

DIN ISO 17123-5



ICS 17.180.30

Einsprüche bis 2021-06-23

Entwurf

**Optik und optische Instrumente –
Feldverfahren zur Untersuchung geodätischer Instrumente –
Teil 5: Totalstationen (ISO 17123-5:2018);
Text Deutsch und Englisch**

Optics and optical instruments –
Field procedures for testing geodetic and surveying instruments –
Part 5: Total stations (ISO 17123-5:2018);
Text in German and English

Optique et instruments d'optique –
Méthodes d'essai sur site des instruments géodésiques et d'observation –
Partie 5: Stations totales (ISO 17123-5:2018);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-04-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 70 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	6
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Symbole und Indizes	10
4.1 Symbole	10
4.2 Indizes	11
5 Allgemeines	12
5.1 Anforderungen	12
5.2 Verfahren 1: Vereinfachtes Prüfverfahren	12
5.3 Verfahren 2: Vollständiges Prüfverfahren	13
6 Vereinfachtes Prüfverfahren	13
6.1 Anordnung des Prüffelds	13
6.2 Messung	14
6.3 Berechnung	15
6.3.1 x-, y-Koordinaten	15
6.3.2 z-Koordinate	15
6.3.3 Auswertung	15
7 Vollständiges Prüfverfahren	16
7.1 Anordnung des Prüffelds	16
7.2 Messung	16
7.3 Berechnung	17
7.3.1 x-, y-Koordinaten	17
7.3.2 z-Koordinate	20
7.4 Statistische Tests	20
7.4.1 Allgemeines	20
7.4.2 Antwort auf Frage a)	21
7.4.3 Antwort auf Frage b)	21
7.5 Ermittlung der kombinierten Standardunsicherheit (Typ A und B)	22
Anhang A (informativ) Beispiel für ein vereinfachtes Prüfverfahren	24
A.1 Messungen	24
A.2 Berechnung	25
A.2.1 x-, y-Koordinaten	25
A.2.2 z-Koordinate	25
Anhang B (informativ) Beispiel für das vollständige Prüfverfahren	27
B.1 Messung der x- und y-Koordinaten	27
B.2 Berechnung	29
B.2.1 x-, y-Koordinaten	29
B.2.2 z-Koordinate	30
B.3 Statistische Tests	31
B.3.1 Statistischer Test nach Frage a)	31
B.3.2 Statistischer Test nach Frage b)	32
Anhang C (informativ) Beispiel der Berechnung des Gesamtunsicherheitsbudgets(Typ A und Typ B)	34
C.1 Beispiel für das Unsicherheitsbudget	34
C.1.1 Unsicherheitsquellen	34
C.1.2 Berechnung der Unsicherheit	35
C.2 Erweiterte Unsicherheit	36

Anhang D (informativ) Nicht in der Unsicherheitsermittlung eingeschlossene Quellen	37
Literaturhinweise	38

Bilder

Bild 1 — Anordnung des Prüffelds	14
Bild 2 — Beispiel einer Feldanordnung für die vollständige Prüfung	16
Bild 3 — Mathematisches Modell des Dreiecks	18

Tabellen

Tabelle 1 — Messfolge für eine Messreihe	14
Tabelle 2 — Messfolge für eine Messreihe	17
Tabelle 3 — Statistische Tests	21
Tabelle 4 — Typische Einflussgrößen der Totalstation	22
Tabelle A.1 — Messungen	24
Tabelle B.1 — Messungen	27
Tabelle B.2 — Koordinaten des Schwerpunkts des mathematischen Modells	29
Tabelle B.3 — Scheitelkoordinaten des mathematischen Modells	30
Tabelle B.4 — Restabweichungen der Höhendifferenzen	31
Tabelle C.1 — Unsicherheitsbudget der kartesischen Koordinate	35
Tabelle D.1 — Nicht einzeln auszuwertende Unsicherheitsquellen	37

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 17123-5:2018, die vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“, erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von SNV (Schweiz) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 005-03-04 AA „Geodätische Instrumente und Geräte (SpA für ISO/TC 172/SC 6)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) verantwortlich.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

ISO 17123 besteht unter dem allgemeinen Titel *Optik und optische Instrumente — Feldverfahren zur Untersuchung geodätischer Instrumente* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Theorie
- Teil 2: Nivelliere
- Teil 3: Theodolite
- Teil 4: Elektrooptische Distanzmesser (EDM-Messungen mit Reflektoren)
- Teil 5: Totalstationen
- Teil 6: Rotationslaser
- Teil 7: Lotinstrumente
- Teil 8: GNSS Feldmesssysteme in Echtzeit-Kinematik (RTK)
- Teil 9: Terrestrische Laserscanner

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 3534-1	siehe	DIN ISO 3534-1
ISO 12858-2:1999*	Siehe	DIN ISO 12858-2:2018-09
ISO 17123-1	siehe	DIN ISO 17123-1
ISO 17123-3	siehe	DIN ISO 17123-3
ISO 17123-4	siehe	DIN ISO 17123-4
ISO 1101:2012**	siehe	DIN EN ISO 1101:2014-04

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

* Mit Ersatz zurückgezogen. Die aktuelle Ausgabe ist ISO 12858-2:1999 + Amd.1:2013.

** Mit Ersatz zurückgezogen. Die aktuelle Ausgabe ist ISO 1101:2017, die deutsche Entsprechung DIN EN ISO 1101:2017-09.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1101:2014-04, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf (ISO 1101:2012 + Cor. 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 1101:2013*

DIN ISO 3534-1, *Statistik — Begriffe und Formelzeichen — Teil 1: Wahrscheinlichkeit und allgemeine statistische Begriffe*

DIN ISO 12858-2:2018-09, *Optik und optische Instrumente — Zusatzausrüstungen für geodätische Instrumente — Teil 2: Stative (ISO 12858-2:1999 + Amd.1:2013)*

DIN ISO 17123-1, *Optik und optische Instrumente) — Feldprüfverfahren geodätischer Instrumente) — Teil 1: Theorie*

DIN ISO 17123-3, *Optik und optische Instrumente — Feldprüfverfahren geodätischer Instrumente — Teil 3: Theodolite*

DIN ISO 17123-4, *Optik und optische Instrumente — Feldprüfverfahren geodätischer Instrumente — Teil 4: Elektrooptische Distanzmesser (EDM-Messungen mit Reflektoren)*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172, *Optics and photonics*, Unterkomitee SC 6, *Geodetic and surveying instruments* erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 17123-5:2012), die technisch überarbeitet wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 17123 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Dieses Dokument legt die Feldverfahren zur Anwendung bei der Bestimmung und Auswertung der Unsicherheit der Messergebnisse von geodätischen Instrumenten und deren Zubehör beim Erstellen und Errichten einer Messaufgabe fest. Diese Prüfungen sind hauptsächlich als Feldbeweis für die Eignung eines bestimmten Instruments für die unmittelbare Aufgabe vorgesehen. Sie werden nicht als Prüfungen zur Abnahme oder Leistungsbewertung vorgesehen, die umfangreicher gestaltet sind.

Die Definition und das Konzept von Unsicherheit als quantitative Eigenschaft des endgültigen Messergebnisses wurden in erster Linie in den letzten zwei Jahrzehnten entwickelt, obwohl Fehleranalysen seit langem zu allen Wissenschaften des Messens gehören. Nach mehreren Phasen hat die CIPM (Comité Internationale des Poids et Mesures) die Aufgabe, einen detaillierten Leitfaden zu erstellen, an ISO weitergegeben. Unter der Verantwortung der Technischen Beratungsgruppe für Metrologie von ISO (TAG 4) wurde in Zusammenarbeit mit sechs weltweiten Metrologie-Organisationen ein Leitfaden zum Begriff der Messunsicherheit zusammengestellt, um Regeln für die Verwendung bei Normierung, Kalibrierung, Laborarbeit, Akkreditierung und Metrologiediensten bereitzustellen. Der ISO/IEC Leitfaden 98-3 wurde 1995 zum ersten Mal veröffentlicht.

Mit der Einführung von Messunsicherheit in ISO 17123 (alle Teile) wurde versucht, einen einheitlichen, quantitativen Begriff von Messunsicherheit in der geodätischen Metrologie zu schaffen, um den Bedürfnissen der Kunden gerecht zu werden.

ISO 17123 (alle Teile) stellt nicht nur ein Mittel zur Ermittlung der Präzision (empirische Standardabweichung) eines Instruments dar, sondern auch ein Werkzeug zur Definition eines Unsicherheitsbudgets, das die Summierung aller zufälligen und systematischen Unsicherheitskomponenten zu einem repräsentativen Maß der Genauigkeit, d. h. der kombinierten Standardunsicherheit, ermöglicht.

Daher enthält ISO 17123 (alle Teile) für jedes in den Verfahren untersuchte Instrument einen Hinweis auf zusätzliche typische Einflussgrößen, die in der Praxis zu erwarten sind. Der Kunde kann die entsprechende Standardunsicherheitskomponente für eine bestimmte Anwendung einschätzen, um die Unsicherheit des Messergebnisses abzuleiten und anzugeben.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Feldverfahren zur Anwendung bei der Bestimmung und Auswertung der Präzision (Wiederholpräzision) von Koordinatenmessung von Totalstationen und deren Zusatzeinrichtungen beim Erstellen und Errichten einer Messaufgabe fest. In erster Linie sind diese Prüfungen vorgesehen als Feldüberprüfung für die Bestätigung der Eignung eines bestimmten Instruments für die anstehende Aufgabe und zur Erfüllung der Anforderungen anderer Normen. Sie sind nicht als Prüfungen zur Abnahme oder Leistungsbewertung vorgesehen, die in der Regel umfassender sind.

Diese Feldverfahren wurden eigens für In-situ-Anwendungen ohne Notwendigkeit von besonderem Zubehör entwickelt und absichtlich so gestaltet, dass sie atmosphärische Einflüsse minimieren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 3534-1, *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability*

ISO 4463-1, *Measurement methods for building — Setting-out and measurement — Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria*

ISO 7077, *Measuring methods for building — General principles and procedures for the verification of dimensional compliance*

ISO 7078, *Building construction — Procedures for setting out, measurement and surveying — Vocabulary and guidance notes*

ISO 9849, *Optics and optical instruments — Geodetic and surveying instruments — Vocabulary*

ISO 17123-1, *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 1: Theory*

ISO 17123-3, *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 3: Theodolites*

ISO 17123-4, *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 4: Electro-optical distance meters (EDM measurements to reflectors)*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 3534-1, ISO 4463-1, ISO 7077, ISO 7078, ISO 9849, ISO 17123-1, ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) und ISO/IEC Guide 99 (VIM).

4 Symbole und Indizes

4.1 Symbole

Symbol	Größe	Einheit
a	Mittelwert des Höhenunterschieds	m
d	Abweichung, Differenz	m
k	Erweiterungsfaktor	—
L	Mittelwert der Horizontalstrecke zwischen zwei Zielpunkten	m
l	Horizontalstrecke zwischen zwei Zielpunkten	m
M	Scheitelpunkt des Dreiecks des mathematischen Modells	—
p	Parameter zur Berechnung des Rotationswinkels	—
q	Parameter zur Berechnung des Rotationswinkels	—
r	Differenz zum Mittelwert	m
S	Instrumentenstandpunkt	—
s	empirische Standardabweichung	variabel
$\tilde{s}$	empirische Standardabweichung der gleichen Grundgesamtheit	variabel
T	Zielpunkt	—
U	erweiterte Unsicherheit	variabel
u	Unsicherheit	variabel
v	Freiheitsgrad	—
X	X-Koordinate im mathematischen Modell	m
x	gemessene x-Koordinate	m
Y	Y-Koordinate im mathematischen Modell	m
y	gemessene y-Koordinate	m
Z	Z-Koordinate im mathematischen Modell	m
z	gemessene z-Koordinate	m
α	Vertrauensniveau	—
σ	Standardabweichung der Grundgesamtheit	variabel
$\tilde{\sigma}$	Standardabweichung der gleichen Grundgesamtheit	variabel
θ	horizontaler Rotationswinkel	°
Ψ	vertikaler (Höhen) Winkel	°
χ	Chi-Quadrat-Verteilung	—

4.2 Indizes

Index	Begriff
0,975	Vertrauensniveau 0,975
$1-\alpha$	Vertrauensniveau
dist	Distanz
disp	kleinster Anzeigenwert der Koordinaten
dispx	kleinster Anzeigenwert der x-Koordinate
dispy	kleinster Anzeigenwert der y-Koordinate
dispz	kleinster Anzeigenwert der z-Koordinate
E	Ostachse
g	Schwerpunkt
H	Höhenachse
hs	Höhenstabilität des Stativs
<i>i</i>	Nummer des Instrumentenstandpunktes
ISO-TS	Totalstation nach ISO 17123-5
ISO-TS-XY	in beiden Fernrohranlagen einmal gemessene xy-Koordinaten nach ISO 17123-5
ISO-TS-Z	in beiden Fernrohranlagen einmal gemessene z-Koordinate nach ISO 17123-5
<i>j</i>	Nummer des Zielpunktes
<i>k</i>	Nummer des gemessenen Halbsatzes (einzige Fernrohranlage)
m	Koordinate des Schwerpunkts des mathematischen Modells nach der Rotation
N	Nordachse
prs	Druck
rh	relative Luftfeuchte
dist-TS	Distanzmessung in der Totalstation
θ -TS	Horizontalwinkel nach Spezifikation der Totalstation
t	Koordinate des Schwerpunkts des mathematischen Modells nach der Verschiebung
temp	Temperatur
trd	Stativverdrehung
θ	Horizontalwinkel
ψ	Vertikalwinkel oder Höhenwinkel
ψ -TS	Vertikalwinkel nach Spezifikation der Totalstation
x	x-Koordinate (oben)
xy	xy-Koordinaten (horizontal)
XY	xy-Koordinaten (horizontal) des mathematischen Modells

Index	Begriff
y	y-Koordinate (rechts)
Z	Z-Koordinate (Höhe) des mathematischen Modells
z	z-Koordinate (Höhe)

5 Allgemeines

5.1 Anforderungen

Vor Beginn der Messungen ist es wichtig, dass der Bediener überprüft, ob die Präzision der Messausrüstung während des Gebrauchs für die vorgesehene Messaufgabe geeignet ist.

Die Totalstation und dessen Zusatzeinrichtungen müssen eine nach den im Handbuch des Herstellers angegebenen Methoden bekannte und bewährte permanente Anpassung aufweisen und die vom Hersteller empfohlenen Stativ und Reflektoren verwendet werden.

Die Koordinaten werden als Messgrößen angesehen, da sie bei modernen Totalstationen als Ausgangsgrößen gewählt werden können.

Alle Koordinaten müssen am selben Tag gemessen werden. Das Instrument sollte immer gewissenhaft justiert werden. Die richtige Nullpunktkorrektur des Reflektorprismas muss verwendet werden.

Die Ergebnisse dieser Prüfungen werden von Witterungsbedingungen beeinflusst, vor allem durch das Temperaturgefälle. Bei bedecktem Himmel und niedrigen Windgeschwindigkeiten ist die Wetterlage am günstigsten. Die genauen meteorologischen Daten müssen gemessen werden, um atmosphärische Korrekturen vornehmen zu können, die den Rohdistanzen hinzuzufügen sind. Die einzelnen zu berücksichtigenden Bedingungen können je nach Ort der Messung variieren. Diese Bedingungen müssen die Veränderung der Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit, die Wolkendecke und die Sichtweite beinhalten. Auch die Wetterbedingungen, die zur Messzeit tatsächlich herrschen, und die Art der Oberfläche, über der die Messungen vorgenommen werden, sollten beachtet werden. Die für die Prüfungen gewählten Bedingungen sollten den bei der tatsächlichen Ausführung der vorgesehenen Messaufgabe erwarteten Bedingungen entsprechen (siehe ISO 7077 und ISO 7078).

In Laboren durchgeführte Prüfungen würden Ergebnisse liefern, die nahezu unbeeinflusst von atmosphärischen Einflüssen sind, jedoch sind die Kosten für derartige Prüfungen sehr hoch und für die meisten Anwender nicht umsetzbar. Darüber hinaus werden mit Laborprüfungen Präzisionen erzielt, die bedeutend höher sind als die unter Feldbedingungen erreichbaren Präzisionen.

Dieses Dokument beschreibt zwei verschiedene Feldverfahren, die in Abschnitt 6 und Abschnitt 7 beschrieben werden. Der Bediener muss sich für das Verfahren entscheiden, das für die speziellen Anforderungen des Projekts am relevantesten ist.

Zur unabhängigen Auswertung der Winkelmessung und der Entfernungsmessung müssen ISO 17123-3 und ISO 17123-4 entsprechend angewendet werden.

5.2 Verfahren 1: Vereinfachtes Prüfverfahren

Das vereinfachte Prüfverfahren stellt eine Schätzung auf, ob die Präzision einer bestimmten Totalstation sich innerhalb der nach ISO 4463-1 festgelegten Grenzwert befindet.

Das vereinfachte Prüfverfahren beruht auf einer begrenzten Anzahl von Messungen. Dieses Prüfverfahren beruht auf Messungen der X-, Y- und Z-Koordinaten in einem Prüffeld ohne Nennwerte. Die Höchstdifferenz vom Mittelwert wird als Hinweis auf die Präzision berechnet.

Es kann keine signifikante Standardabweichung erhalten werden. Ist eine präzisere Auswertung der Totalstation zu Feldbedingungen erforderlich, sollte das gründlichere vollständige Prüfverfahren angewandt werden, das in Abschnitt 7 beschrieben wird.

Ein Beispiel zum vereinfachten Prüfverfahren ist in Anhang A gegeben.

5.3 Verfahren 2: Vollständiges Prüfverfahren

Das vollständige Prüfverfahren muss zur Bestimmung des bestmöglichen Ergebnisses des Präzisionsmaßes einer bestimmten Totalstation und dessen Zusatzeinrichtungen unter Feldbedingungen angewandt werden.

Das Verfahren beruht auf Koordinatenmessungen in einem Prüffeld ohne Nennwerte. Die empirische Standardabweichung der Koordinatenmessung eines einzelnen Punkts wird durch Kleinste-Quadrate-Ausgleichungen bestimmt.

Das in Abschnitt 7 in diesem Dokument angegebene vollständige Prüfverfahren ist zur Bestimmung des Präzisionsmaßes einer bestimmten Totalstation vorgesehen. Das verwendete Präzisionsmaß wird mit den empirischen Standardabweichungen $s_{ISO-TS-XY}$ und $s_{ISO-ZS-Z}$ einer in beiden Fernrohrlagen einmal gemessenen Koordinate angegeben.

Zudem kann dieses Verfahren verwendet werden, um Folgendes zu bestimmen:

- das von einem einzelnen Vermessungstrupp zu einem bestimmten Zeitpunkt verwendete Präzisionsmaß der Totalstation mit einem einzelnen Instrument und dessen Zusatzeinrichtungen;
- das verwendete Präzisionsmaß eines einzelnen Instruments in Abhängigkeit von der Zeit;
- das verwendete Präzisionsmaß jedes einzelnen von mehreren Totalstationen zur Ermöglichung eines Vergleichs zwischen den entsprechenden erreichbaren Präzisionen, die unter ähnlichen Feldbedingungen erhalten worden sind.

Statistische Tests sollten durchgeführt werden, um zu bestimmen, ob die erhaltenen empirischen Standardabweichungen zur Grundgesamtheit der theoretischen Standardabweichungen des Instruments gehören und ob die zwei geprüften Proben zur gleichen Grundgesamtheit gehören.

Ein Beispiel zum vollständigen Prüfverfahren ist in Anhang B gegeben.

6 Vereinfachtes Prüfverfahren

6.1 Anordnung des Prüffelds

Zwei Zielpunkte (T_1, T_2) müssen wie in Bild 1 angezeigt abgesteckt werden. Die Ziele sollten fest auf dem Boden angebracht sein. Die Entfernung zwischen zwei Zielpunkten sollte länger als die durchschnittliche Entfernung (z. B. 60 m) der beabsichtigten Messaufgabe sein. Ihre Höhen sollten so unterschiedlich sein, wie es auf der Bodenoberfläche möglich ist.

Zwei Instrumentenstandpunkte (S_1, S_2) müssen etwa in einer Flucht mit zwei Zielpunkten abgesteckt werden. S_1 muss 5 m bis 10 m von T_1 entfernt und entgegengesetzt zu T_2 aufgestellt werden. S_2 muss zwischen den zwei Zielpunkten und 5 m bis 10 m von T_2 entfernt aufgestellt werden.

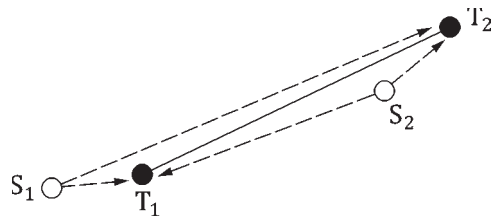


Bild 1 — Anordnung des Prüffelds

6.2 Messung

Ein Halbsatz besteht aus zwei Messungen zu jedem Zielpunkt in einer Fernrohrlage bei einem der Instrumentenstandpunkte.

Die Koordinaten der zwei Zielpunkte müssen in 4 Vollsätzen gemessen werden (Fernrohrlage: I – II – I – II) bei Instrumentenstandpunkt S_1 . Das Instrument wird zu S_2 verschoben und die gleiche Messfolge wird durchgeführt. Die Standpunktkoordinaten und die Referenzorientierung des Standpunkts sind in jedem Halbsatz beliebig.

Für die Beobachtungen muss die integrierte oder eine eigenständige Software verwendet werden. Vorzugsweise ist die gleiche Software zu verwenden, die auch in der Praxis benutzt wird.

Die Messfolge wird in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 — Messfolge für eine Messreihe

Folge Nr.	Instrumentenstandpunkt i	Zielpunkt j	Halbsatz k	Fernrohrlage	x	y	z
1	1	1	1	I	$x_{1,1,1}$	$y_{1,1,1}$	$z_{1,1,1}$
2		2			$x_{1,2,1}$	$y_{1,2,1}$	$z_{1,2,1}$
3		1	2	II	$x_{1,1,2}$	$y_{1,1,2}$	$z_{1,1,2}$
4		2			$x_{1,2,2}$	$y_{1,2,2}$	$z_{1,2,2}$
5		1	3	I	$x_{1,1,3}$	$y_{1,1,3}$	$z_{1,1,3}$
6		2			$x_{1,2,3}$	$y_{1,2,3}$	$z_{1,2,3}$
7		1	4	II	$x_{1,1,4}$	$y_{1,1,4}$	$z_{1,1,4}$
8		2			$x_{1,2,4}$	$y_{1,2,4}$	$z_{1,2,4}$
9	2	1	1	I	$x_{2,1,1}$	$y_{2,1,1}$	$z_{2,1,1}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	2	1	4	II	$x_{2,1,4}$	$y_{2,1,4}$	$z_{2,1,4}$
16		2			$x_{2,2,4}$	$y_{2,2,4}$	$z_{2,2,4}$

6.3 Berechnung

6.3.1 x-, y-Koordinaten

Die Auswertung der Prüfergebnisse ergibt sich aus der Abweichung der Horizontalstrecke von jedem Halbsatz zum Mittelwert aller gemessenen Horizontalstrecken.

Jede Horizontalstrecke zwischen zwei Zielpunkten $l_{i,k}$ wird wie folgt berechnet:

$$l_{i,k} = \sqrt{(x_{i,2,k} - x_{i,1,k})^2 + (y_{i,2,k} - y_{i,1,k})^2} \quad i = 1,2; \quad k = 1,2,3,4 \quad (1)$$

Der Mittelwert L wird wie folgt berechnet:

$$L = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^4 l_{i,k} \quad (2)$$

Die Werte der Abweichung jeder Strecke vom Mittelwert $r_{i,k}$ werden wie folgt berechnet:

$$r_{i,k} = l_{i,k} - L \quad i = 1,2; \quad k = 1,2,3,4 \quad (3)$$

Der Höchstwert d_{xy} von $r_{i,k}$ wird wie folgt definiert:

$$d_{xy} = \max |r_{i,k}| \quad i = 1,2; \quad k = 1,2,3,4 \quad (4)$$

6.3.2 z-Koordinate

Die Höhenunterschiede $d_{z,i,k}$ zwischen den Zielpunkten werden mithilfe der in jedem Halbsatz gemessenen Werte für die z-Koordinate berechnet:

$$d_{z,i,k} = z_{i,2,k} - z_{i,1,k} \quad i = 1,2; \quad k = 1,2,3,4 \quad (5)$$

Der Mittelwert a_z der Höhenunterschiede in allen Vollsätzen ist:

$$a_z = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^4 d_{z,i,k} \quad (6)$$

Die Unterschiede $r_{z,i,k}$ zwischen den Höhenunterschieden von zwei Zielpunkten und dem Mittelwert a_z sind:

$$r_{z,i,k} = d_{z,i,k} - a_z \quad i = 1,2; \quad k = 1,2,3,4 \quad (7)$$

Der Höchstwert für Unterschiede d_z wird wie folgt berechnet:

$$d_z = \max |r_{z,i,k}| \quad (8)$$

6.3.3 Auswertung

Die Unterschiede d_{xy} und d_z müssen sich innerhalb der (nach ISO 4463-1) für die entsprechende Messaufgabe angegebenen zulässigen Abweichung p_{xy} bzw. p_z befinden. Wenn p_{xy} und p_z nicht angegeben sind, sind sie $d_{xy} \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{\text{ISO-TS-XY}}$ bzw. $d_z \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{\text{ISO-TS-Z}}$ wobei $s_{\text{ISO-TS-XY}}$ und $s_{\text{ISO-TS-Z}}$ die empirischen Standardabweichungen der X-, Y- und Z-Messungen sind, die nach dem vollständigen Prüfverfahren mit dem gleichen Instrument bestimmt worden sind.

7 Vollständiges Prüfverfahren

7.1 Anordnung des Prüffelds

Drei Zielpunkte (T_1 , T_2 , T_3) müssen an den Ecken des Dreiecks abgesteckt werden (siehe Bild 2). Die Ziele sollten fest auf dem Boden angebracht sein. Die Entfernungen der Zielpunkte sollten unterschiedlich sein und wenigstens eine Strecke sollte länger als die durchschnittliche Entfernung (z. B. 60 m) der beabsichtigten Messaufgabe sein. Ihre Höhen sollten so unterschiedlich sein, wie es auf der Bodenoberfläche möglich ist.

Drei Instrumentenstandpunkte (S_1 , S_2 , S_3) sollen nah an jeder Dreiecksseite etwa 5 m bis 10 m von jedem Zielpunkt entfernt abgesteckt werden.

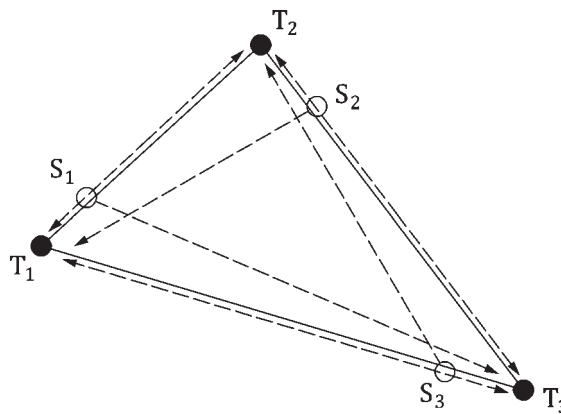


Bild 2 — Beispiel einer Feldanordnung für die vollständige Prüfung

7.2 Messung

Ein Halbsatz besteht aus drei Messungen zu jedem Zielpunkt in einer einzigen Fernrohrlage an jedem Instrumentenstandpunkt.

Von den Instrumentenstandpunkten S_1 , S_2 , S_3 müssen die Koordinaten der drei Zielpunkte mit vier Halbsätzen von Beobachtungsfolgen gemessen werden (Fernrohrlage: I – II – I – II).

Die Koordinaten der Standpunkte und die Orientierung sind für die Absteckung jedes Standorts beliebig. Die Anordnungen sollten während der Messung von vier Halbsätzen von Beobachtungen, die vom selben Standpunkt aus durchgeführt werden, nicht geändert werden.

Für die Beobachtungen muss integrierte oder eine eigenständige Software verwendet werden. Vorzugsweise ist die gleiche Software zu verwenden, die auch in der Praxis benutzt wird.

Die Messfolge wird in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 — Messfolge für eine Messreihe

Folge Nr.	Instru- menten- standpunkt <i>i</i>	Zielpunkt <i>j</i>	Halbsatz <i>k</i>	Fernrohr- lage	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
1	1	1	1	I	$x_{1,1,1}$	$y_{1,1,1}$	$z_{1,1,1}$
2		2			$x_{1,2,1}$	$y_{1,2,1}$	$z_{1,2,1}$
3		3			$x_{1,3,1}$	$y_{1,3,1}$	$z_{1,3,1}$
4		1	2	II	$x_{1,1,2}$	$y_{1,1,2}$	$z_{1,1,2}$
5		2			$x_{1,2,2}$	$y_{1,2,2}$	$z_{1,2,2}$
6		3			$x_{1,3,2}$	$y_{1,3,2}$	$z_{1,3,2}$
7		1	3	I	$x_{1,1,3}$	$y_{1,1,3}$	$z_{1,1,3}$
8		2			$x_{1,2,3}$	$y_{1,2,3}$	$z_{1,2,3}$
9		3			$x_{1,3,3}$	$y_{1,3,3}$	$z_{1,3,3}$
10		1	4	II	$x_{1,1,4}$	$y_{1,1,4}$	$z_{1,1,4}$
11		2			$x_{1,2,4}$	$y_{1,2,4}$	$z_{1,2,4}$
12		3			$x_{1,3,4}$	$y_{1,3,4}$	$z_{1,3,4}$
13	2	1	1	I	$x_{2,1,1}$	$y_{2,1,1}$	$z_{2,1,1}$
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24		3	4	II	$x_{2,3,4}$	$y_{2,3,4}$	$z_{2,3,4}$
25	3	1	1	I	$x_{3,1,1}$	$y_{3,1,1}$	$z_{3,1,1}$
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
34		1	4	II	$x_{3,1,4}$	$y_{3,1,4}$	$z_{3,1,4}$
35		2			$x_{3,2,4}$	$y_{3,2,4}$	$z_{3,2,4}$
36		3			$x_{3,3,4}$	$y_{3,3,4}$	$z_{3,3,4}$

7.3 Berechnung

7.3.1 x-, y-Koordinaten

Das Aufstellen des mathematischen Modells für das Dreieck wird wie folgt ausgeführt (siehe Bild 3).

Die Horizontalstrecken $l_{i,3,k}$ zwischen T₁ und T₂; $l_{i,1,k}$ zwischen T₂ und T₃; $l_{i,2,k}$ zwischen T₃ und T₁ sind jeweils aus den gemessenen Koordinaten $(x_{i,j,k}, y_{i,j,k})$ zu berechnen.

$$l_{i,j,k} = \sqrt{(x_{i,j-1,k} - x_{i,j+1,k})^2 + (y_{i,j-1,k} - y_{i,j+1,k})^2} \quad (9)$$

$i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3$ (ist $j-1$ gleich 0 oder $j+1$ gleich 4, wird es durch 3 bzw. 1 ersetzt); $k = 1, 2, 3, 4$.

Die mittlere Länge jeder Seite L_j :

$$L_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^4 l_{i,j,k} \quad j = 1, 2, 3 \quad (10)$$

Die Scheitelkoordinaten des mathematischen Modells des Dreiecks M_j ($j = 1, 2, 3$) werden anhand von $M_1 = (0,0)$ und der Strecke von M_1 zu M_2 als x-Achse bestimmt.

Koordinaten von M_1 :

$$M_1 (X_1, Y_1) = (0,0) \quad (11)$$

Koordinaten von M_2 :

$$M_2 (X_2, Y_2) = (L_3, 0) \quad (12)$$

Koordinaten von M_3 :

$$M_3 (X_3, Y_3) = \left[\frac{-(L_1^2) + L_2^2 + L_3^2}{2L_3}, \sqrt{L_2^2 - \left[\frac{-(L_1^2) + L_2^2 + L_3^2}{2L_3} \right]^2} \right] \quad (13)$$

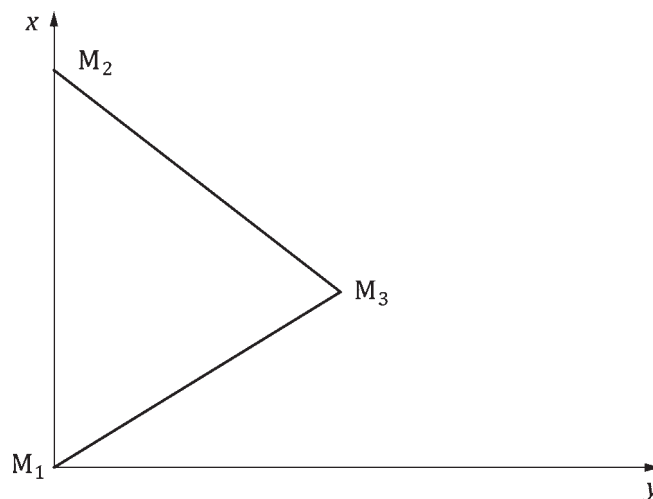


Bild 3 — Mathematisches Modell des Dreiecks

Die Koordinaten des Schwerpunkts des mathematischen Modells (X_g, Y_g):

$$(X_g, Y_g) = \left[\frac{\sum_{j=1}^3 X_j}{3}, \frac{\sum_{j=1}^3 Y_j}{3} \right] \quad (14)$$

Die bei jedem Instrumentenstandpunkt erhaltenen Koordinaten des Schwerpunkts des Dreiecks ($x_{g,i}, y_{g,i}$):

$$(x_{g,i}, y_{g,i}) = \left[\frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 x_{i,j,k}}{12}, \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 y_{i,j,k}}{12} \right] \quad i = 1, 2, 3 \quad (15)$$

Die Koordinaten sind so zu verschieben, dass der Schwerpunkt des mathematischen Modells mit dem Schwerpunkt des gemessenen Dreiecks übereinstimmt.

Die Koordinaten des Schwerpunkts des mathematischen Modells ($X_{t,i,j,k}, Y_{t,i,j,k}$) nach der Verschiebung werden wie folgt berechnet:

$$X_{t,i,j,k} = X_j + (x_{g,i} - X_g); Y_{t,i,j,k} = Y_j + (y_{g,i} - Y_g) \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 1,2,3,4 \quad (16)$$

Das mathematische Modell ist so um den Schwerpunkt zu rotieren, dass die Restabweichungen der Scheitelkoordinaten zwischen dem mathematischen Modell und dem entsprechenden gemessenen Dreieck minimiert werden.

Der Rotationswinkel $\theta_{i,k}$ ist:

$$\theta_{i,k} = \tan^{-1} \left(\frac{q_{i,k}}{p_{i,k}} \right) \quad i = 1,2,3; \quad k = 1,2,3,4 \quad (17)$$

$$q_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,i,j,k} - x_{g,i}) \cdot (y_{i,j,k} - y_{g,i}) - (Y_{t,i,j,k} - y_{g,i}) \times (x_{i,j,k} - x_{g,i}))}{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,i,j,k} - x_{g,i})^2 + (Y_{t,i,j,k} - y_{g,i})^2)} \quad (18)$$

$$p_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,i,j,k} - x_{g,i}) \cdot (x_{i,j,k} - x_{g,i}) + (Y_{t,i,j,k} - y_{g,i}) \cdot (y_{i,j,k} - y_{g,i}))}{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,i,j,k} - x_{g,i})^2 + (Y_{t,i,j,k} - y_{g,i})^2)} \quad (19)$$

Die Scheitelkoordinaten des mathematischen Modells ($X_{m,i,j,k}, Y_{m,i,j,k}$) nach der Rotation:

$$X_{m,i,j,k} = x_{g,i} + \cos \theta_{i,k} \cdot (X_{t,i,j,k} - x_{g,i}) - \sin \theta_{i,k} \cdot (Y_{t,i,j,k} - y_{g,i}) \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 1,2,3,4 \quad (20)$$

$$Y_{m,i,j,k} = y_{g,i} + \sin \theta_{i,k} \cdot (X_{t,i,j,k} - x_{g,i}) + \cos \theta_{i,k} \cdot (Y_{t,i,j,k} - y_{g,i}) \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 1,2,3,4 \quad (21)$$

Restabweichungen ($r_{x,i,j,k}, r_{y,i,j,k}$) der Koordinaten des gemessenen und des rotierten Dreiecks im mathematischen Modell sind:

$$r_{x,i,j,k} = x_{i,j,k} - X_{m,i,j,k} \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 1,2,3,4 \quad (22)$$

$$r_{y,i,j,k} = y_{i,j,k} - Y_{m,i,j,k} \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 1,2,3,4 \quad (23)$$

Die Summe der Quadrate der Restabweichungen ist:

$$\sum r_{xy}^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 (r_{x,i,j,k}^2 + r_{y,i,j,k}^2) \quad (24)$$

Da das mathematische Modell aus drei Seiten, 6 [= 2 (Vektoren) × 3 (Instrumentenstandpunkte)] Schwerpunkten des gemessenen Dreiecks und 12 [= 4 (Halbsätze) × 3 (Instrumentenstandpunkte)] Rotationsparameter besteht, ist die Anzahl der Parameter $v = 3 + 6 + 12 = 21$. Daher ist die Anzahl der Freiheitsgrade:

$$v_{XY} = 72 - 21 = 51 \quad (25)$$

Die empirische Standardabweichung ist:

$$s_{XY} = \sqrt{\frac{\sum r_{xy}^2}{51}} \quad (26)$$

Schließlich ist die Standardunsicherheit der X-, Y-Koordinaten:

$$u_{ISO-TS-XY} = s_{XY} \quad (27)$$

7.3.2 z-Koordinate

Der Höhenunterschied zwischen T_1 und T_2 (und T_3) wird mit den Z-Werten für jeden Halbsatz berechnet.

$$d_{z,i,j,k} = z_{i,j,k} - z_{i,1,k} \quad i = 1,2,3; j = 2,3; k = 1,2,3,4 \quad (28)$$

Die Mittelwerte von $d_{z,i,2,k}$ und $d_{z,i,3,k}$ sind:

$$a_{z,j} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^4 d_{z,i,j,k} \quad j = 2,3 \quad (29)$$

Die Restabweichungen $r_{z,i,j,k}$ der Höhenunterschiede $d_{z,i,2,k}$, $d_{z,i,3,k}$ der für jeden Halbsatz erhaltenen Mittelwerte werden wie folgt berechnet:

$$r_{z,i,j,k} = d_{z,i,j,k} - a_{z,j} \quad i = 1,2,3; j = 2,3; k = 1,2,3,4 \quad (30)$$

Die Summe der Quadrate der Restabweichungen errechnet sich aus:

$$\sum r_z^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=2}^3 \sum_{k=1}^4 r_{z,i,j,k}^2 \quad (31)$$

Die Anzahl der Freiheitsgrade ist:

$$v_z = 24 - 2 = 22 \quad (32)$$

Schließlich beträgt die Standardabweichung der Höhenunterschiede oder die Standardabweichung der Z-Koordinate:

$$s_{dz} = \sqrt{\frac{\sum r_z^2}{22}}; s_z = \sqrt{\frac{\sum r_z^2}{22 \times 2}} \quad (33)$$

Die Standardunsicherheit ist:

$$u_{\text{ISO-TS-Z}} = s_z \quad (34)$$

7.4 Statistische Tests

7.4.1 Allgemeines

Statistische Tests werden nur für das vollständige Prüfverfahren angewandt.

Für die Auswertung der Ergebnisse müssen zur Beantwortung der folgenden Fragen statistische Tests mit der empirischen Standardabweichung, einer im Testdreieck gemessenen Koordinate, durchgeführt werden (siehe Tabelle 3).

- Ist die berechnete empirische Standardabweichung s kleiner als oder gleich dem entsprechenden vom Hersteller angegebenen Wert σ , oder kleiner als ein anderer vorgegebener Wert σ ?
- Gehören zwei empirische Standardabweichungen s und $\tilde{s}$, wie sie in zwei verschiedenen Messproben ermittelt worden sind, zur gleichen Grundgesamtheit, wenn angenommen wird, dass sie über die gleiche Anzahl an Freiheitsgraden v verfügen?

Die empirischen Standardabweichungen s und $\tilde{s}$ können aus Folgendem ermittelt werden

- zwei Messproben desselben Instruments mit unterschiedlichen Beobachtern;
- zwei Messproben desselben Instruments zu unterschiedlichen Zeitpunkten; oder

— zwei Messproben von unterschiedlichen Instrumenten.

Für folgende Tests werden ein Vertrauensniveau von $1 - \alpha = 0,95$ und nach dem Messdesign eine Anzahl an Freiheitsgraden von $\nu_{XY} = 51$ für die x- und die y-Koordinaten sowie von $\nu_Z = 22$ für die z-Koordinate angenommen.

Tabelle 3 — Statistische Tests

Frage	Nullhypothese	Alternativhypothese
a)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b)	$s = \tilde{s}$	$s \neq \tilde{s}$

7.4.2 Antwort auf Frage a)

Die Nullhypothese mit der Behauptung, dass die empirische Standardabweichung s kleiner als oder gleich dem theoretischen oder vorgegebenen Wert σ ist, wird nicht abgelehnt, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

für x und y:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(\nu_{XY})}{\nu_{XY}}} \quad (35)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(51)}{51}} \quad (36)$$

$$\chi^2_{0,95}(51) = 68,67 \quad (37)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{68,67}{51}} \quad (38)$$

$$s \leq \sigma \times 1,16 \quad (39)$$

für z:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(\nu_Z)}{\nu_Z}} \quad (40)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(22)}{22}} \quad (41)$$

$$\chi^2_{0,95}(22) = 33,92 \quad (42)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{33,92}{22}} \quad (43)$$

$$s \leq \sigma \times 1,24 \quad (44)$$

Ansonsten ist die Nullhypothese abgelehnt.

7.4.3 Antwort auf Frage b)

Bei zwei unterschiedlichen Proben gibt eine Prüfung an, ob die empirischen Standardabweichungen s und $\tilde{s}$ zur gleichen Grundgesamtheit gehören. Die entsprechende Nullhypothese $s = \tilde{s}$ wird nicht abgelehnt, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind: