

Eignung geodätischer Messverfahren zur Maßkontrolle im Hochbau

Otto Heunecke

Zusammenfassung

Die Maßkontrolle im Hochbau ist von großer praktischer Bedeutung und die Missachtung von Toleranzen die Ursache vieler Streitigkeiten. Die Eignung eines Messverfahrens zur Toleranzprüfung ist wesentlich von der erreichbaren Genauigkeit der zu bestimmenden Istmaße abhängig. Es kann über Kovarianzfortpflanzung (Gauß-Verfahren) gezeigt werden, dass die mittels Tachymetrie, Nivellement und Laserscanning zu gewährleistenden Genauigkeiten im Allgemeinen ausreichend sind, um Prüfungen nach den Vorgaben der DIN 18202 und der DIN 18710-1 durchzuführen. Dabei ist es wichtig, die Aussagen so bereitzustellen, wie es der Systematik der Toleranzarten der DIN 18202 entspricht. Die Norm sieht als zu prüfende Merkmale Maße, Winkel, Abweichungen aus der Flucht und Abweichungen von der Ebenheit vor. Die in der DIN 18202 angegebenen Toleranzen sind im Bereich Hochbau anzuwenden, soweit nicht andere Genauigkeiten vertraglich vereinbart werden.

Summary

The proof of tolerances in building construction is of great practical importance and the disregard of tolerances the cause of many disputes. The suitability of a measurement procedure for testing tolerances is largely dependent on the attainable accuracy of the actual sizes to be determined. It can be shown by covariance propagation (Gauss method) that tachymetry, levelling and laser scanning can sufficiently guarantee accuracies to perform proofs according to the requirements of the German standards DIN 18202 and DIN 18701-1 in general. At that, it is important to grant the testimony as it corresponds to the classification of the types of tolerances in DIN 18202. The standard provides the quantities to be tested as dimensions, angles, deviations from straightness and deviations from flatness. The specified tolerances at DIN 18202 are to be applied in building construction, unless other accuracies are contracted.

Schlüsselwörter: Baugeometrische Qualität, DIN 18202, Gauß-Verfahren, Maßabweichungen, Toleranzprüfung

1 Einleitung

Die Ursache vieler Streitigkeiten bei der Errichtung von Bauwerken sind unterschiedliche Vorstellungen zur baugeometrischen Qualität und im Regelfall damit verbunden die Missachtung von Toleranzen, wie diese in Normen, im Speziellen der DIN 18202 Toleranzen im Hochbau (2013), vorgegeben sind. Dies betrifft die Übergabe von einem

Gewerk A (Vorunternehmer) zu einem Gewerk B (Folgeunternehmer) ebenso wie die Übergabe des fertiggestellten Bauwerks vom Bauunternehmen (Auftraggeber) an den Bauherren (Auftraggeber) und dessen Erwartungshaltung an das von ihm in Auftrag gegebene (Bau)Werk. Somit stellen Toleranzen geometrische Schnittbeziehungsweise Übergabestellen der Beteiligten im Hochbau dar und beinhalten als solche immer auch die besagten Konfliktpotenziale (Wanninger 2006; Ertl 2008, S. 82 f.). Siehe hierzu auch die Abb. 1.

Inhalt den nachfolgenden Ausführungen ist es, die Eignung geodätischer Messverfahren für die Prüfung von Toleranzen im Hochbau hinsichtlich der zu gewährleistenden Messgenauigkeiten darzulegen. Weitere, die Effizienz und Effektivität und damit die Attraktivität sowie Akzeptanz geodätischer Messverfahren betreffende Gesichtspunkte sind:

- baustellengeeignete, robuste Messinstrumente,
- Flexibilität bei der Anpassung an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten,
- kurze Messzeiträume und geringe logistische Voraussetzungen, um das sonstige Baugeschehen wenig zu behindern,
- zeitnahe Vorhalten der Ergebnisse, gegebenenfalls möglichst noch auf der Baustelle,
- digitaler Datenfluss und nachvollziehbare Dokumentation von (Ver)Messung und Auswertung sowie
- das Liefern von Aussagen, wie diese nach den Vorgaben insbesondere der DIN 18202 verlangt werden.

Berührungslose Messverfahren, wie durch die reflektorlose Distanzmessung bei der Tachymetrie und dem Laserscanning gegeben, erlauben die Erfassung von Objektbereichen, wo eine Maßkontrolle mit konventionellem Vorgehen Gerüstbau oder Hubwagen verlangen würde, z.B. bei Fassaden und Decken. Aus den gemessenen 3D-Koordinaten sind die Istmaße als vollständige Messergebnisse abzuleiten, wie sie zur Toleranzprüfung entsprechend der Systematik der DIN 18202 (2013) erforderlich sind. Ein Messergebnis gilt nur dann als vollständig, wenn es Angaben zur Messunsicherheit enthält (u. a. DIN 18710-1 2010). Zur Bestimmung und Angabe der Messunsicherheit eines Messergebnisses siehe z.B. Heister (2005, 2010), Hennes (2013) und ISO 17123-1 (2010), wobei hier im Anhang C einige Berechnungsbeispiele zu finden sind, sowie den Abschnitt 3.2 mit entsprechenden Ausführungen.

Nachfolgend nicht näher behandelt sind Fragen der Toleranzfortpflanzung, wie sich Einzeltoleranzen zu einer Gesamttoleranz zusammensetzen und begründen. Eben-

falls nicht behandelt ist die Qualitätsprüfung geometrischer Eigenschaften im Maschinen- und Anlagenbau, wo im Allgemeinen höhere Messgenauigkeiten als im Bauwesen gefragt und auch andere Vorgaben bei der Toleranzprüfung hinsichtlich Form, Richtung, Ort und Lauf zu beachten sind. Siehe hierzu Schwarz (1995) und DIN EN ISO 1101 (2008) zu Geometrischen Produktspezifikationen (GPS).

2 Baugeometrische Qualität

Die geometrische Gestalt eines Bauwerks und seiner Teile wird durch die Bemaßung entsprechend den Konstruktionsunterlagen und den sonstigen (impliziten) Vorgaben, z.B. horizontale Fläche, vertikale Wand, festgelegt. Herstellungsbedingte Abweichungen müssen im Hinblick auf das Erscheinungsbild, die Passgenauigkeit (z.B. den Anbau einer Glasfassade) sowie die Funktions- beziehungsweise Gebrauchsfähigkeit innerhalb gewisser Grenzen liegen, die im Regelfall durch normativ fixierte Toleranzen (lat. Duldsamkeiten) vorgegeben sind. Toleranzangaben sind somit Forderungen zur baugeometrischen Qualität der zu fertigenden Bauteile und damit des daraus entstehenden Bauwerks; sie dienen der Begrenzung zulässiger Abweichungen von den Nominalmaßen und -angaben.

Bestehen anderweitige Vorstellungen zur Beschaffenheit und damit der baugeometrischen Qualität, kann und muss dies in den Bauverträgen entsprechend vereinbart werden: Vertragliche Vereinbarungen gehen den allgemeinen technischen Regeln in jedem Falle vor. In der Baupraxis häufig anzutreffen ist die Situation ungenauer, aber vertraglich vereinbarter Baubeschreibungen auf der einen Seite und zugleich einer hohen, über den Mindestanforderungen zulässiger Maßabweichungen nach der DIN 18202 (2013) liegenden Erwartungshaltung seitens des Bauherren, was die Anwendbarkeit der Norm begrenzt und einer diesbezüglichen Aufklärungspflicht durch einen Bausachverständigen bedarf (Kinzer und Rembke 1999).

Die Nichteinhaltung von Toleranzen oder von anderweitig getroffenen Vereinbarungen zur Baugeometrie führen zu

- Mehrkosten infolge von Zusatzmaßnahmen (Anpass- und Nacharbeiten),
- Qualitätsminderungen, gegebenenfalls sogar Schäden,
- Behinderung des Bauablaufs (ungeplante Stillstandzeiten) und
- Beeinträchtigung des wunschgemäßen Aussehens eines Bauwerks.

Der praktizierte Grundsatz der Baupraxis lautet »Alle Maße sind am Bau zu prüfen«, von der DIN 18202 (2013) dahingehend eingeschränkt »wenn es erforderlich ist«. Wird eine Baumaßnahme nach der Vergabe- und Ver-

tragsordnung für Bauleistungen (VOB) durchgeführt, hat bei fehlerhafter Ausführung einer Vorleistung und daher mutmaßlich erforderlicher Anpass- und Nacharbeiten das nachfolgende Gewerk das Recht, Bedenken nach § 4 (3) VOB/B (siehe VOB/B 2012) anzumelden. Durch die zeitnahe Prüfung geometrischer Größen im Zuge einer Abnahme (siehe VOB/B § 12) ist festzustellen, ob die diesbezügliche Leistung des Vorgewerks beziehungsweise

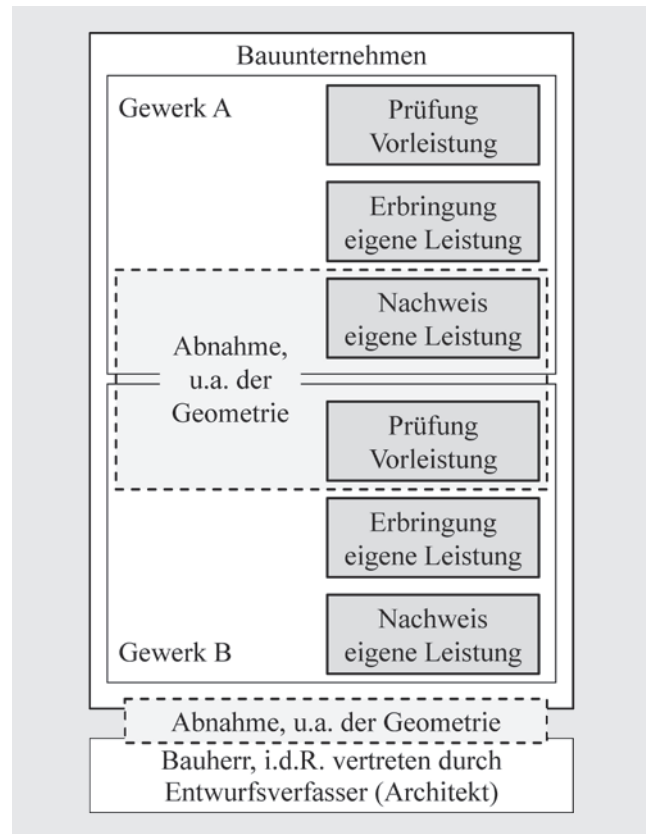


Abb. 1: Schnittstellen im Hochbau

zum Abschluss des Bauvorhabens des beauftragten Bauunternehmens ordnungsgemäß erbracht ist (siehe Abb. 1). DIN 18710-2 (2010) definiert eine Abnahmevermessung als unabhängige Vermessung zur Kontrolle vorgegebener geometrischer Größen eines Objekts, deren Ergebnisse Grundlage für die Abnahme sind.

Jedes Gewerk hat nach VOB/B § 4 (2) in eigener Verantwortung die anerkannten Regeln der Technik sowie die gesetzlichen und behördlichen Bestimmungen zu beachten. Daher ist der mit der Abb. 1 beschriebene Ansatz im Wesentlichen ergebnis- beziehungsweise produktorientiert. Normen werden mit dem Ziel erarbeitet, den Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Annahme abzubilden, da sie auf gesicherten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung basieren müssen (DIN EN 45020 2002). Sie haben grundsätzlich empfehlenden Charakter, können aber auch zum Vertragsgegenstand gemacht werden. Es besteht aus juristischer Sicht die Vermutung, dass Normen – z.B. also DIN 18202 (2013) – den aktuellen Stand der Technik wiedergeben, was jedoch im Einzelfall beweislaster widerlegt werden kann. Bewähren sich solche

technischen Festlegungen und finden sie Akzeptanz in »dem Kreise der für die Anwendung der betreffenden Regeln maßgeblichen, nach dem neusten Erkenntnisstand vorgebildeten Techniker« (Kniffka und Koeble 2008), entstehen die sogenannten anerkannten Regeln der Technik. Fehlen anderweitige Vertrags- beziehungsweise Beschaffensvereinbarungen, liegt die Bedeutung von Normen darin, dass sie den geschuldeten Mindeststandard – hier die Baugometrie betreffend – festlegen und bei Verstoß ein Werk mangelhaft ist. Zu beachten ist, dass sich der Stand der Technik und damit die anerkannten Regeln der Technik über die Zeit wandeln können.

3 Inhalte der DIN 18202 Toleranzen im Hochbau

3.1 Anwendungsbereich

Die DIN 18202 (2013) hat den Zweck, Grundlagen für Toleranzen und für ihre Prüfung im Hochbau festzulegen. Die Ausführungen gelten baustoffunabhängig für Standardleistungen gewöhnlicher Ausführungsart und Abmessungen im Rahmen üblicher Sorgfalt beim Roh- und Ausbau. Zu Beginn wird in der DIN 18202 (2013) *expressis verbis* festgehalten, dass Werte für zeit- und lastabhängige Verformungen, auch bedingt durch Temperatureinfluss, nicht Gegenstand der Norm sind. Bauwerke, die nicht dem allgemeinen Hochbau zuzurechnen sind, fallen nicht in den Anwendungsfall; beispielsweise Brücken und Tunnel. Die Norm erstreckt sich auf die Herstellung von Bauteilen und Bauwerken. Es besteht also ein unmittelbarer zeitlicher Bezug zur Ausführung. Dies gilt auch für Einzelbau- und Fertigteile, die separat räumlich und zeitlich getrennt von der Baustelle hergestellt werden. Zu den weiteren relevanten Normen mit Toleranzvorgaben in einzelnen Gewerken, z.B. Mauerwerks- und Holzbau, siehe Ertl (2008, Teil C). Spätestens mit dem Einfügen in das Bauwerk fallen aber auch solche Bauteile in den Anwendungsbereich der DIN 18202.

Die wichtigsten Begriffe der DIN 18202 geben die Abb. 2, 3 und 4 wieder. Eine Maßabweichung bezeichnet die Differenz zwischen Ist- und Nennmaß. Der früher gebräuchliche Begriff des unteren/oberen Abmaßes ist durch untere/obere Grenzabweichung ersetzt worden. Bei symmetrischen Verhältnissen, dem Regelfall im Hochbau, wird die Maßtoleranz T als Grenzabweichung mit $\pm T/2$ bezogen auf das Nennmaß angegeben (siehe Abb. 2).

Das Stichmaß (Abb. 3) ist ein Hilfsmaß zur Ermittlung der Istabweichungen von der Winkeligkeit, der Flucht und der Ebenheit.

Als Winkelabweichung, frühere Bezeichnung Winkeltoleranz, wird die Differenz zwischen Ist- und Nennwinkel, angegeben als Stichmaß bezogen auf ein Nennmaß definiert (Abb. 4).

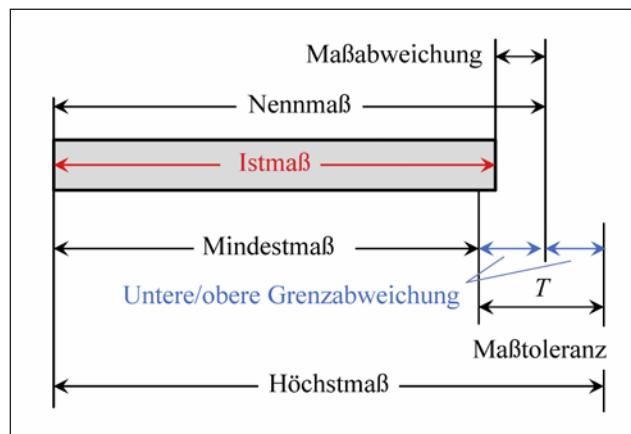


Abb. 2: Maßbegriffe der DIN 18202 (2013)

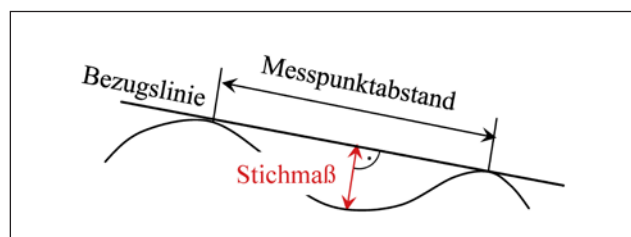


Abb. 3: Stichmaß und Messpunktabstand

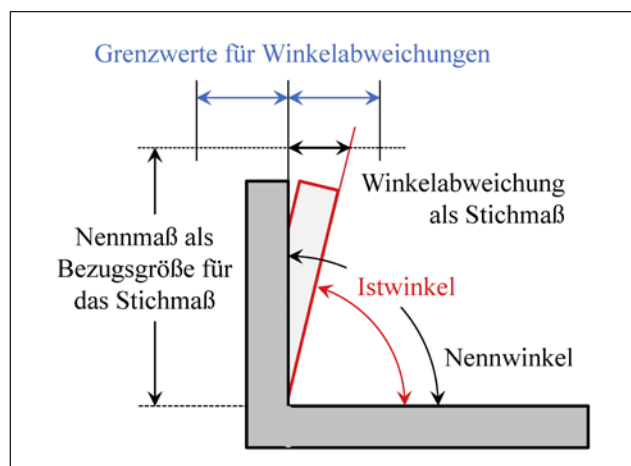


Abb. 4: Begriffe zur Winkelabweichung

In DIN 18202 werden festgelegt:

- Grenzabweichungen für Maße,
- Grenzwerte für Winkelabweichungen,
- Grenzwerte für Abweichungen von der Flucht und
- Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen.

Die Grenzabweichungen beziehungsweise Grenzwerte sind für näher spezifizierte Situationen in den Tab. 1 bis 4 der DIN 18202 zusammengestellt. Die Gültigkeit erstreckt sich bis zu Nennmaßen von max. 60 m. Man findet keine Grenzabweichungen unmittelbar für Koordinaten. Hierzu heißt es, dass die Lage von Bauwerken und Bauteilen über einen anzugebenden Bezug (Grenzbezug, Achsbezug, Mittellage, Randlage) einem Koordinatensystem zugeordnet wird und die notwendigen Bezugspunkte vor Bauausführung festzulegen sind. Somit sind ein überge-

ordnetes Baustellensystem und lokale Koordinatensysteme zu unterscheiden. Damit wird es möglich, Ausführung (d.h. damit verbunden die Absteckung) und Prüfung auf die vier genannten Bereiche Maße, Winkel, Flucht und Ebenheit zurückzuführen und die DIN 18202 mit ihren Vorgaben anzuwenden.

Die Lage- (Maße, Winkel) und Formmaße (Flucht, Ebenheit) gelten je für sich allein, unabhängig von den anderen. Oft sind mehrere Bereiche zugleich zu betrachten. Beispiel: Ein horizontal zu fertigender Fußboden hat eine Ausdehnung (Maße), die Forderung nach Horizontalität (»Nullgefälle«) sowie im Regelfall Rechtwinkligkeit und die Anforderungen an die Ebenheit zu erfüllen. Durch Ausnutzen der Grenzwerte beziehungsweise Grenzabweichungen des einen Bereichs dürfen die entsprechenden Grenzwerte beziehungsweise Grenzabweichungen eines anderen Bereichs nicht überschritten werden. DIN 18202 besagt ausdrücklich, dass jeder Bereich für sich zu prüfen ist.

3.2 Grundsätze der Prüfung

Die Prüfung auf Einhaltung von Toleranzen bedeutet das Feststellen von Istmaßen und deren Vergleich mit den Nominalmaßen (Nennmaße beziehungsweise Stichmaße als Grenzwerte) mit einer sich anschließenden Entscheidung. Dabei sind, symmetrische Verhältnisse unterstellt, die in Abb. 5 veranschaulichten Fälle denkbar. Im Vorwort der DIN 18202 (2013) heißt es: »Die Vorgehensweise bei der Prüfung von Maßabweichungen in der Praxis und die Zuordnung praktischer Anwendungsfälle in die Systematik der Toleranzarten dieser Norm ist nach der Erfahrung ein Schwerpunkt für Fehlanwendungen«. Um zu verhindern, dass singuläre Maßabweichungen, die nicht charakteristisch für die Maßhaltigkeit sind, das Prüfergebn beeinflussen, sind die Messpunkte für lichte

Maße, Winkel- und Fluchtabweichungen möglichst in einem Abstand von etwa 10 cm von den Ecken und Kanten zu legen. Davon kann abgewichen werden, wenn solche singulären Effekte nicht zu erwarten sind.

Bei der Prüfung bleibt die Wahl des Messinstrumentariums und des -verfahrens dem Prüfenden vorbehalten. Beides ist jedoch zu dokumentieren, zusammen mit der damit verbundenen Messunsicherheit anzugeben und, wie es in der DIN 18202 (2013) schlicht heißt, »bei der Beurteilung zu berücksichtigen«. Ein adäquates und in der Praxis etabliertes Verhältnis V einer Toleranz T zur Messunsicherheit $u = \sigma$ des zu bestimmenden Istmaßes bei der Toleranzprüfung ist mit

$$\frac{\sigma}{T} \leq 0,2; \quad V = \frac{\sigma}{T} \quad (1)$$

gegeben. Siehe hierzu auch Hennecke et al. (1988), Schwarz (1995) und DIN 18710-1 (2010) mit Begründungen für diese einzuhaltende Relation, die zum Teil auch mit $V = 0,1$ angeführt wird (vgl. Ertl 2008, S. 92). Die Abb. 5 zeigt, dass sich mit $V \leq 0,2$ der Fall 3 einer nicht eindeutigen Entscheidung zumindest weitgehend vermeiden lässt. Bei einer möglichen Toleranzüberschreitung (im Fall 3) wäre ein Messverfahren bei Wiederholung so anzulegen, dass die Zone der Messunsicherheit und damit V verkleinert wird, um eine bessere Entscheidungsgrundlage zu haben. Neben der Relation V als solcher ist ein eindeutiges Verständnis des Zählers in (1) zu beachten.

Als Messunsicherheit u definiert DIN V ENV 13005 (1999, Abschnitt 2.2.3) einen »dem Messergebnis zugeordneten Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnten«. In der ersten Anmerkung nach der Definition heißt es, dass dieser Parameter beispielsweise eine Standardabweichung sein kann. Die Messunsicherheit umfasst mehrere Anteile, die sich aus der statistischen

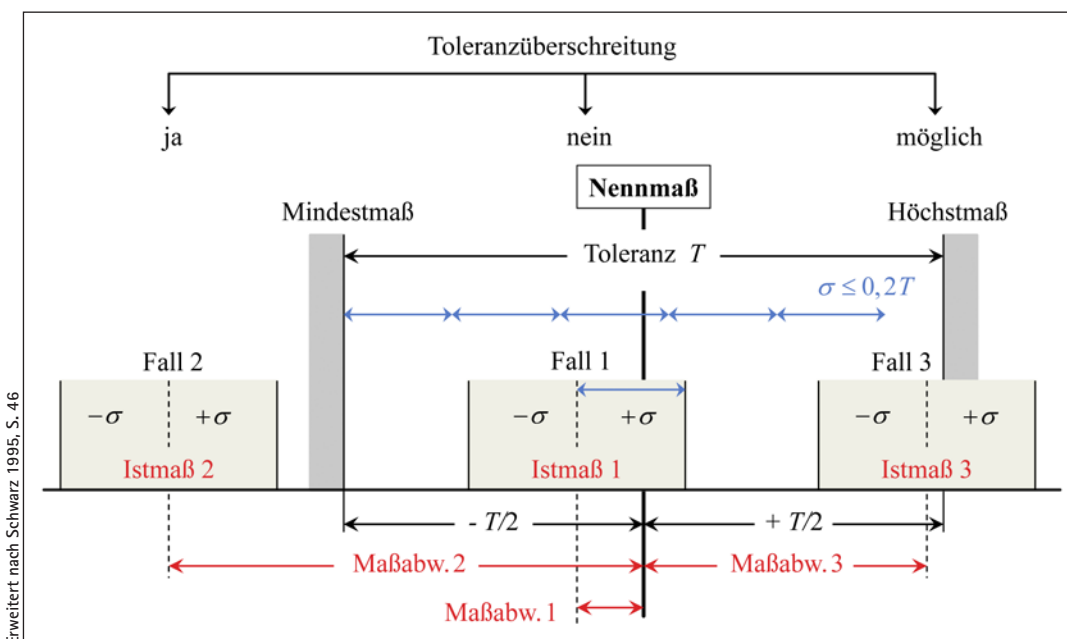


Abb. 5: Prüfung auf Toleranzüberschreitung

Erweitert nach Schwarz 1995, S. 46

Verteilung der Ergebnisse einer Messreihe ermitteln lassen (sog. Komponente A) und/oder sich auf angenommenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen, aus der Erfahrung oder anderen Informationen gründen (sog. Komponente B). Es wird somit eine explizite Berücksichtigung von insbesondere Zentrier-, Justier- und Kalibrierunsicherheiten bei der Bestimmung einer Messunsicherheit verlangt. Vergleiche hierzu auch Pelzer (1985, S. 58 ff.), wo ein Messprozess in seine derartigen elementaren Bestandteile aufgliedert wird.

Es ist folglich zulässig, dass der die Messunsicherheit kennzeichnende Parameter u eine analytisch ermittelte (Vergleichs-)Standardabweichung σ sein kann. Dies setzt allerdings voraus, dass diese aus Wissen und Erfahrungen abgeschätzte Größe σ sowohl die Komponente A (stochastische Anteile) als auch B (aus anderen Quellen abgeleitete Informationen, z. B. Kalibrierprotokolle) nach DIN V ENV 13005 (1999) subsumiert, d. h. eine realistische Abschätzung der tatsächlich erreichbaren (»äußeren«) Genauigkeit darstellt. Vergleichsbedingungen liegen dann vor, wenn die Messbedingungen gänzlich oder zumindest so verändert werden, dass Unterschiede noch enthaltener systematischer (Rest)Abweichungen wirksam werden und sich dann im Streuverhalten bei der Bestimmung einer Messgröße zeigen würden (vgl. DIN 18709-4 2010). Eine so empirisch ermittelte Standardabweichung ist von einer Wiederholstandardabweichung wohl zu unterscheiden, bei der allein die Komponente A der DIN V ENV 13005 (1999) berücksichtigt wird.

In den nachfolgenden Genauigkeitsabschätzungen für die zu bestimmenden Istmaße mit Hilfe des Kovarianzfortpflanzungsgesetzes – KFG – (u. a. Höpcke 1980, Heunecke et al. 2013), die DIN 1319-4 (1999) spricht vom Gauß-Verfahren, sind die eingehenden Standardabweichungen σ der geodätischen Observablen so angenommen, dass sie als Messunsicherheiten verstanden werden können, also ein im Sinne der DIN V ENV 13005 (1999) vernünftiges Streuverhalten beschreiben. Da Auswertungen im Regelfall in Stufen erfolgen, gelten die Forderungen der DIN V ENV 13005 (1999) auch für die Messwerte selbst, da sie durch das Anbringen von Korrekturen und Reduktionen ihrerseits bereits ein (Mess)Ergebnis darstellen. Siehe hierzu auch DIN 18710-1 (2010, A.2.5): »Häufig erfolgt die Auswertung von Vermessungen in zeitlich oder inhaltlich aufeinanderfolgenden Schritten, wobei die Messergebnisse eines vorhergehenden Schrittes mit weiteren Messergebnissen (oder Messwerten) erneut verarbeitet werden«. Die sich aus einer weiteren Auswertestufe ergebenden Standardabweichungen für abgeleitete Zielgrößen, hier den Istmaßen, sind dann ebenfalls als Angaben zur Messunsicherheit zu interpretieren.

Aussagen zur Verteilung der Observablen sind beim KFG zunächst nicht erforderlich. In überbestimmten Messkonfigurationen (z. B. die Bestimmung einer Geraden wie in Abb. 7 mit mehr als zwei Messpunkten) sind die gemachten Betrachtungen um die Möglichkeiten der Ausgleichsrechnung zu erweitern, was unter anderem

ein leichteres Erkennen von ausreißenden Messwerten eröffnet und die Zuverlässigkeit eines Messergebnisses erhöht, nachfolgend jedoch nicht weiter vertieft wird.

Betrachtet man die Toleranz als eine vorgegebene und nicht zu hinterfragende Größe, ist zur Beurteilung eines geeigneten Messverfahrens wegen (1) bei der Toleranzprüfung zu zeigen, dass $\sigma \leq 0,2T$ gegeben ist. Ist eine höhere Anforderung an ein Messverfahren gewünscht (z. B. $V = 0,1$), sind die nachfolgenden Betrachtungen unter diesem schärferen Kriterium entsprechend zu deklinieren. Im Ergebnis einer Prüfung sind die ermittelten Maßabweichungen (siehe Abb. 2) stets in einer der Abb. 5 entsprechenden Form auf Toleranzüberschreitung zu bewerten.

Alle Grenzwerte für Stichmaße, hier als t_G bezeichnet, sind in der DIN 18202 (2013) als absolute Werte, also unabhängig von einem Richtungsbezug der Abweichung angegeben; der Zusatz »±« ist entbehrlich (vgl. Ertl 2008, S. 60). Als Maßgabe für die Eignung eines Messverfahrens zur Prüfung von Winkeln, der Abweichung aus der Flucht und der Ebenheit gilt somit die zu wählende Relation

$$\sigma_t \leq 0,4t_G \quad (2)$$

bei der Bestimmung eines Stichmaßes t .

4 Prüfung von Maßen mittels Tachymetrie

Neben einer direkten Bestimmung von Istmaßen mittels z. B. Messband oder Laserentfernungsmesser (Disto) ist eine tachymetrische Messung entsprechend Abb. 6 möglich, insbesondere bei größeren Istmaßen und an Stellen, wo eine direkte Bestimmung nicht durchführbar ist. Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass Horizontalstrecken im Bezugssystem der Baumaßnahme vorliegen und alle erforderlichen Korrekturen und Reduktionen dementsprechend angebracht sind. Die jeweiligen a priori Standardabweichungen für die Horizontalstrecken und

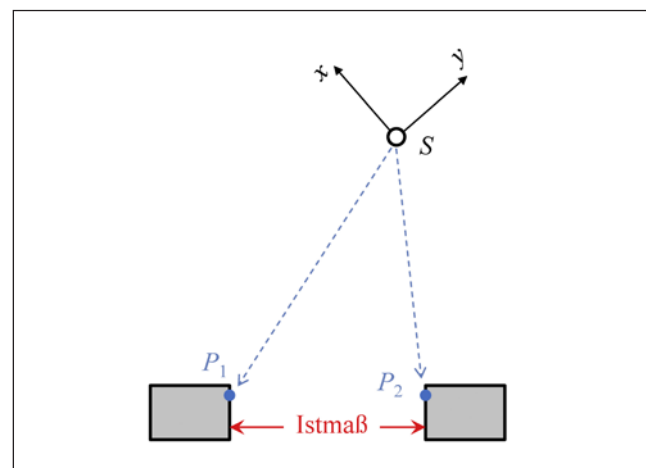


Abb. 6: Tachymetrische Prüfung eines Istmaßes (schematisch)

die Horizontalrichtungen sind σ_s und σ_r , d. h. verstanden im Sinne von Messunsicherheiten ist für ihre konkrete Ermittlung insbesondere auch die Komponente B nach DIN V ENV 13005 (1999) zu berücksichtigen.

Die Abb. 6 zeigt eine schematisierte Situation, in der die Endpunkte P_1 und P_2 des zu bestimmenden Istmaßes unmittelbar über reflektorlose Distanzmessung angemessen werden. Die lokale x -Richtung sei Teilkreisnull. In den Fällen, wo die Materialoberfläche und/oder ein ungünstiger Auftreffwinkel erwarten lassen müssen, dass die reflektorlose Distanzmessung systematisch verfälscht wird, wäre ein Reflektor mit Adapter zu verwenden.

Über polares Anhängen (z. B. Kahmen 1997) ergeben sich die Koordinaten X aus den Messwerten L und mittels KFG beziehungsweise dem Gauß-Verfahren ist die zugeordnete Kovarianzmatrix Σ_{XX} zu berechnen. Mit $X = \phi(L)$ gilt somit

$$\Sigma_{XX} = F \Sigma_{LL} F^T ; \quad F = \frac{\partial \phi(L)}{\partial L} . \quad (3)$$

Die Funktionalmatrix F wird verschiedentlich auch als Matrix der Sensitivitätskoeffizienten bezeichnet. Aus dem Vektor X ist das Istmaß über den Satz des Pythagoras als abgeleitete Größe $Y = \phi(X)$ zu bilden. Die Varianz σ_Y^2 resultiert zu

$$\sigma_Y^2 = G \Sigma_{XX} G^T = G F \Sigma_{LL} F^T G^T ; \quad (4a)$$

$$G = \frac{\partial \phi(X)}{\partial X} = [-\cos t_{12} \quad -\sin t_{12} \quad \cos t_{12} \quad \sin t_{12}] . \quad (4b)$$

Bezeichnet ΔY die Maßabweichung, kann bei Annahme einer normalverteilten Testgröße mit

$$\frac{|\Delta Y|}{\sigma_Y} \sim N(0,1) \quad (5)$$

ein Test auf signifikante Abweichung des Istmaßes gegenüber dem Nennmaß durchgeführt werden (Heunecke et al. 2013, Abschnitt 4.3.3). Ein Messwert gilt statistisch betrachtet als signifikant abweichend, wenn der Betrag von ΔY den 2,77-fachen Betrag seiner Standardabweichung σ_Y erreicht. Basierend auf (1) ist für eine Aussage zur Toleranzeinhaltung beziehungsweise -überschreitung hier jedoch gefordert, dass $V \leq 0,2$ für ein geeignetes Messverfahren gegeben ist.

Als Beispiel möge ein Maß im Grundriss von ca. 9 m zu prüfen sein. Mit einem Abstand des Instrumentenstandpunkts S von etwa 12 m von dem zu prüfenden (Spann) Maß und den hier angenommenen, im Sinne einer Messunsicherheit abgeschätzten Werten $\sigma_s = 3$ mm sowie $\sigma_r = 6$ mgon (1 mm/10 m) resultiert in solchen Konfigurationen $\sigma_Y \approx 2-3$ mm. Bei modernen Tachymetern, wie diese zu Bauvermessungen im Allgemeinen benutzt werden, findet man als typische Spezifikationen für die re-

flektorlose Distanzmessung $\sigma_s \approx 2$ mm + 2 ppm (nach ISO 17123-4, 2011) und für die Winkelmessung $\sigma_r \approx 1-2$ mgon (nach ISO 17123-3, 2001). Bei den hier unterstellten kurzen Distanzen kommt der entfernungsabhängige Anteil nicht zum Tragen. Die auch in den folgenden Abschätzungen gemachten Annahmen zu den Standardabweichungen für die Horizontalstrecken und die -richtungen dürfen somit als realistische Messunsicherheiten angesehen werden, solange sie nicht von systematischen Effekten überlagert sind. Wie bereits erwähnt, sind gegebenenfalls mit Adaptern ausgestatte Reflektoren zu verwenden, um definiert Punkte bei ungünstigen Situationen mit der genannten Distanzgenauigkeit messen zu können; der Vorteil des berührungslosen Erfassens geht dabei allerdings verloren.

Bei einer Toleranz von $T = \pm 20$ mm (siehe Tab. 1 DIN 18202, Zeile 1) und somit $V \approx 0,1$ ist die Tachymetrie unter den gemachten Genauigkeitsannahmen in der skizzierten Konfiguration ein zulässiges Messverfahren entsprechend (1). Selbst wenn man die kleinsten Grenzabweichungen der Tab. 1 der DIN 18202 (2013) betrachtet, dabei die Zielweiten ca. 20 m nicht übersteigen und σ_s sowie σ_r mit den vorstehend genannten Werten unterstellt werden können, ist die Tachymetrie ein jederzeit anwendbares Messverfahren zur Prüfung von Maßen.

5 Prüfung von Winkeln mittels Tachymetrie

Aus dem Vektor X bestehend aus den Koordinaten von vier Punkten entsprechend der Abb. 7 lässt sich der gesuchte Istwinkel $\alpha = t_{12} - t_{34}$ aus den örtlichen Richtungswinkeln ableiten. Die Abb. 7 gilt für den Grundriss; die Prüfung eines Winkels im Aufriss (z. B. Schiefstellung einer Wand) ist sinngemäß durch Geradenschnitt möglich. Ausgehend von der Matrix Σ_{XX} gemäß (3) und mit den Differenzialquotienten für Richtungswinkel (z. B. Nie-meier 2008, S. 151) ist die Jacobi-Matrix G aufzustellen und es resultiert σ_α^2 analog (4a). Eine kleine Maßabweichung $\Delta\alpha$ (angegeben in Radiant) unterstellt, ergibt sich

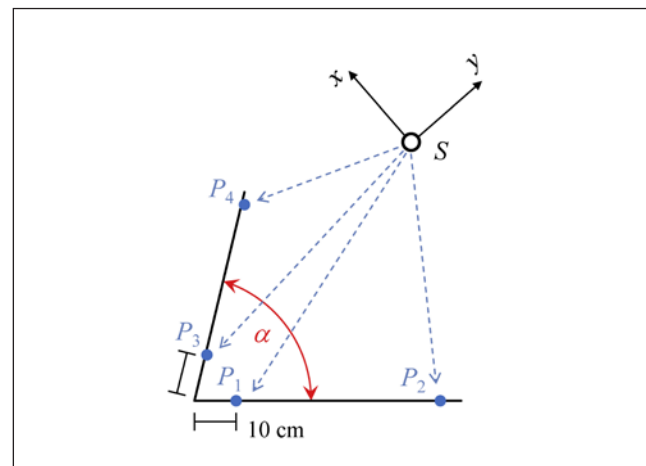


Abb. 7: Tachymetrische Prüfung eines Winkels (schematisch)

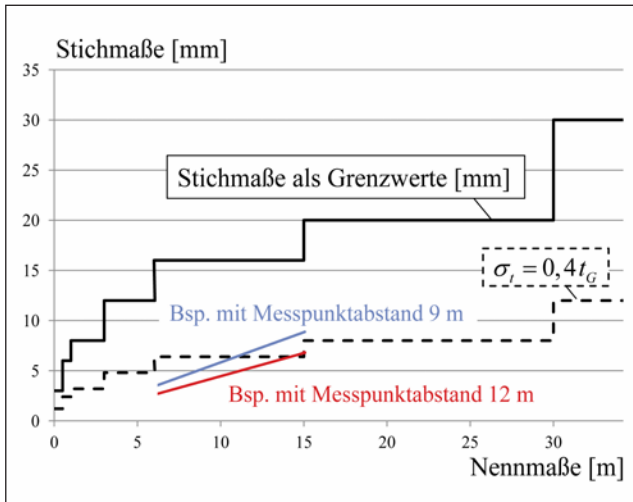


Abb. 8: Grenzerte für Winkelabweichungen nach DIN 18202, Tab. 2 (2013)

bei einem Nennmaß r die Winkelabweichung als Stichmaß t (siehe Abb. 4) mit einer Standardabweichung σ_t zu

$$t = \Delta\alpha r; \quad \sigma_t = \sigma_\alpha r. \quad (6)$$

Die Abb. 8 zeigt den diskreten Funktionsverlauf der Grenzerte für Winkelabweichungen nach DIN 18202, Tab. 2 (2013) aufgetragen über den Nennmaßen. Das Kriterium (2) führt auf den gestrichelt dargestellten Funktionsverlauf als einzuhaltende Anforderung.

Entsprechend der Abb. 7 sei ein Winkel zu prüfen. Um ein numerisches Beispiel zu geben, betragen die Zielweiten bis ca. 15 m, die Standardabweichungen der Strecken und Richtungen sind wiederum mit $\sigma_s = 3$ mm sowie $\sigma_r = 6$ mgon angenommen und der Messpunktabstand sei $\overline{P_1P_2} \approx \overline{P_3P_4} \approx 9$ m. Es ergibt sich der in Abb. 8 in blau gezeigte Verlauf für σ_t , der besagt, dass bis zu einem Nennmaß von ca. 10 m in dieser Konstellation geprüft werden darf. Die Bestimmung des Istwinkels α hängt stark von den Messpunktabständen ab. Ist es möglich, diesen Abstand auf ca. 12 m zu vergrößern, können Winkel bis zu einem Nennmaß von 15 m unter den getroffenen Annah-

men geprüft werden (siehe den in rot dargestellten Verlauf von σ_t). Das Beispiel zeigt somit, dass auch die Toleranzprüfung von Winkeln mit der Tachymetrie unter den in Abschnitt 4 diskutierten Einschränkungen hinsichtlich der geforderten Qualität möglich ist.

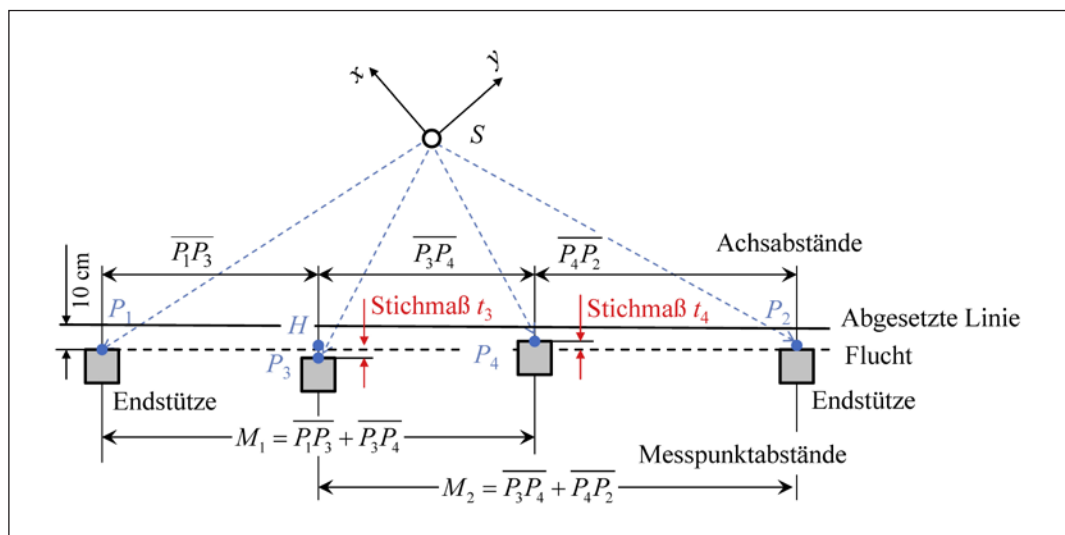
Anders als die generelle Aussage zur Eignung der Tachymetrie bei der Prüfung von Maßen (Abschnitt 4), sind bei der Prüfung von Winkeln jedoch die Konfigurationen, insbesondere die Messpunktabstände, im Detail zu berücksichtigen, um den konkreten Nachweis der Eignung zu führen. In jedem Fall gilt dies bei erhöhten Anforderungen wie etwa $V = 0,1$ und somit $\sigma_t = 0,2t_G$. In der Praxis erfolgt die Prüfung von rechten Winkeln bis dato üblicherweise durch das Anlegen eines rechtwinkligen Hilfsdreiecks mit ganzzahligen Seitenabmessungen oder unter Verwendung eines Rotationslasers, wobei die jeweiligen Stichmaße mittels Messband bestimmt und manuell protokolliert werden (Ertl 2008, S. 113 ff.).

6 Prüfung auf Fluchtabweichung

Die DIN 18202 (2013) behandelt allein die Fluchtabweichung von Zwischenstützen aus einer horizontalen Verbindungslinie zwischen den Endstützen entsprechend der Abb. 9. Lagefehler der beiden Endstützen sind getrennt von der Fluchtabweichung hinsichtlich ihrer Grenzabweichungen zu beurteilen (Ertl 2008). Eine wie in der Abb. 9 schematisch eingetragene tachymetrische Bestimmung mit freier Standpunktwahl ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Flucht verbaut oder nicht zugänglich ist (z.B. im Deckenbereich). Gegebenenfalls ist die Punktbestimmung auch auf eine abgesetzte Linie zu beziehen, die Abb. 9 geht von einer Messung unmittelbar an den Stützen aus.

Im Ergebnis der tachymetrischen Aufnahme liegen zunächst wiederum der Vektor X der Koordinaten der aufgenommenen Punkte und seine zugeordnete Kovarianzmatrix Σ_{XX} vor, siehe (3). In die durch die Punkte P_1

Abb. 9: Prüfung der Lage von Zwischenstützen mittels Tachymetrie (schematisch)



und P_2 definierte Flucht sind orthogonale Hilfspunkte (Lotfußpunkte) einzurechnen, um die Stichmaße für die Zwischenstützen zu ermitteln. In der Abb. 9 ist dies mit dem Punkt H bei P_3 verdeutlicht. Um das Stichmaß t_3 berechnen und bewerten zu können, bildet man den Vektor $\mathbf{Y}^T = [X_3 \ Y_3 \ X_H \ Y_H] = \phi(\mathbf{X})^T$ als Zwischengröße. Zur Aufstellung der Jacobi-Matrix \mathbf{G} geht man bzgl. des Hilfspunkts zweckmäßigerweise zur numerischen Differenziation über (Höpcke 1980, S. 54f.; Niemeier 2008, S. 65) und mit der sich ergebenden Kovarianzmatrix

$$\Sigma_{YY} = \mathbf{G}\Sigma_{XX}\mathbf{G}^T; \quad \mathbf{G} = \frac{\Delta\phi(\mathbf{X})}{\Delta\mathbf{X}} \quad (7)$$

des Funktionsvektors \mathbf{Y} kann über nochmalige Anwendung des KFG die Unsicherheit des Stichmaßes entsprechend Abschnitt 4 bestimmt werden.

Für eine Situation wie in Abb. 9, in der der angenommene Stützenabstand ca. 10 m, also $M_1 \approx 20$ m beträgt und die Zielweiten je nach Aufstellungsort des Tachymeters zwischen 15 m und 30 m liegen, lässt sich zeigen, dass mit den auch hier angenommenen Werten $\sigma_s = 3$ mm sowie $\sigma_r = 6$ mgon ein Stichmaß mit $\sigma_t \approx 3-4$ mm ermittelt werden kann. Damit ist es mittels Tachymetrie unter den in Abschnitt 4 diskutierten Einschränkungen möglich, die in Tab. 4 der DIN 18202 (2013) genannten Grenzwerte für Fluchtabweichungen unter Wahrung der Relation (2) zu prüfen.

7 Prüfung auf Ebenheit mittels Nivellement

Als Verfahren zur Prüfung auf Ebenheit nennt die DIN 18202 (2013) eine Richtlatte mit Verwendung von Messkeilen sowie, ohne dabei ein Instrument zu bezeichnen, das Flächennivellement. Bei der Prüfung der Ebenheit einer Wand mit einem Rotationslaser wäre dieser etwa

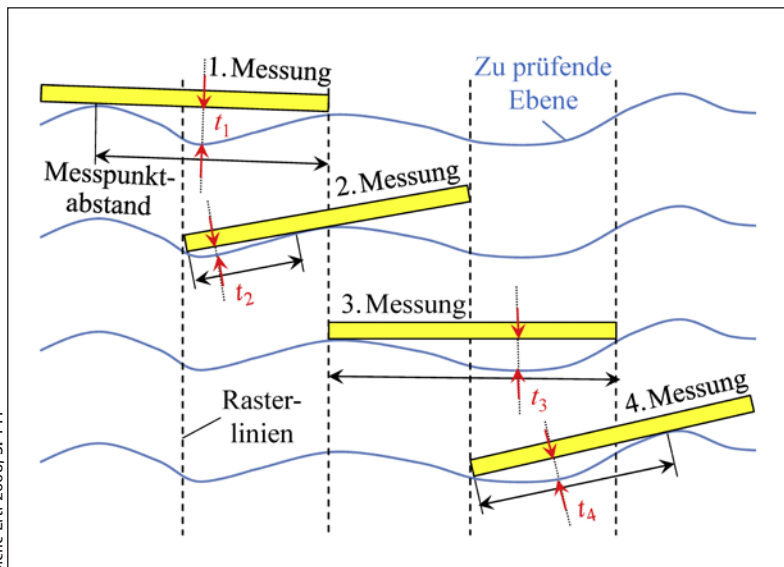


Abb. 10: Prüfung mit einer Richtlatte

Tab. 1: Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen (Auszug Tab. 3, DIN 18202 2013)

Bezug	Stichmaß [mm] als Grenzwerte bei Messpunkt-abständen [m] bis				
	0,1	1	4	10	15
Flächenfertige Böden	2	4	10	12	15
Flächenfertige Böden, erhöhte Anforderungen	1	3	9	12	15

dann so einzustellen, dass er eine Vertikalebene als Bezug aufspannt.

Die Grenzwerte für die Ebenheitsabweichung (frühere Bezeichnung Ebenheitstoleranz), die in der Tab. 3 der DIN 18202 (2013) für unterschiedliche Messpunkt-abstände angegeben sind (Auszug siehe Tab. 1), müssen für alle Kombinationen jeweils zweier Hochpunkte einer Fläche, die den jeweiligen Messpunkt-abstand bestimmen, und dem dazwischen gemessenen Stichmaß an der »tiefsten« Stelle eingehalten sein. Es ist darauf zu achten, das Stichmaß t rechtwinklig zur Bezugslinie zu bestimmen (siehe Abb. 3).

Es müssen folglich sowohl die kurzwelligen als auch die langwelligen Anteile einer Unebenheit geprüft werden. Zwischenwerte für die Messpunkt-abstände sind durch lineare Interpolation der Tabellenwerte zu nehmen (Ertl 2008, S. 66). Im Allgemeinen ist die Ebenheitsprüfung nur stichprobenartig zu leisten, jedoch sind die Istabweichungen einer Fläche möglichst treffend zu beschreiben. Das Vorgehen mit einer Richtlatte illustriert die Abb. 10. Messungen unter den auskragenden Enden der Richtlatte sind nicht zulässig. Ebenso darf nicht mit einer nach der Horizontalen oder Vertikalen ausgerichteten Messlatte operiert werden, da dies zu Überlagerungen mit einer etwaigen Winkelabweichung einer Fläche führt. Die Betrachtung der Ebenheitsabweichung bezieht sich immer auf den Verlauf einer Fläche innerhalb ihrer Ränder, unabhängig von deren Lage im Bezugssystem der Baumaßnahme.

Beim Flächennivellement wird die Höhenlage der zu prüfenden Fläche bezogen auf den Nivellierhorizont nur in den zuvor gekennzeichneten Rasterpunkten gemessen. Die Abweichung der Höhe wird für jeden Rasterpunkt in Bezug auf die benachbarten Rasterpunkte durch Interpolation ermittelt; siehe Abb. 11. Ziel ist es, zu allen relevanten Messpunkt-abständen der Tab. 3 DIN 18202 (2013) die Stichmaße rechnerisch zu bestimmen, wobei diese hier allerdings nicht streng senkrecht zur Bezugslinie $\bar{P}_1\bar{P}_2$ stehen. Generelle Hinweise zur Prüfung der Ebenheit gibt Ertl (2008, S. 72 ff. und S. 127 ff.).

Siehe Ertl 2008, S. 141

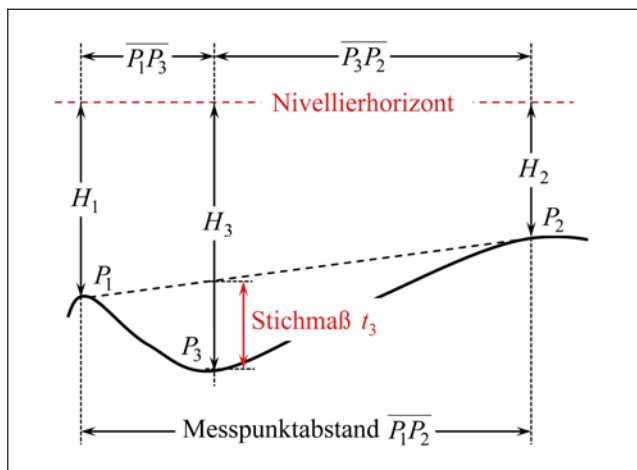


Abb. 11: Bestimmung eines Stichmaßes durch Interpolation

Für einen beliebigen Abstand eines Punkts P_3 zu seinen nivellierten Nachbarpunkten P_1 und P_2 gilt bei linearer Interpolation für das Stichmaß

$$t_3 = H_3 - H_1 + (H_1 - H_2) \frac{\overline{P_1P_3}}{\overline{P_1P_2}}. \quad (8)$$

Man erhält für die Varianz eines Stichmaßes

$$\sigma_t^2 = \sigma_H^2 \mathbf{F} \mathbf{F}^T \quad \text{mit} \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \frac{\overline{P_1P_3}}{\overline{P_1P_2}} - 1 & -\frac{\overline{P_1P_3}}{\overline{P_1P_2}} & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

wenn σ_H die Standardabweichung einer Höhenbestimmung bezeichnet. Damit gilt für jedes Stichmaß $\sigma_t \leq \sqrt{2} \sigma_H$ und für ein geeignetes Messverfahren ist wegen (2) $\sigma_H \leq 0,23 t_G$ zu gewährleisten. Bei einem $t_G = 3$ mm wie in Tab. 1 bei flächenfertigen Böden mit erhöhten Anforderungen und einem Messpunktabstand bis 1 m bedeutet dies einen einzuhaltenden Wert von $\sigma_H \leq 0,7$ mm. Hierbei bestimmen Justierzustand des Nivelliers beziehungsweise Rotationslasers und Aufsetzmöglichkeit der Nivellierlatte auf die Fläche, d.h. Einflussgrößen der Komponente B des Leitfadens zur Bestimmung der Unsicherheit beim Messen (DIN V ENV 13005 1999), maßgeblich, ob diese Anforderung an die Standardabweichung (im Sinne einer Messunsicherheit) für einen »Seitenblick« erreicht werden kann. Auch den erhöhten Anforderungen flächenfertiger Böden genügt bei der Prüfung auf Ebenheit das Flächennivellement damit im Allgemeinen, wenn man davon ausgeht, dass entsprechendes Präzisionsinstrumentarium eingesetzt und bei Messpunktabständen bis 0,1 m anderweitig geprüft wird. Für Messpunktabstände bis 0,1 m, siehe die Tab. 3 der DIN 18202 (2013), bieten Nahbereichsscanner eine Option.

Beim Flächennivellement sind für die Toleranzprüfung Ebenheits- und Winkelabweichungen (insbesondere Neigungen von Böden und Decken, ergo die Schiefstellungen von Wänden und Fassaden) zu differenzieren (siehe hierzu Ertl 2008, S. 105 und S. 147 ff.), da jedes Merkmal für sich zu bewerten ist. Dies ist zu leisten, wenn man

mit einer Regressionsebene (Niemeier 2008, S. 393 f.) die zu prüfende Fläche approximiert und von den Stichmaßen aus dem Flächennivellement, siehe Abb. 11, abspaltet. Während Ertl (2008) ausführt, die idealisierte Ebene mit ihren Neigungen gegenüber der Horizontalen durch ausgewählte Punkte in Randlage festzulegen, ergeben sich bei Verwendung aller nivellierten beziehungsweise interpolierten Punkte in der Regression die Residuen als unmittelbare Größen zur Beschreibung der Abweichungen von der Ebene. Die ermittelten Regressionsparameter beinhalten die Neigungen und damit die gesuchten Winkelabweichungen gegenüber der Horizontalen. Entscheidend für eine Bewertung sind die jeweiligen Maximalwerte bezogen auf die Messpunktabstände in den kritischen Bereichen der zu prüfenden Fläche.

8 Nutzung des terrestrischen Laserscannings

Die grundsätzliche Eignung des terrestrischen Laserscannings (TLS) für baugemessische Kontrollen steht außer Frage (z.B. Glabsch et al. 2010, Schäfer und Schmidt-Böllert 2011). Von Vorteil ist insbesondere die flächenhafte Erfassung auch unzugänglicher Bereiche, sofern die Sichtmöglichkeiten gegeben sind. Zwar sind Maßabgriffe unmittelbar in der Punktwolke möglich, aber bei der Toleranzprüfung von Winkeln und Abweichungen aus der Flucht wird man im Regelfall Schnitte legen und in diesen die konstruktiven Bauteile, z.B. die Stützen, anhand geometrischer Primitive modellieren. Um singuläre Maßabweichungen zu vermeiden, können dabei die Eck- und Randbereiche erforderlichenfalls ausgespart werden.

Im Folgenden ist angenommen, dass in einem Horizontalschnitt für die als repräsentativ identifizierten Endpunkte eines Istmaßes $\sigma_X = \sigma_Y = 4$ mm gilt. Für die Ermittlung der Genauigkeiten abgeleiteter Größen sind die Korrelationen ρ_{XY} zu beachten. Siehe z.B. Koch und Kuhlmann (2009), die eine Monte-Carlo-Simulation vorschlagen, um Korrelationen beim TLS quantifizieren zu können. Geht man davon aus, dass punktbezogen $\rho_{XY} \leq +40\%$ zutrifft, ist es möglich, den meisten der in Tab. 1 der DIN 18202 (2013) genannten Anforderungen für die Grenzabweichungen von Maßen zu genügen.

Mit mehr als zwei Punkten auf einer Geraden, wird es für die Prüfung von Winkeln mit Hilfe der Ausgleichsrechnung möglich, die Genauigkeit einer generierten Geraden aus n Punkten und aus dem Schnitt mit einer zweiten Linie mit m Punkten die Genauigkeit eines Istwinkels streng zu bestimmen. Betrachtet man den Grenzfall $n = m = 2$ und nimmt für die vier Punkte die zuvor genannte TLS-Bestimmungsgenauigkeit an, können bei $\overline{P_1P_2} \approx \overline{P_3P_4} \approx 9$ m, vergleiche das Vorgehen in Abschnitt 5 und Abb. 8, Winkel bis zu einem Nennmaß von 7,5 m geprüft werden.

Unsaßbarer Vorteil des TLS sind die vielfältigen Möglichkeiten der Visualisierung der aufgenommenen Bau-

geometrie. Die Abb. 12 zeigt exemplarisch die Bestimmung von Istwinkeln durch Geradenschnitt mit dem Programm Cyclone (Leica Geosystems), wie es auch für die Dokumentation einer Toleranzprüfung herangezogen werden kann. Neben den Istwinkeln sind die Messpunkt-abstände und die durch sie gegebenen Geradenabschnitte unter Aussparung der Eckbereiche (dargestellt in blau) sowie zusätzlich ein orthogonales Maß für die Fenster-

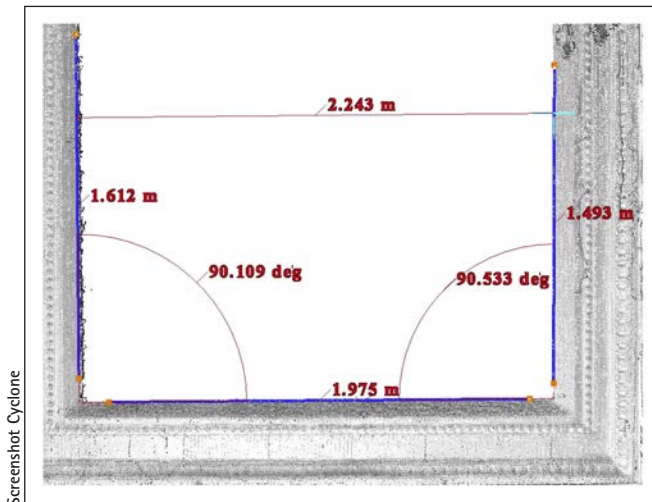


Abb. 12: Bestimmung von Istwinkeln und Breite bei einem Fenster

breite angegeben. Im Allgemeinen geben die gängigen TLS-Programme keine Genauigkeitsaussagen zu den gescannten Punkten und zu abgeleiteten Größen wie Spannmaßen oder Winkeln, sodass hierzu die grundlegenden Betrachtungen zur erreichbaren Messgenauigkeit genügen müssen, um bewerten zu können, ob die Anforderungen (1) beziehungsweise (2) für die ermittelten Maßabweichungen erfüllt sind. An dieser Stelle ist es für den Prüfenden viel mehr interessant und wichtig, die Güte und Repräsentativität der gescannten Punkte, die zur Bestimmung der Istmaße und damit den Maßabweichungen herangezogen werden, aus Wissen und Erfahrung einzuschätzen, zumal er ja letztlich auch für seine Entscheidung entsprechend der Abb. 5 haftet.

Für die Toleranzprüfung von Abweichungen von der Ebenheit tritt das TLS, was die erreichbare Messgenauigkeit belangt, an seine Grenzen. Jedoch ist es sehr bequem möglich, in beliebig gelegten Schnitten durch eine aufgenommene Fläche quasi mit einer »virtuellen Richtlatte« frei wählbarer Länge die orthogonalen Abstände, d. h. die Stichmaße, zur jeweiligen Bezugslinie zu bestimmen. Vergleiche hierzu das in Abb. 10 illustrierte Vorgehen. Somit ist das nachvollziehbare Auffinden von Maximalwerten in den verschiedenen Kombinationen von Messpunkt-abständen, siehe Tab. 1, am Auswerterechner gegeben: Die Toleranzprüfung wird umfassend ermöglicht und zugleich digital dokumentiert. Der erforderliche Stichprobenumfang der Prüfung, um die Istabweichungen einer Fläche möglichst treffend zu beschreiben, ergibt sich im Angesicht der gelegten Schnitte durch die Fläche und

den so identifizierbaren kritischen Bereichen während der Auswertung. Die Approximation einer Fläche als ausgeglichene Ebene, um Ebenheits- und Winkelabweichungen differenzieren zu können, gehört beim TLS zu den verfügbaren Standardgeometrien der Auswertesoftware.

9 Fazit

Die in der DIN 18202 (2013) angegebenen Toleranzen sind im Bereich Hochbau anzuwenden, soweit nicht andere Genauigkeiten vertraglich vereinbart werden. Sie geben einen Rahmen für die handwerkliche Sorgfalt der Ausführung an, ohne aber alle Anwendungsfälle vollständig abdecken zu können (Ertl 2008). Unter Beachtung einer etablierten Relation V gemäß (1), wie sie z. B. in DIN 18710-1 (2010) zu finden ist, sind die mittels Tachymetrie, Nivellement und TLS zu gewährleistenden Genauigkeiten bei der Bestimmung der jeweiligen Istmaße für die Toleranzprüfung im Allgemeinen ausreichend. Diese Aussage gilt allerdings nur, wenn verfälschende systematische Effekte bei den Messungen vermieden und die Messpunkte repräsentativ im Hinblick auf die Bestimmung der Istmaße gewählt werden. Unübersehbare Vorteile gegenüber den bisher üblichen händischen Verfahren sind in jedem Falle zu konstatieren.

Ein digitaler Datenfluss und Auswertegang erlauben es bei den genannten Messverfahren, die vollständigen Messergebnisse so bereitzustellen, wie es die Systematik der Toleranzarten der DIN 18202 verlangt, die Dokumentation der Vermessung unmittelbar sicherzustellen und die Auswertung jederzeit nachvollziehbar zu machen. Insbesondere bei der Tachymetrie ist es vorteilhaft, dass sich das Verfahren sowohl für die Absteckung als auch die Prüfung von Maßen, Winkeln und Fluchten eignet. Dabei erlauben Onboard-Programme, die die Kovarianzfortpflanzung beziehungsweise auch weitergehende Möglichkeiten durch die Ausgleichsrechnung integrieren, die unmittelbare Protokollierung eines vollständigen Messergebnisses in der jeweiligen Messkonfiguration in Abhängigkeit des verwendeten Tachymeters mit seinen Spezifikationen und der Berücksichtigung von weiteren Einflussgrößen. Standardapplikationen der Instrumentenhersteller bieten im Regelfall nicht die Möglichkeit, zu den Istmaßen, z. B. Spannmaßen, auch die Genauigkeit angeben zu können.

Ähnlich universell sind die Anwendungsmöglichkeiten des TLS für die Prüfung, wobei hier die Ergebnisse im Allgemeinen erst durch Auswertung im Büro zur Verfügung gestellt werden können. Die Protokollierung der erreichten Genauigkeit gestaltet sich bei dem komplexen Messsystem TLS schwieriger als bei der Tachymetrie, sodass im Allgemeinen pauschalisierte Betrachtungen herangezogen werden müssen. Demgegenüber stehen als Vorteil jedoch die vielfältigen Visualisierungsmöglichkeiten der aufgenommenen Baugeometrie, siehe exemplarisch die Abb. 12.

Bei lotbezogenen Messungen zur Prüfung der Ebenheit einer Fläche müssen rechnerisch Neigungen und Schiefstellungen, die als Winkelabweichungen zu bewerten sind, abgespalten werden, bevor eine Aussage zur Ebenheit gemacht werden kann. Die DIN 18202 verlangt, dass jedes Merkmal für sich zu prüfen ist – nicht jedoch, dass dafür getrennte Vermessungen durchzuführen sind. Es ist also von erheblichem Vorteil, wenn aus einem gewonnenen Datensatz (von Koordinaten) Aussagen zu mehreren zu prüfenden Merkmalen abgeleitet werden können.

Gegenwärtig werden in der Baupraxis die Potenziale geodätischer Messverfahren bei der Prüfung von Toleranzen noch nicht so genutzt, wie es sich nach deren Eignung aufdrängt. Die zunehmende Verwendung vorgefertigter Bauteile macht mehr als bisher eine gewerkübergreifende Planung hinsichtlich der zu beachtenden Toleranzen erforderlich und wird dazu führen, verstärkt prozessbegleitende Kontrollen für Maßabweichungen durchzuführen. Bei der Prüfung der Toleranzen ist stets von dem jeweils vorhandenen Bauzustand auszugehen. Unstimmigkeiten können z.B. durch späteren Ein-/Ausbau auftreten, was für eine nachträgliche Beurteilung der Vorleistung aber nicht maßgebend ist. Universell einsetzbare geodätische Messverfahren bieten hierzu effiziente und effektive Möglichkeiten der gegebenenfalls auch wiederkehrenden Prüfung: »Maßkontrollen sollten als fortlaufende vollständige Dokumentation während des Bauablaufs aufgezeichnet werden« (Ertl 2008, S. 105).

Literatur

- DIN 1319-4: Grundlagen der Messtechnik – Auswertung von Messungen, Messunsicherheit. Beuth-Verlag, Berlin, 1999.
- DIN 18202: Toleranzen im Hochbau. Beuth-Verlag, Berlin, 2013.
- DIN 18709-4: Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Ausgleichsrechnung und Statistik. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- DIN 18710-1: Ingenieurvermessung – Allgemeine Anforderungen. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- DIN 18710-2: Ingenieurvermessung – Aufnahme. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- DIN V ENV 13005: Leitfaden zur Bestimmung der Unsicherheit beim Messen. Beuth Verlag, Berlin, 1999.
- DIN EN 45020: Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten – Allgemeine Begriffe. Beuth-Verlag, Berlin, 2002.
- DIN EN ISO 1101: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Geometrische Tolerierung – Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- Ertl, R.: Toleranzen im Hochbau, Kommentar zur DIN 18202. Zulässige Maßabweichungen im Roh- und Ausbau. Verlag R. Müller, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, ISBN 978-3-481-02509-0, 2008.
- Glabsch, J., Heister, H., Heunecke, O., Liebl, W., Nichelmann, K.: Lasergestützte baugometrische Bestandsaufnahme der Wallfahrtskirche Tuntenhausen für die Bewertung der Standsicherheit. Kolloquium »Von Handaufmaß zu High Tech III«, Cottbus. S. 117–123, 2010.
- Heister, H.: Zur Messunsicherheit im Vermessungswesen I & II. In: Geomatik Suisse, Teil 1 S. 604–607 (Heft 11), Teil 2 S. 670–673 (Heft 12), 2005.
- Heister, H.: Genauigkeitsmaße in der geodätischen Messtechnik. In: Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswerteverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 61, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 17–31, ISBN 978-3-89639-742-3, 2010.
- Heunecke, F., Müller, G., Werner, H.: Handbuch Ingenieurvermessung – Grundlagen. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin. ISBN 3-87907-184-5, 1986.
- Hennes, M.: Zum Umgang mit Unsicherheiten bei geodätischen Mess- und Auswerteverfahren. In: Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 71, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 25–46. ISBN 978-3-89639-917-5, 2013.
- Heunecke, O., Kuhlmann, H., Welsch, W., Eichhorn, A., Neuner, H.: Handbuch Ingenieurgeodäsie, Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann-Verlag. ISBN 978-3-87907-467-9, 2013.
- Höpke, W.: Fehlerlehre und Ausgleichsrechnung. Walter de Gruyter, Berlin New York. ISBN 3-11-007514-8, 1980.
- ISO 17123-1: Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 1: Theory. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- ISO 17123-3: Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 3: Theodolites. Beuth-Verlag, Berlin, 2001.
- ISO 17123-4: Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 4: Electro-optical distance meters. Beuth-Verlag, Berlin, 2011.
- Kahmen, H.: Vermessungskunde. 19., überarbeitete Auflage, Walter de Gruyter, Berlin New York. ISBN 3-11-015399-8, 1997.
- Kinzer, C.M., Remke, J.: Maßtoleranzen – Normen und Praxis. Beratende Ingenieure, Nov./Dez. 1999, S. 43–46. Springer-VDI-Verlag.
- Kniffka, R., Koeble, W.: Kompendium des Baurechts. 3. Auflage, Verlag C.H. Beck, München. ISBN 978-3-406-56308-9, 2008.
- Koch, K.R., Kuhlmann, H.: The Impact of Correcting Measurements of Laserscanners on the Uncertainty of Derived Results, zfv, 134. Jg., Heft 1, S. 38–44, Wißner-Verlag, Augsburg, 2009.
- Niemeier, W.: Ausgleichsrechnung. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Walter de Gruyter, Berlin New York. ISBN 978-3-11-019055-7, 2008.
- Pelzer, H.: Grundlagen der Mathematischen Statistik und der Ausgleichsrechnung. In: Pelzer (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, S. 1–120, 1985.
- Schäfer, M., Schmidt-Böllert, A.: 3D-Laserscanning zur Erfassung der Bauwerksgeometrie für die Rohbaukontrolle. In: Terrestrisches Laserscanning – TLS 2011 mit TLS-Challenge. DVW-Schriftenreihe, Band 66, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 181–188. ISBN 978-3-89639-838-3, 2011.
- Schwarz, W. (Red.): Vermessungsverfahren im Maschinen- und Anlagenbau. Schriftenreihe des DVW, Verlag K. Wittwer, 1995.
- VOB/B: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, Fassung 2012. Deutscher Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (<http://dejure.org/gesetze/VOB-B>; Zugriff 09/2013).
- Wanninger, R.: Schnittstellenprobleme im Hochbau. München, 2006. Vortragsarchiv Intergeo (siehe www.intergeo.de/de/intergeo_vortragsarchiv_2006.html; Zugriff 10/2013)

Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Otto Heunecke
 Universität der Bundeswehr München, Institut für Geodäsie
 Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg
 otto.heunecke@unibw.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.