



Dip.-Ing. (FH) Silvio Schubert  
(Erfurt)  
Prof. Dr.-Ing.  
Wolffried Wehmann (Dresden)

# Der Einsatz reflektorlos messender Tachymeter zur Gebäudeeinmessung

**Mit der Weiterentwicklung reflektorlos messender Tachymeter eröffnen sich heute neue Möglichkeiten zum effektiven Einsatz dieser Geräte für unterschiedliche Vermessungsaufgaben. Anhand instrumenteller Untersuchungen und praktischer Erprobungen wird insbesondere die katastertechnische Gebäudeeinmessung unter Nutzung reflektorlos messender Tachymeter betrachtet.**

## 1 Einleitung

Mit der Weiterentwicklung reflektorlos messender Tachymeter eröffnen sich heute dem Vermessungsingenieur neue Möglichkeiten zum effektiven Einsatz dieser Messinstrumente. Das betrifft sowohl klassische Anwendungsgebiete wie Profil- und Geländeaufnahmen, Gebäudeein- und -aufmessungen als auch neue Bereiche, wie die Erfassung von Hohlräumen, Fassadenaufnahmen, Gebäudeinnenaufnahmen und weitere Aufgaben der Architekturvermessung. Im Folgenden sollen instrumentelle Untersuchungen und praktische Erfahrungen und Erprobungen zur Gebäudeein- bzw. Gebäudeaufmessung unter Nutzung reflektorlos messender Tachymeter betrachtet und Anwendungsempfehlungen vermittelt werden.

## 2 Untersuchungen zu Einflüssen auf die reflektorlose Punktbestimmung mit den Tachymetern Trimble 3602 DR, Leica TCR 302 und Leica TCRA 1103plus

### 2.1 Reflektorlose Tachymetrie mit modernen Tachymetern

Die reflektorlose Tachymetrie bietet die elegante Möglichkeit, komplizierte oder nicht direkt begehbare Objekte einfach und schnell zu erfassen. Besonders in Industriebetrieben, auf Baustellen oder unter komplizierten Geländebedingungen kann so ein hohes Maß an Sicherheit für die Mitarbeiter gewährleistet werden. Störungen im Baustellenbereich wie Belästigungen der Grundstückseigentümer können minimiert, Gebäude auch in verschlossenen Grundstücken aufgenommen werden.

Diesen Vorteilen stehen zum einen eine begrenzte Reichweite bei Einsatz der reflektorlosen Streckenmessung, zum anderen Einschränkungen

bezüglich realisierbarer Punktgenauigkeiten und eindeutiger Punktfestlegungen bei Messungen auf Ecken und Kanten entgegen.

Inzwischen haben mehrere Gerätehersteller jedoch eine neue Generation reflektorlos messender elektronischer Tachymeter auf den Markt gebracht. Dazu gehören die im Folgenden zu untersuchenden Totalstationen:

- ein Tachymeter **3602 DR** (Abb. 3), das in Jena von der Firma ZSP Trimble hergestellt wird,
- ein Tachymeter **TCR 302** (Abb. 1) der Firma Leica, das bei den Gebäudeeinmessungen fast ausschließlich in Verbindung mit dem elektronischen Feldbuch GEOi-PEN[top] verwendet wurde, sowie
- ein Tachymeter **TCRA 1103plus** (Abb. 2), das bei der reflektorlosen Distanzmessung die größten Reichweiten erzielte, ebenfalls von der Schweizer Firma Leica.

Bei allen drei Instrumenten kann der Nutzer zwischen Streckenmessung mit und ohne Reflektor

**Tab. 1: Untersuchungsergebnisse zur reflektorlosen Streckenmessung**

untersuchtes Kriterium	TCR 302	TCRA 1103plus	Trimble 3602 DR
max. Reichweite Prüffeld	ca. 120 m	ca. 261 m	ca. 125 m
Praxisverhältnisse	ca. 76 m	ca. 130 m	ca. 76 m
Messverhalten (reflektorlos)	zuverlässig und schnell	zuverlässig und schnell	zuverlässig, teils längere Messzeiten
Bedienbarkeit	sehr einfach	einfach	einfach
Haltbarkeit der Batterie	ca. 7-8 Stunden	ca. 4-5 Stunden	ca. 7-8 Stunden
Vorzüge	hohe innere Genauigkeit, sehr leichte Handhabbarkeit	hohe Reichweite	Sicherheitsmodul bei der reflektorlosen Messung
Nachteile	starke Reichweitenverkürzung in der reflektorlosen Distanzmessung bei extremen Lichtverhältnissen		



Abb. 1: TCR 302 (Leica)



Abb. 2: TCRA 1103plus (Leica)



Abb. 3: Trimble 3602 DR

wählen, wobei alle Distanzmessungen, auch die reflektorlosen, nach dem Prinzip des Phasenvergleichsverfahrens erfolgen.

Die Geräte sind hinsichtlich der Herstellerangaben zur Streckenmessgenauigkeit vergleichbar. Im genauesten Modus wird für alle drei Instrumente 2 mm + 2 ppm angegeben. Unterschiede bestehen lediglich bei der angegebenen maximalen Reichweite, die von 80 m (TCR 302) über 120 m (Trimble 3602 DR) bis zu 300 m beim TCRA 1103plus reicht. Weitere Gerätedaten und -besonderheiten sind den Gebrauchsanweisungen [1], [2] und [3] zu entnehmen. Bei den folgenden Resultaten aus vergleichenden Untersuchungen ist zu berücksichtigen, dass für das TCRA 1103plus nicht alle Untersuchungen im gleichen Umfang wie mit den anderen beiden Instrumenten vorgenommen werden konnten.

## 2.2 Ergebnisse durchgeführter geräte technischer Untersuchungen

Die Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Reichweite der reflektorlosen Streckenmessung wird im Wesentlichen von folgenden Größen beeinflusst:

1. Reflexionseigenschaften unterschiedlicher Farben
2. Reflexionseigenschaften unterschiedlicher Materialien
3. Mischsignale
4. Beleuchtungssituation
5. Art der Anzielung (Einfallswinkel)
6. Größe des Messstrahls beim Auftreffen auf das Objekt

Die Auswirkungen dieser Einflussgrößen wurden unter vergleichbaren Labor- und Praxisbedingungen mit den drei oben aufgeführten Instrumenten untersucht. Die erhaltenen Resultate können wie folgt zusammengefasst werden (siehe auch Tabelle 1):

1. Es wurden kaum Unterschiede zwischen den untersuchten drei Instrumenten festgestellt.
2. Die von den Herstellern angegebenen Reichweiten treffen nur für Idealbedingungen zu und

sind unter typischen Praxisbedingungen zu optimistisch.

3. Die Genauigkeitsangaben gelten für eindeutig definierte Ziele und sind dann aber eher zu pessimistisch.
4. Dunkle Farben wie Schwarz, Blau oder Grün sind weniger gut als Zielpunkte für die berührungslose Distanzmessung geeignet.
5. Das Oberflächenmaterial des Zielpunktes hat einen weitaus größeren Einfluss auf die Reichweite als die Farbe des anvisierten Objektes.
6. Bei der Messung auf Ecken und Kanten muss mit zum Teil erheblichen Reichweiteverlusten gerechnet werden.
7. Mit Ausnahme von Glas (grobe Messfehler) besteht nur ein geringer Einfluss des Oberflächenmaterials auf die Messgenauigkeit.
8. Den wesentlichsten Einfluss auf die Streckenmessgenauigkeit hat der Einfallswinkel des Messstrahls beim direkten Anvisieren von Ecken und Kanten. Hier treten signifikante Abweichungen bei Einfallswinkeln  $\alpha$  kleiner 50 gon bei Außenecken auf, während Innenecken bei allen Untersuchungen zuverlässige Ergebnisse lieferten (siehe Abbildungen 4 und 5).

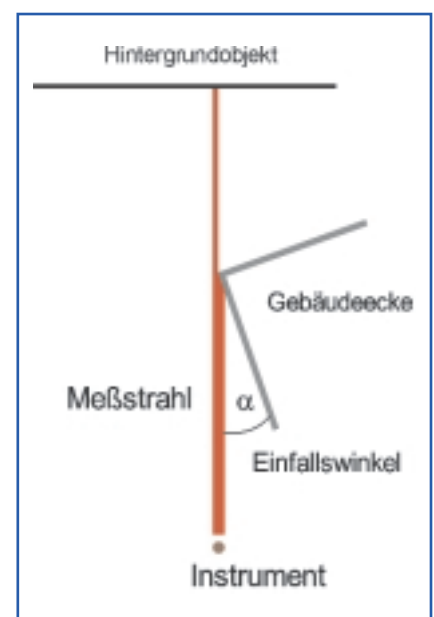


Abb. 4: Schnittwinkel  $\alpha$  bei Messungen zu einer Außenecke

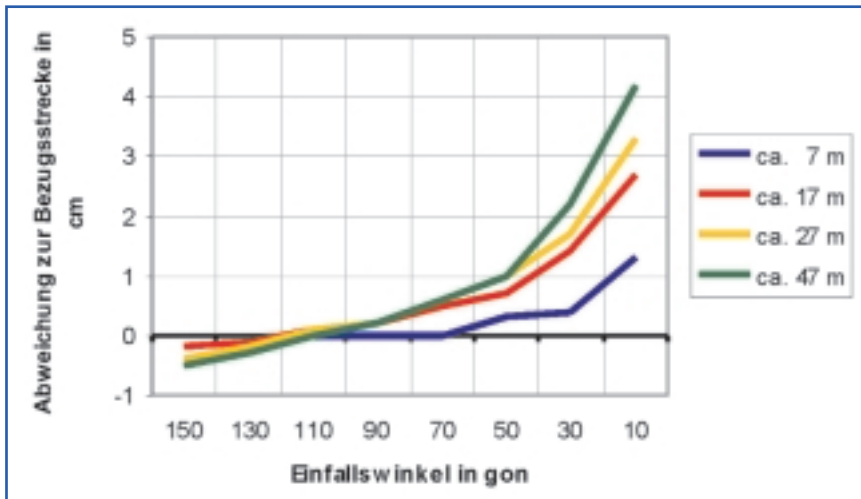


Abb. 5: Abhängigkeit der Messgenauigkeit vom Einfallswinkel bei der reflektorlosen Distanzmessung zu einer Außenecke beim TCR 302

9. Beim Anzielen von so genannten „freien“ Kanten wurden oft grob fehlerhafte Punktbestimmungen registriert (Einfluss von Messungen zu Hintergrundobjekten).
10. Die mögliche Reichweite ist unter bestimmten Umständen auch signifikant von den Beleuchtungsverhältnissen während der Messung abhängig.

### 2.3 Ergebnisse durchgeführter Gebäudeeinmessungen bzw. Gebäudeaufmessungen

Unter einer Gebäudeeinmessung verstehen die Autoren die kataster-technische Einmessung von Gebäuden, die gemäß [4, S. 14] als „selbstständig benutzbare, überdeckte bauliche Anlagen, die von Menschen betreten werden können und geeignet oder bestimmt sind, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen“, definiert sind. Sie umfasst die Bestimmung der Eckpunkte und weiterer wesentlicher Gebäudepunkte in Bezug auf die Eigentumsgrenzen. Zusammen mit dem anschließenden Nachweis im Grundbuch und Liegenschaftskataster sichert die Gebäudeeinmessung dem jeweiligen Besitzer sein Eigentum. Die Gebäudeeinmessung erfolgt stets im amtlichen Koordinatensystem nach den Forderungen und Genauigkeitskriterien der zuständigen Katastervorschriften.

Die Gebäudeaufmessung dient der Darstellung der Gebäudegeometrie zur Bestandsplanerfassung oder in

Vorbereitung von baulichen Veränderungen am aufzumessenden Bauwerk. Die Aufmessung geschieht in der Regel in einem lokalen Koordinatensystem nach den Vorgaben der Auftraggeber und erfordert die Koordinatenbestimmung einer wesentlich größeren Punktzahl in unterschiedlichen Gebäudehöhen. Die Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit sind bei diesem Verfahren sehr unterschiedlich und oftmals etwas geringer als bei amtlichen Gebäudeeinmessungen.

Beide Messtechnologien wurden mit allen drei Instrumenten gründlich getestet. Dazu wurden Teile des Elektrostahlwerkes „Maxhütte“ in Unterwellenborn in Thüringen sowie mehrere Gebäude in Saalfeld auf- bzw. eingemessen. Für die meisten Messobjekte lagen zuvor ermittelte Vergleichsdaten aus klassischen Gebäudeeinmessungen vor.

Beim Vergleich der Ergebnisse bestätigten sich die Resultate aus den gerätetechnischen Untersuchungen. 75 % der reflektorlos aufgenommenen Punkte konnten zuverlässig bestimmt werden, wobei die durchschnittliche Lagegenauigkeit der Gebäudepunkte bei ca. 3 cm lag. Hauptgründe für aufgetretene Ungenauigkeiten an den Gebäuden in Saalfeld waren vor allem Mischsignale und ungünstige Schnittwinkel (schleifende Schnitte). Auch im Stahlwerk Maxhütte waren durch Hindernisse, Zielstrahlunterbrechungen und Hintergrundobjekte

sowie ungünstige Schnittwinkel Messwertverfälschungen zu beobachten. Zusätzlich kamen weitere äußere Fehlereinflüsse wie Staub, extreme Wärmestrahlungen oder ein zu hoher Wasserdampfgehalt in der Luft hinzu. Unter diesen Bedingungen war die reflektorlose Distanzmessung meist unmöglich. Deshalb musste bei einigen Punkten sowohl im Stahlwerk als auch bei den Einmessungen städtischer Gebäude vom reflektorlosen Messmodus in die klassische Technologie mit Reflektor übergegangen werden.

Andererseits traten bei den Messungen im Stahlwerk Maxhütte kaum die Schwierigkeiten der klassischen Erstaufnahme auf. Arbeitsschutzprobleme waren trotz des erheblichen Gefährdungspotentials durch Lärm, Staub, Hitze, LKW-Verkehr sowie durch extrem starke elektrische und magnetische Felder sehr gering. Somit entfiel die Bereitstellung von Sicherheitspersonal durch den Betrieb zur Überwachung gefährlicher Bereiche während der Messungen. Zur Effektivität konnte festgestellt werden, dass sie mit der überwiegend reflektorlosen Technologie im Stahlwerk Maxhütte im Vergleich zur klassischen Technologie mit Reflektor um den Faktor 2 höher war.

Als Schlussfolgerungen aus den praktischen Untersuchungen kann zu den obigen Schwerpunkten ergänzt werden:

- Unterschiedliche Beleuchtungssituationen, verschiedene Anzielhöhen am Messobjekt und Hindernisse innerhalb des Zielstrahls können zu kleinen systematischen Verfälschungen der Distanzmessung führen.
- Bei der Auswahl des Zielpunktes sollte die Beschaffenheit der Gebäudeecken unbedingt beachtet werden.
- Als Kontrolle sollten komplizierte Gebäudeecken mehrmals hintereinander aufgenommen und die Abweichungen der Messwerte untereinander aufmerksam beobachtet werden (ggf. Tachymetersoftware nutzen – Trimble 3602 DR).
- Ungünstige Gebäudepunkte sollten exzentrisch reflektorlos aufge-

messen werden. Hier fehlt jedoch zurzeit noch eine geeignete Software in den meisten Tachymetern.

### 3 Forderungen an die Hersteller reflektorlos messender Tachymeter

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung elektronischer Tachymeter mit reflektorloser Streckenmessung sollten die Hersteller geodätischer Instrumente unbedingt folgende Funktionen bzw. Parameter in die neuen Geräte integrieren:

- reflektorlose Streckenmessung im Mehrfachmessmodus (mit Vorwahl der Messungsanzahl) sowie Anzeige von Median und Bandbreite zur Zuverlässigkeitsbeurteilung;
- reflektorlose Streckenmessung im Mehrfachmessmodus mit der Option der Maximumpeilung zur Bestimmung von Innenecken;
- reflektorlose Streckenmessung im Mehrfachmessmodus mit der Option der Minimumpeilung zur Bestimmung von Außenecken;
- reflektorlose Punktbestimmung als Sonderfunktion durch Schnitt einer direkt angemessenen Richtung mit einer Geraden, die durch zwei zuvor exzentrisch bestimmte Gebäudepunkte aufgespannt wird;
- reflektorlose Spannmaßbestimmung.

Des Weiteren ist eine zuverlässige Messungsbereichweite bis ca. 120 m unter typischen Praxisbedingungen erforderlich, wobei wahlweise die reflektorlose Messung in zwei Leistungsbereichen möglich sein muss (Standard 1 bis 70 m, erweitert 70 bis 120 m als Zusatzprogramm mit entsprechender Anzeige im Display). Dabei ist von den Herstellern zu beachten, dass weiter nur Laser der Leistungsklassen 2A oder 2B eingesetzt werden, um zusätzliche, praktisch kaum zu realisierende Arbeitsschutzmaßnahmen zu vermeiden!

### 4 Empfehlungen zur Einmessung von Gebäuden in das Kataster

Die Einmessung von Gebäuden in das Kataster muss zum einen den rechtlichen wie praktischen Anforderungen an das Kataster genügen.

Zum anderen sollten die Genauigkeitsforderungen dieser Vermessungen jedoch auch in einer sinnvollen Relation zum Vermessungsobjekt, zum späteren Verwendungszweck und zur Ökonomie stehen. Deshalb erscheinen den Autoren die Genauigkeitsforderungen für Gebäudeeinmessungen in den meisten Katastervermessungsvorschriften der Bundesländer zu überzogen.

In der Thüringer Anweisung zur Durchführung von Katastervermessungen (ThürKatVermA) von September 2001 [4, S. 31 – Anlage 3] ist eine Standardabweichung für Gebäudepunkte von  $S_p = \pm 0,02$  m definiert.

Die dazu festgelegten „größten zulässigen tatsächlichen Abweichungen für Koordinaten von Gebäudepunkten“ bei Mehrfachbestimmungen von  $d_y \leq 3$  cm und  $d_x \leq 3$  cm sind besonders für Altbauten oft nur schwierig oder kaum realisierbar. Gleiches gilt für die daraus in der gleichen Vorschrift abgeleitete „maximale Streckenabweichung zwischen Soll- und Istwerten sowie zwischen gerechneten und gemessenen Strecken von  $d = \pm 0,04$  m“ [4, S. 31].

Voraussetzung für eine sichere Einhaltung dieser amtlichen Forderungen ist die eindeutige Festlegung von Gebäudepunkten, insbesondere von Gebäudeecken. Hierzu sind die Ausführungen in den meisten Katastervermessungsanweisungen der einzelnen Bundesländer zu allgemein und ungenau gehalten. So fehlt beispielsweise die Festlegung der Höhe, in der Gebäudeecken eingemessen werden, in vielen Vorschriften. Besitzt ein Bauwerk dazu noch eine starke zergliederte Fassade wie in Abbildung 6, so kann die Identifizierung von Gebäudeeckpunkten problematisch werden. Dann sind Ungenauigkeiten und Unsicherheiten in Gebäudeeinmessungen von einigen Zentimetern durchaus normal. Sie werden mit ins Kataster übernommen, da sie erst bei einer erneuten Gebäudeeinmessung oder einer Nachmessung aufgedeckt werden können.

Anhand dieser Probleme, die Abbildung 6 gut veranschaulicht, stellen

die Autoren die Frage, ob tatsächlich so hohe Genauigkeitsforderungen an Gebäudeeinmessungen zwingend notwendig sind.

Sofern Gebäudepunkte nicht gleichzeitig Grenzpunkte sind (und dann auch eindeutig abgemarkt und definiert sind), dienen sie lediglich zur Berechnung von Abstandsflächen sowie zur Darstellung der Gebäude in der ALK bzw. in analogen Liegenschaftskarten. Damit ist eine Einmessungsgenauigkeit von Gebäuden ins Kataster von  $d = \pm 10$  cm grundsätzlich völlig ausreichend. Die größten zulässigen Abweichungen für neu bestimmte Gebäudepunkte sollten deshalb in allen Messverfahren bei Mehrfachbestim-

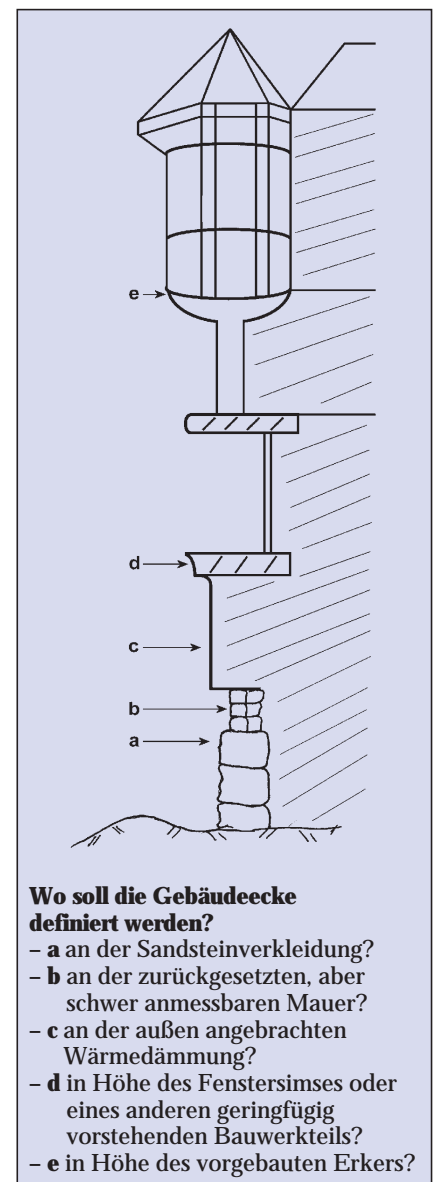


Abb. 6: Probleme bei der Identifizierung von Gebäudeecken

mung  $d_y \leq 7$  cm und  $d_x \leq 7$  cm beitragen.

Ist jedoch aufgrund des Abstandes eines Gebäudes zur Flurstücksgrenze eine Unterschreitung von Abstandsflächen oder gar ein Überbau zu vermuten, sollten mit  $d \leq 7$  cm bzw.  $d_y \leq 5$  cm und  $d_x \leq 5$  cm höhere Genauigkeitsforderungen eingehalten werden.

Zur Einhaltung dieser realistischen Genauigkeitsmaße ist die reflektorlose Tachymetrie generell genau genug. Sie gestattet die Durchführung von Gebäudeeinmessungen mit einer wesentlich höheren Effektivität.

Im Zusammenhang mit dem obigen Vorschlag neuer Genauigkeitsfestlegungen sollten die Koordinaten von Gebäudepunkten sowie weitere Gebäudemäße im Kataster auch nur auf  $\pm 5$  cm gerundet angegeben werden. Gleiches gilt für die Angabe von Abstandsflächenmaßen.

Die Kontrolle von Gebäudeeinmessungen erfolgt am günstigsten durch die Messung eines Gebäudeumrings, soweit das unter den örtlichen Verhältnissen realisierbar ist. Es wird empfohlen, diese Messungskontrolle möglichst wiederum reflektorlos, aber in einer geringfügig anderen Gebäudehöhe mit einer Genauigkeit von 5 bis 10 cm durchzuführen.

Ganz wesentlich erscheint es den Autoren außerdem, die bestehenden Vorschriften für Gebäudeeinmessungen um eindeutige Angaben zur Darstellung der eingemessenen Bauwerke ins Kataster zu ergänzen. Das trifft vor allem auf unmissverständliche Festlegungen zur Darstellung bzw. zum Weglassen von Balkonen, Erkern sowie anderen Gebäudevorsprüngen bzw. -vorbauten zu. Gebäude sollten grundsätzlich in einer Höhe von 1,20 m bis 1,60 m über den Durchstoßlinien der Gebäudeseiten durch die Geländeoberfläche aufgemessen werden. Gleichzeitig soll betont werden, dass Gebäudeeinmessungen auch weiterhin hoheitliche Aufgaben bleiben und damit nur durch Öffentlich bestellte Vermessungsingenieure oder von Behörden vorgenommen werden dürfen.

## 5 Schlussbemerkungen

Die reflektorlose Tachymetrie stellt für eine Reihe von Vermessungsaufgaben eine sichere und effektive Erleichterung dar. Dazu zählt neben Gebäudeinnen- und Fassadenaufnahmen auch die katastertechnische Gebäudeeinmessung. Die Ergebnisse der speziellen Untersuchungen zur reflektorlosen Distanzmessung wie die praktischen Erprobungen von Gebäudeeinmessungen unterschiedlicher Bauwerke im reflektorlosen Messmodus beweisen, dass unter Einhaltung bestimmter Vorgaben im Regelfall eine zuverlässige Erfassung der Gebäudeecken und -kanten reflektorlos möglich ist. Da aber einzelne Punkte wegen Sichtbehinderungen, auftretender Mischsignale oder infolge ungünstiger Einfallswinkel der Messstrahlen auf die Gebäudekante nicht immer hinreichend zuverlässig und genau reflektorlos bestimmt werden können, muss von der Gebäudeeinmessung in Einmann-technologie unter Verwendung der drei untersuchten Tachymeter abgeraten werden. Hierzu sind erst weitere instrumen-

telle Verbesserungen durch die Gerätehersteller erforderlich.

### Literatur

- [1] LEICA: Gebrauchsanweisung Leica TC(R) 302/303/305/307 Version 2.1 deutsch, Leica Geosystems, Heerbrugg 1999
- [2] TRIMBLE: Trimble 3600 Zeiss Elta Bedienungshandbuch, ZSP Geodätische Systeme GmbH, Jena, 2001
- [3] LEICA: TPS 1100 Reflektorlos messen bis 200 m, Broschüre der Firma Leica Geosystems, Heerbrugg 2001
- [4] THÜRINGER INNENMINISTERIUM: Thüringer Anweisung zur Durchführung von Katastervermessungen (ThürKatVermA), Thüringer Innenministerium, Kataster- und Vermessungswesen, Erfurt 2001

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. (FH) SILVIO SCHUBERT,  
Schobersmühlenweg 8, 99089 Erfurt  
Prof. Dr.-Ing. WOLFFRIED WEHMANN,  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH),  
FB Vermessungswesen/Kartographie,  
Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

### Zusammenfassung

**Reflektorlos messende Tachymeter ermöglichen die effektive Lösung unterschiedlicher Vermessungsaufgaben wie Gebäudeaufmessungen. Untersuchungen zur reflektorlosen Distanzmessung beweisen, dass die Art der Zielpunkte die Reichweite, weniger die Messgenauigkeit beeinflusst. Hingegen kann der Einfallswinkel des Messstrahls beim direkten Anvisieren von Eckpunkten die Genauigkeit stark vermindern. Praktische Erprobungen beweisen, dass unter Beachtung bestimmter Einflussgrößen eine zuverlässige Erfassung von Gebäudepunkten reflektorlos möglich ist. In diesem Zusammenhang ist eine kritische Überarbeitung der Vorschriften zur katastertechnischen Gebäudeeinmessung erforderlich.**

### Summary

**The use of reflectorless measuring total stations make it possible to solve different surveying tasks effectively, like building survey. Examinations show that the type of the target points has only an influence on the range but not on the accuracy of reflectorless distance measurements. However, the angle of incidence of the measuring beam can reduce the accuracy of the directly measured points at the corners of a building. Practical tests can show, that safe coverage of building points is possible using reflectorless measurements, if some influences are considered. In connection with these tests it is necessary to revise the instructions of building survey for the land register.**