

6 Messverfahren

In diesem Kapitel geht es um die Darstellung typischer Verfahren der Ingenieurvermessung, die sich schwerpunktmäßig auf den Nahbereich beziehen, nicht unbedingt auf das geodätische Bezugsniveau bezogen werden und im offenen bzw. geschlossenen Messraum zur Anwendung kommen. Aus diesen Bedingungen resultiert eine Reihe von Besonderheiten, die die Erarbeitung spezieller Messprinzipien rechtfertigen.

6.1 Elektronische Tachymetrie

Für die polare Aufnahme und Absteckung kommt fast ausnahmslos ein *elektronisches Tachymeter*, auch Totalstation genannt, zur Anwendung. Der Theodolit war das bisher am häufigsten eingesetzte geodätische Instrument zur Messung von Richtungen und Vertikalwinkeln. Seine Anwendung beschränkt sich in der Ingenieurgeodäsie heutzutage auf präzise Höhenübertragungen (Kap. 6.3.2), Fluchtungsmessungen (Kap. 6.5), Theodolitmesssysteme (Kap. 6.8.2), das Einrichten im Maschinen- und Anlagenbau (Optical Tooling) und spezielle Absteckungsarbeiten im Eisenbahnbau (Kap. 9).

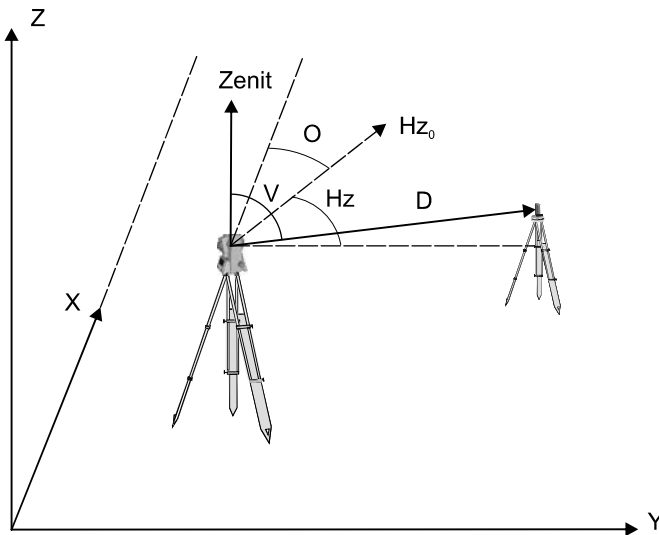


Abb. 6.1: Punktbestimmung mit Tachymeter

Das *Polarverfahren* basiert auf der Messung oder Absteckung der Horizontalrichtung (H_z) in Bezug auf die Nullrichtung (H_{z_0}), Vertikalwinkel (V bzw. Zenitwinkel ζ) in Bezug zum Zenit und der Schrägdistanz (D) zum Reflektor (Abb. 6.1). Die Orientierungsunbekannte (O) ist bei der Punktbestimmung mit einem Abriss oder einer vermittelnden Ausgleichung zu berechnen. Das kontinuierliche Winkelmesssystem liefert laufend horizontale und vertikale Teilkreisablesungen, die automatisch durch einen Zweiachskompensator korrigiert werden. Die reduzierte horizontale Strecke s ergibt sich aus der Schrägstrecke und dem Vertikalwinkel. Ein integrierter Mikroprozessor berechnet die Koordinaten des Objektpunkts in einem beliebig orientierten rechtwinkligen Koordinatensystem (Abb. 6.1).

Elektronische Tachymeter bestehen aus einem elektronischen Theodolit und einem elektrooptischen Distanzmesser (EDM). Als Datenspeicher dienen PCMCIA und CompactFlash, und über integrierte Software können die Messdaten der Aufnahme und die Daten für die Absteckung verarbeitet werden. Die Übertragung der Daten erfolgt mittels serieller Schnittstelle, als USB-Anschluss oder kabellose Datenübertragung mit Bluetooth. Automatisierte Tachymeter haben eine Fernsteuerung und die Motorisierung zur automatischen Zielerfassung und kinematischen Verfolgung des Reflektors. Es sind je nach Tachymetertyp die reflektorlose Distanzmessung und die Scanning-Funktion verfügbar. Eine Einteilung der Tachymeter kann nach den Spezifikationen für die Richtungs- und Distanzmessgenauigkeit erfolgen (Tab. 6.1).

Tabelle 6.1: Einteilung der Tachymeter

	Distanz σ_s	Richtung σ_r
Routinetachymeter	3 bis 5 mm + 3 ppm	1 bis 3 mgon
Universaltachymeter	2 bis 3 mm + 2 ppm	0,5 bis 1 mgon
Präzisionstachymeter	0,5 bis 1 mm + 1 ppm	0,15 bis 0,5 mgon

Aktuelle Entwicklungen sind die Integration von GPS und Bildverarbeitung. Mit der SmartStation (Leica Geosystems) kann mit einem aufgesetzten Empfänger eine GNSS-Standpunktbestimmung erfolgen (Kap. 8.2.3). Totalstationen mit Bildverarbeitung (Video-Tachymeter) haben eine Digitalkamera integriert, die eine bildunterstützende Vermessung ermöglicht. Damit fusionieren die Tachymetrie und (Nahbereichs-) Photogrammetrie zu einem Sensor. Mit der in der Totalstation VX Spatial Station von Trimble koaxial integrierten Aufnahmekamera (Abb. 6.2) ist die innere Orientierung sowie Objektverzeichnungen kameraintern kalibriert (VOGEL 2006). Die äußere Orientierung ist durch die Standpunktkoordinaten, die Richtungsorientierung über den Horizontalkreis und den lotbezogenen Höhenindex verfügbar. Für eine Aufnahme, z. B. für die Beweissicherung bei Bauwerksschäden, ist es nun möglich, Oberflächen zu scannen. Durch Rastern wird ein digitales Bild erzeugt, in dem Risse gemessen werden können. Anschließend werden durch Abtasten Objektpunkte für rektifizierende Flächen gemessen (HUEP 2010b).



Abb. 6.2: VX Spatial Station (Trimble)

Die Verwendung von Bildinformationen bei der Tachymetrie erfolgt durch die Überlagerung eines Objektbilds mit den Planungs- oder Messdaten. Die Anzeige im Display (Abb. 6.3) dient zur Orientierung, Überprüfung der Vollständigkeit, Punktzuordnung und Kontrolle der Lagegenauigkeit (WASMEIER 2009).

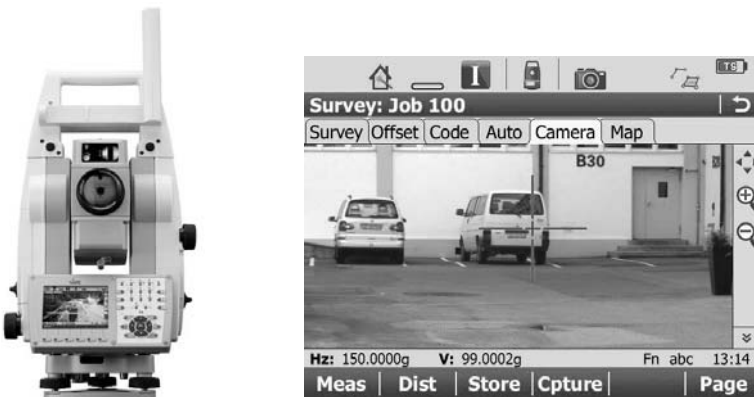


Abb. 6.3: Viva TS15 (Leica Geosystems)

In der Industrievermessung werden für den Nahbereich Industrietheodolite und Präzisionstachymeter (Kap. 6.8.3) eingesetzt. Der Aufbau der Tachymeter und die Funktionsprinzipien der Richtungs- und Distanzmessung können detailliert in JOECKEL et al. (2008) und DEUMLICH & STAIGER (2002) nachgelesen werden.

Gemäß der Definition des Sensors im Kapitel 5.1 besteht das elektronische Tachymeter aus dem „Horizontalwinkelsensor“, dem „Vertikalwinkelsensor“, dem „Höhenindexsensor“, dem „Distanzsensor“ und dem „Stehachsensensor“ (Neigungssensor als elektronischer Kompensator). Für die Zentrierung und Horizontierung

gibt es „Lotsenoren“ (Laserlot) und elektronische Libellen. Im Folgenden soll auf die für die Ingenieurvermessung wesentlichen Abweichungen dieser Sensoren, Korrekturen und Reduktionen, insbesondere bei der Absteckung und bei Überwachungsmessungen, eingegangen werden.

6.1.1 Richtungsmessung

Für die verschiedenen Einsatzgebiete werden die Tachymeter bei der Richtungsmessung in Genauigkeitsklassen eingeteilt. Die Genauigkeit wird in erster Linie durch das Prinzip der „Teilkreisablesung“ und die Fernrohrvergrößerung charakterisiert. In Tabelle 6.2 wird die Standardabweichung der Richtungsmessung σ_r als Querabweichung σ_q (vgl. Abb. 1.3) für Absteckungen und Präzisionsmessungen im Nahbereich ($s = 60$ m) abgeschätzt.

Tabelle 6.2: Genauigkeiten der Richtungsmessung

Einteilung	σ_r	σ_q	Anwendung
niedere Genauigkeit	≤ 8 mgon	8 mm	Bauabsteckung
mittlere Genauigkeit	≤ 2 mgon	2 mm	Trassierung
hohe Genauigkeit	$\leq 0,6$ mgon	0,6 mm	Überwachungsmessung
höchste Genauigkeit	$\leq 0,2$ mgon	0,2 mm	Maschinen- und Anlagenbau

Bei der elektronischen Winkelmessung sind mehrere Arten der Winkelabtastung zu unterscheiden:

- relative oder inkrementale Verfahren mit abtastbaren Spuren oder mit einem abzählbaren Strichraster,
- dynamische Verfahren mit rotierenden Teilkreisen, bei denen die Winkelmessung auf eine hochgenaue Zeitmessung zurückgeführt wird,
- absolute Verfahren mit codierten Teilkreisen.

Elektronische Tachymeter und Industrietheodolite sind bis auf wenige Ausnahmen mit dem Code- und Inkrementalverfahren ausgestattet, wobei sich die Auflösung zwischen 1 mgon und 0,01 mgon bewegt. Die Richtungsmessgenauigkeit entspricht den Klassifizierungen von der mittleren ($\sigma_r = 2$ mgon) bis zur höchsten Genauigkeit ($\sigma_r = 0,2$ mgon).

6.1.1.1 Instrumentelle Abweichungen

Bei der Fertigung der Tachymeter gibt es hinsichtlich der Achsgeometrie Fertigungstoleranzen, die zu Abweichungen führen und damit die Messgenauigkeit beeinflussen. In einigen Situationen kann es zudem notwendig sein, dass nur in einer Fernrohrlage gemessen werden kann (Theodolitmesssystem, Kap. 6.8.2), wobei dann die Besonderheiten der Achsgeometrie und die Auswirkungen von