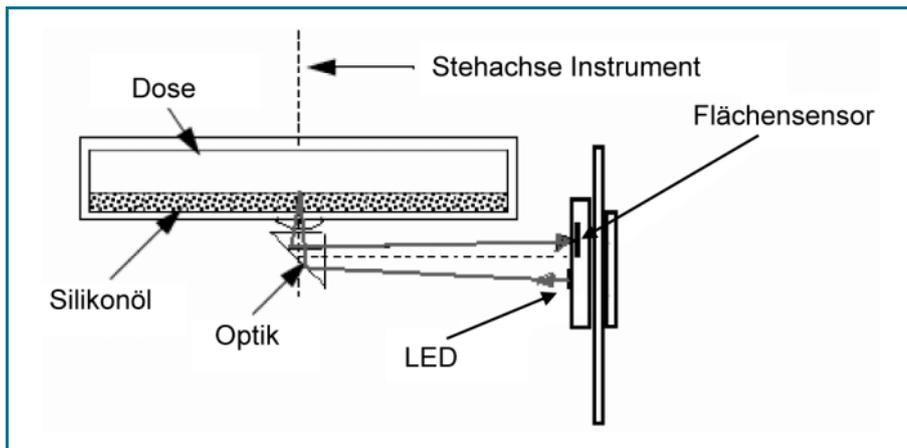


Abb. 5: Kompensator

Trimble S6 Totalstation folgt man dem traditionellen Prinzip, dass der Hz-Kreis festgehalten wird, während sich die Alhidade mit der Ableseeinrichtung dreht. Magnethalter und Teilkreis sind also fest mit der Basis verbunden, während sich Spulenring und Ableseeinrichtung mit der Alhidade bewegen. In der Kippachsordnung drehen sich Kreis und Magnethalter mit dem Fernrohr, während Spulen und Winkelsensorik fest am Gehäuse fixiert sind.

### 3.2 Kompensator

Der Kompensator ist exakt in der Stehachse angeordnet, um die Empfindlichkeit gegen Vibrationen und Rotationen zu minimieren. Das Kompensatorprinzip ist bewährt (Abb. 5): In einer gekapselten Dose befindet sich ein Silikonöl, dessen Oberfläche sich senkrecht zur Schwerkraftrichtung einstellt. Eine LED sendet einen Lichtstrahl aus, der über ein Prisma und eine Optik von unten gegen die Oberfläche des Öls gelenkt wird. Der Strahl wird an der Oberfläche reflektiert, entsprechend der Neigung der Stehachse abgelenkt und auf einem CMOS Flächensensor abgebildet. Aus der detektierten Position können die Neigungen in Kippachs- und Zielachsrichtung abgeleitet werden.

Neu gegenüber älteren Kompensatorlösungen ist, dass beide Neigungskomponenten gemeinsam erfasst werden, und Sende- und Empfangseinheit auf einer Platine platziert sind. Dies sichert eine sehr hohe Stabilität der Kompensatoreinheit. Gute Ablaufeigenschaften im mit  $\pm 6'$  großen Arbeitsbereich, hohe Genauigkeit und Auflösung sind weitere positive Eigenschaften des neuen Kompensators in der Trimble S6 Totalstation.

## 4 SurePoint

Die Bestimmung von Instrumentenfehlern durch entsprechende Justierprogramme, die Ermittlung der Aufstellfehler durch Kompensatoren und die Korrektur der Winkelablesungen sind seit langem wichtige funktionale Bestandteile in Tachymetern, natürlich auch in der Trimble S6 Totalstation. Aufsetzend auf diese Korrekturen werden aber noch weitere Funktionen unter dem Namen SurePoint bereitgestellt.

SurePoint ist ein im Hintergrund arbeitendes Qualitätsmanagementtool. Es sorgt durch Zielpunktkorrekturen unauffällig und permanent dafür, dass das Tachymeter uneinträchtig von äußeren Einflüssen bleibt, dass also die Konstanz der Zielachsrichtung und damit die Genauigkeit der Messung zu jeder Zeit erhalten bleiben. Weiterhin wird durch motorisch nachgeführte Winkelkorrekturen sichergestellt, dass das Tachymeter sich quasi wie ein mathematisch ideales Instrument verhält.

### 4.1 Zielpunktkorrektur

Im harten Vermessungsalltag gibt es immer wieder Situationen, in denen ein Tachymeter seine exakte Ausrichtung auf einen Zielpunkt verliert. Ursachen hierfür können sein: Vibrationen und Erschütterungen durch Baumaschinen, starker Winddruck auf das Instrument, vorbeifahrende Züge bei Messungen im Gleisbereich und letztendlich auch Kraftmomente durch Drücken der Tasten bei der Bedienung des Instruments.

SurePoint sorgt nun dafür, dass eine einmal eingestellte Richtung konstant bleibt, auch wenn äußere Kräfte wirksam sind. Jede Veränderung in Hz und V durch die o.a. Einflussgrößen wird sofort wieder zurückgestellt. Dies soll an Abb. 6 kurz erläutert werden. SurePoint überwacht und steuert einen Regelkreis. Ein Ziel wird angefahren

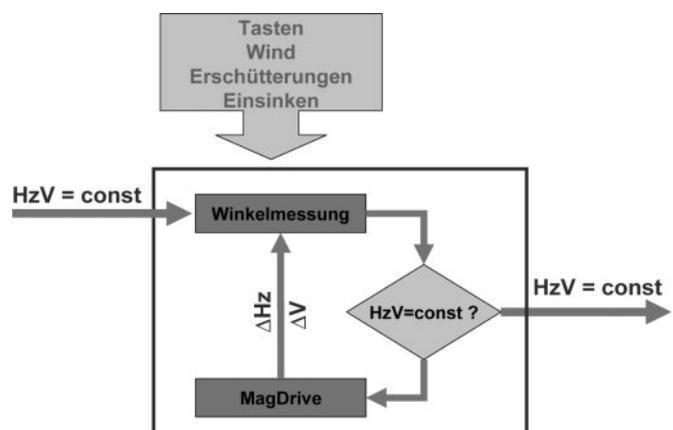


Abb. 6: SurePoint Regelkreis

bzw. manuell eingestellt. Diese Zielung muss nun erhalten bleiben und die einmal ermittelten Winkelwerte müssen konstant bleiben.

Von eminenter Bedeutung ist dafür eine sehr schnelle und permanente Winkelmessung. Vom Winkelsensor werden die Winkel mit einer Taktrate von 1000 Hz bereitgestellt. Im Regelkreis kann damit kontinuierlich geprüft werden, ob diese Winkel konstant bleiben, oder ob sich aufgrund äußerer Einflüsse Verdrehungen und Neigungen ergeben. Differenzen in Hz und V werden über MagDrive sofort zurückgestellt. Hierbei zeigt sich der Vorteil der Integration von Winkelplatine und MagDrive mit einer extrem schnellen internen Kommunikation.

Auch ein weiterer unangenehmer Effekt kann mit Hilfe von SurePoint erfasst und berücksichtigt werden. Schon jeder hat damit kämpfen müssen, wenn ein Stativ auf weichem Boden aufgebaut werden muss. Das Stativ kann im Verlauf der Messung einsinken oder auch wieder angehoben werden. Bei weichem Untergrund sind Neigungsänderungen unvermeidlich, wobei eine Neigungsänderung selbst über die Kompensatorablesungen erfasst und berücksichtigt werden kann. Die Änderung der Zieleinstellung wird aber damit noch nicht berücksichtigt. Auch wird man das Einsinken – sofern der Kompensatorarbeitsbereich nicht überschritten wird – nicht sofort bemerken, da der Prozess ja schleichend erfolgt.

Genau hier setzt die Überwachungs- und Regelungsfunktion von SurePoint an. Durch das Einsinken ändern sich die beiden Winkelwerte. SurePoint erkennt das, hält die Originalzielung bei und hält die Winkelwerte konstant auf ihren ursprünglichen Werten.

#### 4.2 Winkelkorrekturen

Wenden wir uns nun einer zweiten wichtigen Eigenschaft und Aufgabe von SurePoint zu. Dazu ist es sinnvoll, einige aus der Instrumentenkunde bekannte Tatsachen kurz zu wiederholen.

Instrumente können nur mit endlicher Genauigkeit gebaut, mechanisch vorjustiert und aufgestellt werden. Es ist also immer mit Stehachsfehlern (Aufstellfehler), Zielachsfehlern (in Hz und V) und Kippachsfehlern zu rechnen. Stehachsfehler werden mithilfe der Kompensatorablesungen rechnerisch kompensiert, Kippachsfehler und Zielachsfehler können in elektronischen Tachymetern über Justierprogramme bestimmt und gespeichert werden. Die Winkelablesungen werden damit korrigiert, so dass auch Messungen in nur einer Lage frei von diesen Instrumentenfehlern sind.

Dies ist die rechnerische Seite des Problems. Um uns der Eigenschaft von SurePoint zu nähern, müssen wir noch weiter auf die mechanischen Aspekte der Instrumente eingehen. Stellen wir uns die mechanische Situation vor, wie sie schon in allen optisch-mechanischen Theodoliten anzutreffen war (Abb. 7). Die Stehachse wird um einen gewissen Betrag von der Lotrichtung abweichen. In der Zeichnung ist der Einfachheit halber nur die Komponente in Kippachsrichtung dargestellt. Ein Kippachsfehler wird zusätzlich entsprechend wirken. Da die Zielachse i.A. nicht senkrecht auf der Kippachse steht, bewegt sich die Zielachse beim Durchschlagen des Fernrohrs auf ei-

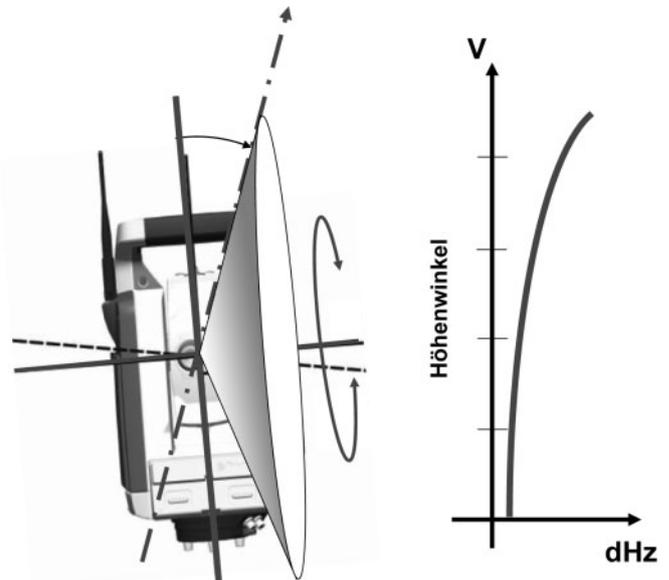


Abb. 7: Zur Geometrie der Tachymeterachsen

nem Kegelmantel, dessen Drehachse entsprechend der Kippachsrichtung schief im Raume steht.

Diese Situation gibt es auch in allen elektronischen Tachymetern. Gegenüber den optisch-mechanischen Theodoliten haben sie nur den besonderen Vorteil, dass der Einfluss der o.a. Fehler rechnerisch weggestellt werden kann. Ich betone rechnerisch, denn die Zielachse bewegt sich dadurch nicht in einer Vertikalebene, sondern eben immer noch auf dem oben erwähnten Kegelmantel. Bei elektronischen Tachymetern wird sich aufgrund der wirksamen Instrumentenfehlerkorrekturen mit dem Durchschlagen des Fernrohrs noch der Hz-Winkel verändern. In der rechten Bildhälfte ist gezeigt, wie sich prinzipiell die Änderung des Hz-Winkels durch die Korrekturen als Funktion des Zenitwinkels darstellt, wenn das Fernrohr aus horizontaler Stellung in Richtung Zenit bewegt wird. Ablotungen können deshalb nur in 2 Lagen oder über eine Winkelmessung in einer Lage vorgenommen werden. Das ist der Zustand, wie man ihn in allen Tachymetern bislang vorgefunden hat.

Verfolgen wir das Thema Abloten noch etwas, denn es ergibt sich mit der Trimble S6 Totalstation eine grundlegende Neuerung. Zum Abloten eines Objektes – hier eines Hochspannungsmastes (Abb. 8) – zielen wir die Spitze an und schwenken das Fernrohr nach unten. Aufgrund der mechanischen Gegebenheiten im Instrument zeigt die Zielachse jetzt nicht auf den Lotfußpunkt, und der Hz-Wert hat sich aufgrund der mit dem Zenitwinkel veränderlichen Korrekturen geändert. Um mechanisch zum Lotfußpunkt zu kommen, müsste man den Hz-Wert, der zur Spitze gemessen wurde, manuell wieder einstellen. Genau das nimmt uns die SurePoint Funktion ab. Mit jeder Veränderung des Zenitwinkels wird sofort wieder die wirksame Hz-Korrektur motorisch zurückgestellt. Dadurch wird erreicht, dass sich die Fernrohrzielachse auf der exakten Lotlinie unter der Mastspitze bewegt, und dass der Hz-Wert dabei immer konstant bleibt. Da sich das Fernrohr nunmehr immer in einer Vertikalebene be-

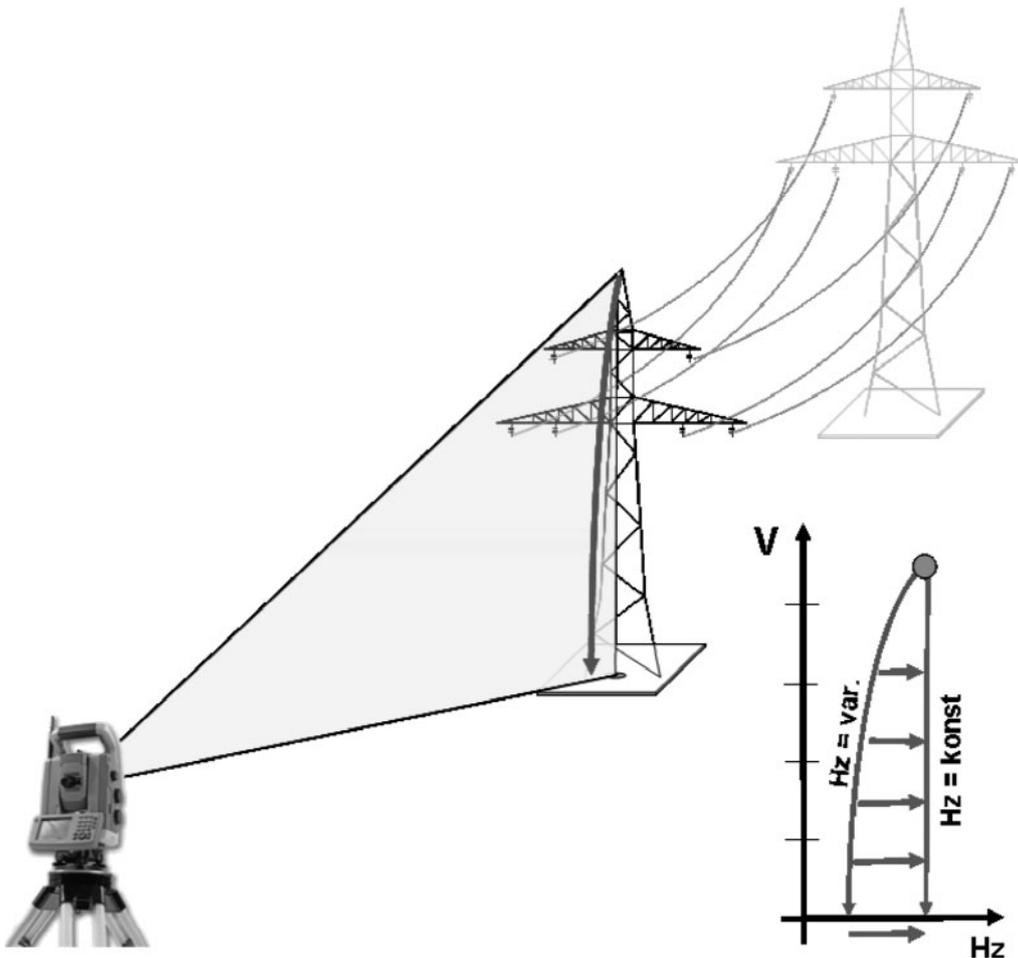


Abb. 8: Das Lotungsproblem und seine Lösung mit der Trimble S6 Totalstation

wegt, lassen sich auch Fluchtungen und Geradenverlängerungen allein mit Durchschlagen des Fernrohres unterstützen.

Was für die Konstanz des Horizontalwinkels gilt, lässt sich auch am Zenitwinkel demonstrieren. Stellt man das Fernrohr mit  $V = 100$  gon auf eine horizontale Zielung ein, so ist bei einem herkömmlichen Tachymeter nach einer horizontalen Verdrehung z.B. um 200 gon die Zielung nicht mehr horizontal (Abb. 9, links). Mit SurePoint in der Trimble S6 Totalstation wird bei einer Hz-

Verdrehung die Neigung des Fernrohres durch motorische Rückstellung der V-Winkelverbesserungen so nachgeführt, dass die Horizontalstellung der Zielachse mit  $V = 100$  gon immer konstant bleibt (rechts).

## 5 MultiTrack

Unter dem Begriff MultiTrack sind mehrere Eigenschaften der Trimble S6 Totalstation zusammengefasst:

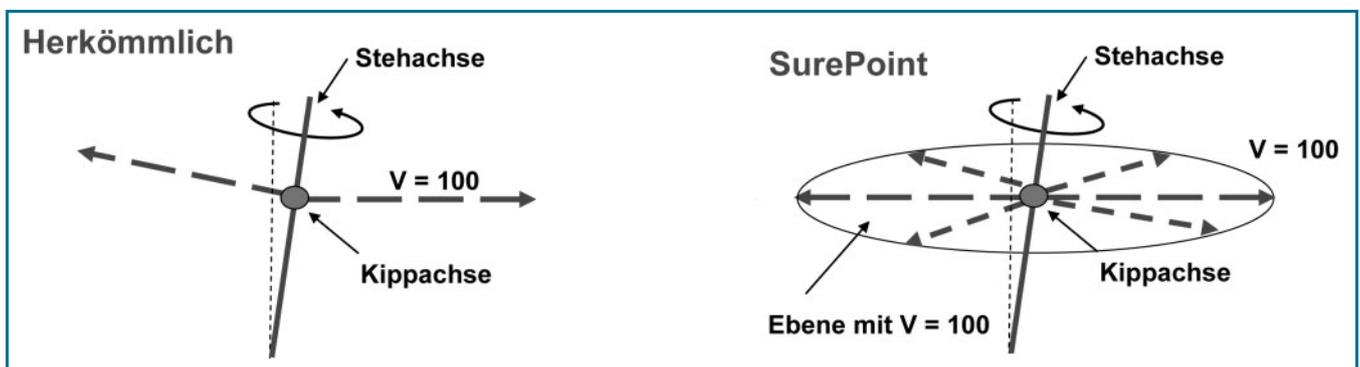


Abb. 9: Erzeugung einer Horizontalebene

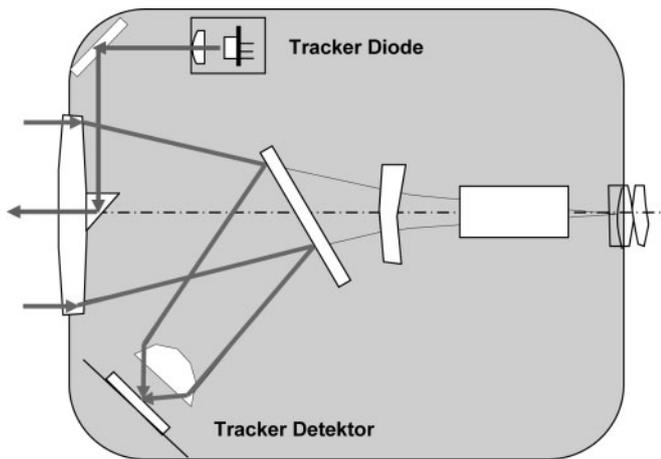


Abb. 10: Trackerstrahlengang

- MultiTrack gibt mit der Target-ID ein Hilfsmittel an die Hand, das bei der Suche eine eindeutige Identifizierung des Zieles ermöglicht.
- Mit MultiTrack können jetzt auch konventionelle, also nicht aktive Prismen, automatisch eingestellt werden.
- MultiTrack unterstützt mit MagDrive eine sehr direkte Zielverfolgung auch schnell bewegter passiver Prismen.

Wir nennen diese automatische Einstellung und Verfolgung der Bezeichnung in den Geodimeter-Totalstationen folgend auch weiterhin Autolock. Die Hardwarekomponenten zur Realisierung werden unter dem Begriff Tracker zusammengefasst.

### 5.1 Trackerstrahlengang im Fernrohr

Die wesentlichen Teile zur Funktion von Autolock sind im Fernrohr integriert. Abb. 10 zeigt einen Schnitt mit einer Beschränkung auf die Darstellung nur der Komponenten, die für die automatische Zielung relevant sind. Ein Infrarotstrahl wird von der Trackerdiode erzeugt und über einen Spiegel und ein Prisma zentrisch in die Fernrohrachse gelenkt. Das Objektiv fängt das vom Prisma reflektierte Signal wieder auf und lenkt es über einen Selektivspiegel auf die Trackeroptik und den Trackerdetektor. Die in Bezug auf eine interne Referenz gemessene Ablage wird in Winkeldifferenzen umgerechnet, so dass die zentrische Richtung mit MagDrive eingestellt werden kann. Zu bemerken bleibt noch, dass der gesamte Trackerstrahlengang vor der Fokussierlinse verläuft, Autolock damit einen festen Divergenzwinkel hat und unabhängig von Fokussierung und Entfernung ist.

### 5.2 Trackergesichtsfeld

Damit Autolock ein Prismenziel auch bei einer Grobzielung immer sofort und schnell erkennen kann, wurde die Optik so konstruiert, dass sich ein möglichst weites Trackergesichtsfeld ergibt. Es ist etwas größer als das des Fernrohres (Abb. 11). Ein Prisma wird also auch noch ein wenig außerhalb des Fernrohrgesichtsfeldes erkannt. Ist die Autolockfunktion eingeschaltet und ist ein Prisma

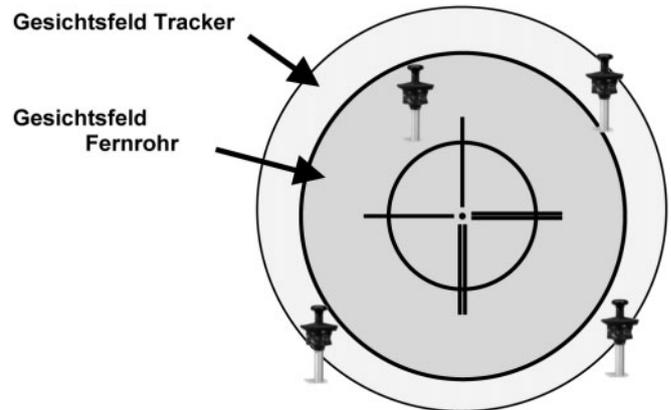


Abb. 11: Trackergesichtsfeld

vom Tracker erkannt, wird das Fernrohr unmittelbar auf dieses Ziel eingestellt.

### 5.3 Trackerjustierung

Im Idealzustand fallen Fernrohrzielachse und Trackerzielachse zusammen und beide Achsen stehen senkrecht auf der Kippachse. Die Identität und Rechtwinkelbedingung kann aber mit mechanischer Justierung nur mit endlicher Genauigkeit hergestellt werden. Die Fernrohrzielachse (gelb in Abb. 12), die als Achse durch den Objektivmittelpunkt und den Fadenkreuzschnittpunkt definiert ist, weicht um die Kollimations- und Indexfehler von Ihrer Solllage ab (rot).

Entsprechendes gilt auch für die Trackerzielachse (blau), die i.A. nicht durch den Fadenkreuzschnittpunkt verläuft. Autolock wird also ein Ziel nicht exakt dort einstellen, wo

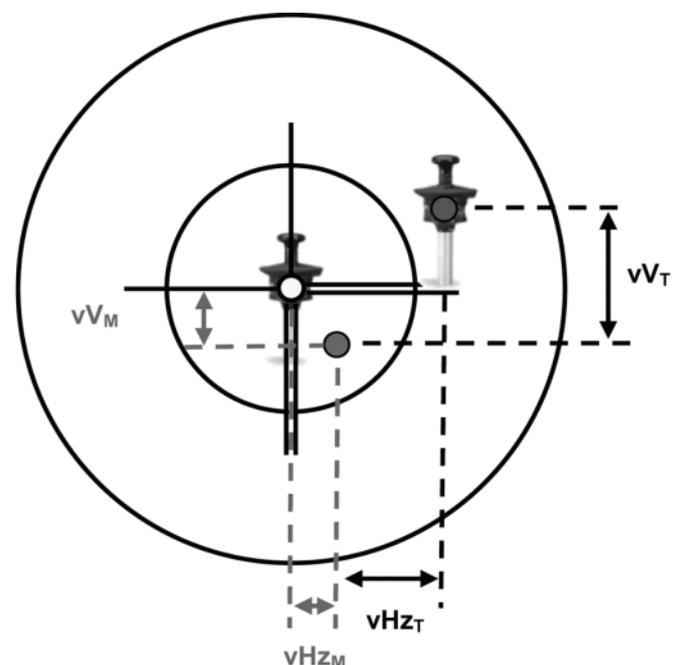


Abb. 12: Trackerjustierung

ein Beobachter es bei manueller Zielung einstellen würde. Über ein entsprechendes Justierprogramm werden die für die exakte Winkelmessung notwendigen Korrekturen zwischen der Istlage (blau) und der Solllage (rot) ermittelt. Sind die Fernrohrkollimationswerte und die Trackerjustierwerte sorgfältig bestimmt, sind die aus manueller oder automatischer Messung resultierenden Winkelablesungen im Rahmen der Mess- und Zielgenauigkeit identisch.

#### 5.4 Zielsuche mit Target-ID

Am Robotic-Stab gibt es auch weiterhin eine aktive Einheit, die Target-ID (Abb. 13), die zur Suche eines bestimmten Zieles eingesetzt wird. Die Target-ID sendet einen nicht sichtbaren Infrarotstrahl aus, auf den ein Code aufmoduliert ist. Dadurch erhält man eine eindeutige Identifizierungsmöglichkeit dieses Zielstrahles und des damit verbundenen Zieles. Über 8 wählbare Codes an der Target-ID können verschiedene Ziele differenziert werden.

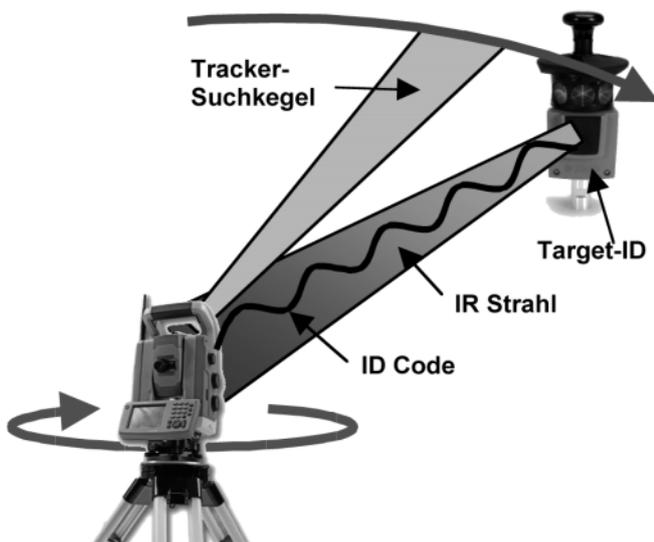


Abb. 13: Zielidentifizierung mit der Target-ID

Wenn eine Suche gestartet wird, kann diese Suche mit einer bestimmten ID verbunden werden, d.h. es wird nach einem aktiven Ziel gesucht, das einen bestimmten Code abstrahlt. Empfängt der Sensor im Tachymeter ein entsprechendes Infrarotsignal, decodiert er die aufmodulierte Information. Ist die empfangene ID mit der gesetzten identisch, ist das richtige Ziel gefunden und kann vom Tracker scharf eingestellt werden. Differiert die ID oder gibt es keinen aufmodulierten Code, bleibt das Ziel bei der Suche unbeachtet. Auf diese Weise kann ausgeschlossen werden, dass bei der Suche ein beliebiges reflektierendes Ziel gefunden und eingestellt wird.

#### 5.5 Zielsuche mit GPS

Zum Jahresende 2005 wurde von Trimble eine weitere Neuheit vorgestellt, die GPS-Suche. Man braucht dazu

nur einen einfachen GPS-Empfänger am Robotic-Stab, der einen NMEA String über Bluetooth zur Bedieneinheit senden kann. Eine Kalibrierung zur rechnerischen Verbindung zwischen GPS-Messungen und Tachymeterpositionen muss nicht vorhanden sein, das System ist quasi selbstkalibrierend.

Geht mit dem Hinterqueren eines größeren Zieles der Robotic-Kontakt verloren, wird nach Wiederherstellung der Sichtverbindung eine GPS-Suche angestoßen, und das Instrument fährt sofort in die durch die GPS-Position angegebene Richtung. Normalerweise ist das Prisma nun im Gesichtsfeld des Trackers und wird daher unmittelbar automatisch eingestellt. Sollte bei einer sehr kurzen Zielweite das Prisma noch außerhalb des Trackergesichtsfeldes liegen, wird eine normale Zielsuche von der eingestellten Position aus gestartet. Innerhalb von maximal 3 Sekunden sollte bei einer GPS-Suche das Ziel wieder eingestellt sein. Diese äußerst schnelle Suchstrategie funktioniert über die gesamte Autolock Reichweite; zusätzlich wird verhindert, dass ein beliebiges reflektierendes Ziel bei der Suche gefunden und eingestellt wird.

#### 5.6 Prismenziele

Für den normalen Robotic-Einsatz gibt es ein 360°-Prisma (Abb. 14, links), bestehend aus 7 Einzelprismen mit einer Prismenkonstanten von + 2 mm. Die durch die wechselnde Ausrichtung des Prismas zum Instrument auftretenden Offsets sind für diesen Einsatz vernachlässigbar klein. Will man ein solches Prisma z.B. als zentralen Anschlusspunkt im Vermessungsgebiet nutzen, muss abgeschätzt werden, ob Offsets für die Anschlussrichtungen akzeptabel sind.

Für höhere Genauigkeiten bei Netzmessungen, Polygonierungen oder für genauere Anschlussmessungen wird das Polygonprisma (Abb. 14, rechts) angeboten. Dieses Prisma zeichnet sich dadurch aus, dass der scheinbare Schnittpunkt der Prismenkantenflächen exakt im Schnitt-

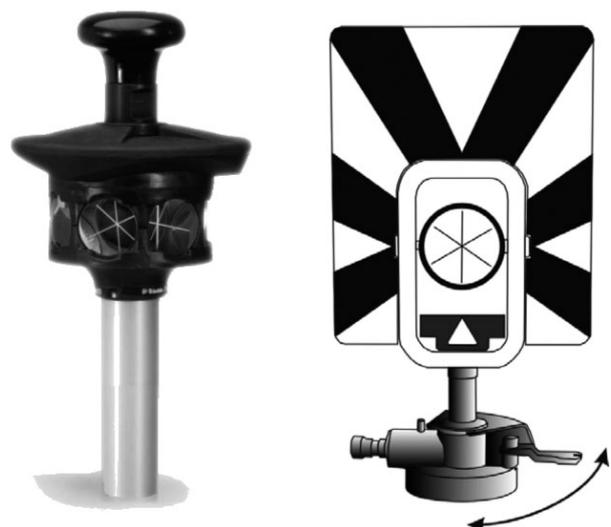


Abb. 14: Prismentypen

punkt von Steh- und Kippachse des Prismas liegt. Dadurch hat i.A. eine Verdrehung des Prismas gegen die Zielrichtung keinen Einfluss auf eine automatische Zielung.

Prismen, die vor der Stehachse angeordnet sind, müssen dagegen für eine automatische Anzielung mit höherem Genauigkeitsanspruch sorgfältig auf das Instrument ausgerichtet werden.

### 5.7 Zielverfolgung

Die Qualität der Zielverfolgung ist instrumentenseitig von zwei Faktoren abhängig, von der maximalen Drehgeschwindigkeit des Instruments und von der Frequenz, mit der der Tracker die Positionsablagen ermitteln kann. Die neue MagDrive Antriebstechnik ermöglicht eine maximale Winkelgeschwindigkeit von 115°/Sek. (= 128 gon/Sek.). Damit ist der Geschwindigkeit eines zu verfolgenden Zieles, das sich quer zur Zielrichtung bewegt, eine sehr weite Grenze gesetzt. Bei konstanter Winkelgeschwindigkeit kann ein weiter entferntes Ziel sich schneller bewegen als ein nahes Ziel. Geht man dagegen von einer bestimmten Objektgeschwindigkeit aus, ist bei größerer Entfernung eine kleinere Drehgeschwindigkeit erforderlich, während unter kürzeren Entfernungen zur Zielverfolgung entsprechend schneller gedreht werden muss. Hierfür sind einige Werte in Tab. 1 angegeben. Wenn wir einen Extremfall unterstellen und ein Objekt betrachten, das sich mit 10 m/Sek. (= 36 km/h) tangential bewegt, wird die volle Drehgeschwindigkeit erst bei einer Entfernung von nur fünf Metern abgerufen. Von der Winkelgeschwindigkeit ausgehend darf es infolge des hohen Potenzials von MagDrive also keine Probleme geben, auch schnelle Ziele zu verfolgen.

Doch kann auch der Tracker selbst ein solch schnelles Ziel verfolgen? Denn was nützte eine hohe Drehgeschwindigkeit, wenn das Ziel aus der Sensorik herauslief, das Instrument also die Bewegung gar nicht mitbekäme? Damit ein Ziel erfasst bleibt und verfolgt werden kann, muss es immer im Sehfeld des Trackers bleiben, d.h. es darf sich zwischen den einzelnen Trackermessungen nicht aus dem Sehfeld herausbewegt haben.

Der Tracker in der Trimble S6 Totalstation arbeitet mit einer Taktfrequenz von 333 Hz; d.h. alle 3/1000 Sekunde ergibt sich eine neue Information über die Objektlage im Gesichtsfeld. Die Spur des Objektes wird also vom Tracker in kleine Teilstücke unterteilt. Von Interesse für die Zielverfolgung ist dabei nur die Größe der Bewegungskomponente quer zur Zielrichtung.

In Tabelle 2 ist diese Strecke zwischen den Zielpositionen mit „Auflösung“ bezeichnet. Ein solches Teilstück der Spur würde bei einer Geschwindigkeit von 1 m/Sek. quer zur Zielrichtung 3 mm betragen; bei 10 m/Sek. hat sich das Ziel um 30 mm zwischen den Trackerbildern fortbewegt.

Betrachten wir nun diese Bewegung unter Berücksichtigung der Größe des Trackergesichtsfeldes, dessen Öffnungswinkel ungefähr ± 1,2° beträgt. Das Ziel sei vom Tracker erfasst, es ist also zentrisch eingestellt (Abb. 15). Bewegt es sich nun quer zur Zielrichtung mit z.B. 10 m/Sek., so steht nur das halbe Gesichtsfeld

Tab. 1: Erforderliche Winkelgeschwindigkeiten als Funktion von Objektgeschwindigkeit und -entfernung

	1 m/sek	10 m/sek
100 m	0,64 gon/sek	6,4 gon/sek
10 m	6,4 gon/sek	64 gon/sek
5 m	12,7 gon/sek	127 gon/sek

Tab. 2: Leistungsfähigkeit des Trackers

Taktfrequenz Tracker		333 Hz
Auflösung der Objektspur	1 m/sek	3 mm
	10 m/sek	30 mm
1/2 Gesichtsfeldwinkel	ca. 1,2°	
1/2 Gesichtsfeld	100 m	2,1 m
	10 m	0,21 m
	5 m	0,10 m

für die nächste Erfassung zur Verfügung. Bei einer Zielweite von 5 m kann der Tracker dann noch 10 cm überblicken. Da jedoch nach jeweils 30 mm Objektbewegung schon das nächste Trackerbild generiert wird, hat sich das Ziel nur um 1/3 der Gesichtsfeldhälfte bewegt.

Durch das hohe Geschwindigkeitspotenzial von Mag Drive und die Integration des Winkelmesssystems kann die Nachführung dann sehr eng und quasi verzögerungsfrei erfolgen.

Zum Abschluss dieses Kapitels noch eine Bemerkung zur Aufgabenverteilung von SurePoint und Autolock: SurePoint hat die Aufgabe sicherzustellen, dass ein einmal eingestelltes Ziel mit konstanten Winkeln in Hz und V angezielt bleibt. Wenn die S6 Totalstation im Robotic-Mode betrieben wird, übernimmt der Tracker diese Funktion. Der Tracker hält die Zielachse fest auf dem eingestellten Prisma, ob sich das Ziel bewegt, wie gerade geschildert, oder ob andererseits Einflüsse wie Wind, Erschütterungen oder Stativneigungen versuchen, das Instrument zu verdrehen.

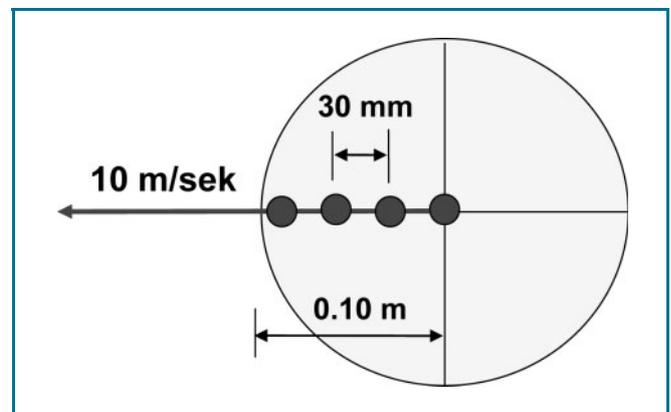


Abb. 15: Trackergesichtsfeld und Verfolgung

## 6 Einordnung in das Integrated Surveying Konzept

Trimble verfolgt schon seit vielen Jahren das Konzept des „Integrated Surveying“. GPS und Tachymeter können von ein- und derselben Bedieneinheit gesteuert werden, auf der die jeweiligen Daten in einem Projekt zusammenfließen. Der Anwender hat dabei die Wahl zwischen verschiedenen GPS-Empfängern, Totalstationen, Bedieneinheiten und auch mehreren Anwenderprogrammen.

Dem ursprünglichen Konzept zufolge kann die Bedieneinheit wechselweise zur Steuerung und Messung mit einem GPS-Empfänger und einem Tachymeter arbeiten. Mit dem 2005 vorgestellten IS Rover können die beiden Messsysteme auch direkt am Roverstab verknüpft werden. Von der Controller Software aus werden beide Sensoren angesteuert, wodurch sich eine äußerst flexible Kombinationsmöglichkeit ergibt.

Die Trimble S6 Totalstation lässt sich optimal in dieses Konzept einordnen. Der Robotikstab des Tachymeters wird durch Aufsetzen eines Trimble R8 zum IS Rover erweitert (Abb. 16). Die Totalstation selbst kann an für die Tachymeteraufnahme optimaler Stelle platziert werden. Anschlusspunktkoordinaten werden über SAPOS oder ascos mit dem Trimble R8 und dem integrierten GSM Modem bereitgestellt. Mit diesen „temporären“ Anschlusspunkten kann das Tachymeter frei stationiert werden. Nach der Stationierung des Tachymeters wird die Aufnahme mit dem IS-Rover weitergeführt, in abgeschatteten Gebieten tachymetrisch, in Gebieten mit freier Himmelsicht mit GPS. Ist eine unabhängige Doppelaufnahme gefordert, lässt diese sich mit einer einzigen Aufstellung über eine tachymetrische und eine GPS-Messung erzielen.

### Literaturverzeichnis

- [1] LEMMON, T.; JUNG, R.: Trimble S6-Totalstation mit MagDrive-Servotechnologie [http://www.trimble.com/survey\\_wp\\_totalstations.asp](http://www.trimble.com/survey_wp_totalstations.asp) Technische Veröffentlichung, Trimble 2005



Abb. 16: Trimble IS Rover

- [2] LEMMON, T.; WETHERBEE, L.: Trimble Integrated Surveying Techniques [http://www.trimble.com/survey\\_wp\\_totalstations.asp](http://www.trimble.com/survey_wp_totalstations.asp) White Paper, Trimble 2005
- [3] HÖGLUND, R.; LARGE, P.: Direct Reflex – Reflektorlose EDM-Technologie für Vermesser und Bauingenieure [http://www.trimble.com/survey\\_wp\\_totalstations.asp](http://www.trimble.com/survey_wp_totalstations.asp) Technische Veröffentlichung, Trimble 2005
- [4] MARTIN, G.: Trimble Controllers: Technology and Choice for the Integrated Surveying Solution [http://www.trimble.com/survey\\_wp\\_totalstations.asp](http://www.trimble.com/survey_wp_totalstations.asp) White Paper, Trimble 2005

Anschrift des Verfassers:  
Dr. Ing. MARTIN KÖHLER, Trimble GmbH  
Am Prime Parc 11, 65479 Raunheim