

Messanweisung zur Vertikalverschiebungsmessung „Grundlagen – Geometrisches Nivellement“

Zur Anwendung im Betrieb angewiesen:

Luisenthal, den 15. Mai 2025



Hans-Dieter Linz
Betriebsleiter

Vertikalverschiebungsmessung

Messanweisung (MA)

Grundlagen – Geometrisches Nivellement (GN)

(MA – VVM G)

Erstellt von:

Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-P. Otto

Herrn Dipl.-Ing. M. Friedrich

Herrn A. Gebhardt

Herrn Dipl.-Ing. R. Hill

Herrn Dipl.-Ing. M. Riese

Herrn Dr.-Ing. M. Sabrowski

Herrn B. Eng. N. Stetter

Herrn Dipl.-Ing. (FH) Ch. Strutz

Herrn Dipl.-Ing. (FH) W. Witter

Herrn Dipl.-Ing. J. Mehl

Dokumentenänderungsblatt

Messanweisungen sind nicht für alle Zeiten festgeschrieben. Sie bedürfen einer ständigen Kontrolle ihrer Aktualität und gegebenenfalls der Korrektur, Ergänzung oder anderes mehr. Auf dieser Seite der Messanweisung sind alle vorgenommenen Änderungen ab dem 01.12.2011 zu dokumentieren.

Vorgenommene Änderungen:

- 20.06.2012 Einarbeitung von Festlegungen für den Fall, dass die a priori- und a posteriori-Standardabweichung nicht mit 95%iger Sicherheitswahrscheinlichkeit nicht übereinstimmen
- 11.09.2015 Anzahl der Leseexemplare auf einfach geändert, Festlegung zur Nutzung der Nivellierlatten und der Wechsellpunkte wurde überarbeitet
- 15.05.2025 Aktualisierung Regelwerke
Dokumentation der Messepoche als volldigitale Lieferung in TFW-Cloud

Hinweis 1

Problem 1D-Defoanalyse: Es wurde von Fachkollegen darauf hingewiesen, dass die 1D-Defo-Analyse im Programmpaket PANDA aus folgenden Gründen mit Schwierigkeiten verbunden ist:

- es erfolgt keine Unterscheidung zwischen (den vielen) Objektpunkten und Festpunkten und
- wenn die netzkonfiguratorischen Epochenunterschiede zu groß sind, wird die Defo-Analyse verweigert.

Hier ist es notwendig, die Firma GeoTec zu konsultieren und eine Ausweichvariante zu beschreiben.

Inhalt

	Seite
1 Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Bautechnische Zielstellungen	5
1.3 Begriffe der Überwachungsvermessung	6
2 Genauigkeitsforderungen, Begriffe und Symbole	8
2.1 Das Grundprinzip	8
2.2 Qualitätsdefinition	9
2.3 Symbole und Begriffe für Genauigkeitsangaben	9
2.4 Genauigkeitsanforderungen	10
3 Messinstrumente, Messhilfsmittel, Messeinrichtung	11
3.1 Messinstrument und Messhilfsmittel	11
3.2 Messeinrichtung	11
3.3 Prüfung der Messinstrumente und Messhilfsmittel	11
4 Messungsdurchführung	12
4.1 Allgemein	12
4.2 Prüfungen vor Messungsbeginn	13
4.3 Messverfahren	14
5 Sicherung und Instandhaltung der Messeinrichtung	17
6 Aufbereitung und Auswertung der Messung	17
6.1 Aufbereitung der Nivellementlinien	17
6.2 Zulässige Messabweichungen	18
6.2.1 Zielweitenunterschiede	18
6.2.2 Zulässiger Streckenwiderspruch	19
6.2.3 Zulässiger Linienwiderspruch	19
6.2.4 Zulässiger Schleifenwiderspruch	21
6.2.5 Vereinfachte Bezugspunktkontrolle	21
6.3 Netzausgleichung	22
6.3.1 Ausgleichung ohne Auffelderung	22
6.3.2 Ausgleichung mit Auffelderung	23
6.3.3 Genauigkeitsmaße des PANDA	24
7 Dokumentation der Messepoche im Messbericht	24

Anlagen (Muster)

Anlage 1	Aufbereitung der Linien, Genauigkeitsbewertung der Strecken und Linien
Anlage 2	Zusammenstellung, Kontrolle und Bewertung der Schleifenwidersprüche
Anlage 3	Vereinfachte Festpunktkontrolle; Genauigkeitsangaben zu den Folgemessungen

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Die Messanweisung (MA) gilt für die Ausführung von ingenieurgeodätischen Überwachungsvermessungen durch geometrisches Nivellement im Probestau und in der Betriebszeit von Talsperren der Thüringer Fernwasserversorgung (TFW). Die Messanweisung wird bei Bedarf vom Betreiber der Talsperre aktualisiert.

Die Messanweisung „Grundlagen – Geometrisches Nivellement“ (GN) enthält allgemeingültige technologische Festlegungen. Spezielle technologische Festlegungen enthalten die Messanweisungen „Objektspezifik“.

In folgenden Normen und Richtlinien sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik dokumentiert:

- DIN 18709 – Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen im Vermessungswesen
Teil 1 – Allgemeines, 2020-03
Teil 2 – Ingenieurvermessung, 2020-03
Teil 4 – Ausgleichungsrechnung und Statistik, 2010-09
- DIN 18710 – Ingenieurvermessung
Teil 1 – Allgemeine Anforderungen, 2010-09
Teil 4 – Überwachung, 2010-09
- Merkblatt DWA – M 514 – Bauwerksüberwachung an Talsperren
- Feldanweisung für die Präzisionsnivellements zur Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes im Zeitraum 2006 bis 2011, 3. überarbeitete Fassung vom 01.08.2009
- Autorenkollektiv, Handbuch Ingenieurgeodäsie, Band Grundlagen, 3. Auflage 2000, Herbert Wichmann Verlag
- Autorenkollektiv, Handbuch Ingenieurgeodäsie, Band Ingenieurbau, 1. Auflage 2008, Herbert Wichmann Verlag
- Fröhlich, Schauerte, Schuler; Praxistipps zum Präzisionsnivellement mit Digitalnivellieren, Selbstverlag Fröhlich

1.2 Bautechnische Zielstellungen

Das Hauptmessziel besteht in der Ermittlung der Vertikalverschiebungen (Setzungen, Hebungen) von Objektpunkten an und im Absperrbauwerk und sonstigen, zur Talsperre gehörenden, baulichen Anlagen sowie natürlichen Objekten.

Nachgeordnete Messziele sind:

- Ermittlung von Neigungen beziehungsweise Neigungsänderungen (zum Beispiel Basisneigung eines Feldes einer Staumauer)
- Ermittlung von Vertikalverschiebungsunterschieden zwischen Bauwerksteilen
- Absolutanschluss von Relativverfahren (zum Beispiel hydrostatisches Nivellement)
- Kontrolle beziehungsweise Nachweis der Stabilität von Stützpunkten

Eine Voraussetzung ist das Vorhandensein eines stabilen Höhenfestpunktfeldes.

1.3 Begriffe der Überwachungsvermessung

Es gelten folgende – hier ausgewählte – Definitionen:

- **Nullmessung:** erstmalige messtechnische Erfassung des Ist-Zustandes, 1. Messung einer Messreihe
- **Folgemessungen (FM):** Wiederholung der Überwachungsvermessung
- **Bezugsmessung (BM):** qualitativ hochwertige Messung, deren Ergebniswerte den Bezug für alle Folgemessungen bilden; entspricht dem Ausgangszustand eines Messobjektes zu einem bestimmten Zeitpunkt
- **Messprogramm:** alle Informationen die zur Durchführung der Messungen, der Einhaltung der Qualitätsanforderungen und der Interpretation der Ergebniswerte notwendig sind
- **Messanweisung:** Bestandteil des Mess- und Kontrollprogramms; enthält alle Informationen, mit deren Hilfe die Durchführung von Messungen (bei Einhaltung der Messgenauigkeit) festgelegt ist
- **Messverfahren:** Art und Weise der Ermittlung eines Messwertes (Festlegungen zur Durchführungen der Messungen), Bestandteile eines Messverfahrens sind Messeinrichtung, Messinstrument, Messhilfsmittel und Messtechnologie
- **Messeinrichtung:** die Gesamtheit der für ein Messverfahren benötigten und fest installierten Bestandteile eines Messsystems
- **Messinstrument:** Messmittel, welches in Verbindung mit der Messeinrichtung und den Messhilfsmitteln zur Ermittlung von Messwerten genutzt wird
- **Messhilfsmittel:** Messmittel, welches neben dem Messinstrument notwendig ist, um Messwerte zu ermitteln

- **Messtermine:** sind Zeitpunkte, die durch zeitliche Abstände oder durch das Erreichen bestimmter Stauhöhen, von Extremzuständen usw. bestimmt und im Messprogramm festgelegt sind
- **Messwert:** Einzelwert einer Messreihe, der an einer Messstelle gewonnen wird und zu einer Mess- oder Wirkgröße gehört; er liegt als auswertbare physikalische Größe vor
- **Ergebniswert:** Einzelwert einer Messreihe, der aus den Messwerten sowie mit Hilfe der Stammdaten berechnet wird und in Bezug zum überwachten Messobjekt gebracht werden kann; der Ergebniswert beschreibt die Messgröße (zum Beispiel Vertikalverschiebung)

Weitere allgemeingültige Begriffsbestimmungen sind in den Normen und Richtlinien (DIN 18709, DIN 18710, DIN 1319, DWA-M 514) enthalten.

Es gelten folgende spezifische Definitionen zum geometrischen Nivellement:

- **Strecke r:** nivellitische Verbindung zweier aufeinanderfolgender Nivellementpunkte; eine Strecke besteht aus **n** Stationen; eine Strecke beginnt und endet an einem fest vermarkten Höhenpunkt (zum Beispiel Höhenfestpunkt, Objektpunkt, fester Wechsellpunkt); eine Strecke beginnt oder endet grundsätzlich nicht an einem variablen Wechsellpunkt (zum Beispiel Lattenuntersatz, Nagel im Asphalt)
- **Station n:** Standpunkt eines Nivellierinstrumentes
- **Messweg R:** Summe der Zielweiten des einfachen Messweges innerhalb einer Strecke [km]; der Messweg **R** ergibt sich aus der Summe der Zielweiten der Rückblicke und der Vorblicke innerhalb einer Strecke
- **Linie:** Zusammenfassung von aufeinanderfolgenden Strecken; eine Linie besteht aus **n_r** Strecken – ausnahmslos im Hin- und Rückweg beobachtet
- **Schleife:** in sich geschlossene Folge von Linien
- **Höhenfestpunkt** (in der Regel) = **Stützpunkt:** Ausgangspunkt für die Objektvermessung der Höhe (DIN 18709-1), siehe auch Festpunktfeld (DIN 18710-1) und Vermessungspunkt (DIN 18710-1); wird nicht durch Deformationen des Messobjektes oder andere Einwirkungen beeinflusst; seine konstruktive Ausbildung gewährleistet Langzeitstabilität
- **Bezugspunkt:** ausgewählter Stützpunkt außerhalb des Messobjektes sowie seines Einflussbereiches, der dauerhafte Stabilität erwarten lässt
- **Bezugsniveau:** besteht aus mehreren Bezugspunkten (= Stützpunkte)
- **Sicherungspunkt:** Höhenfestpunkt, der die Eigenschaften aber nicht den Status eines Stützpunktes hat; er dient dem Nachweis der Stabilität eines Bezugspunktes

- **Objektpunkt:** geodätische Messstelle im oder am Messobjekt, der durch Wirkgrößen beeinflusst ist oder sein könnte
- **Objektpunkt:** bei der Deformationsanalyse, als verschoben erkannter Stützpunkt
- **variabler Wechsellpunkt – vWP:** Lattenstandpunkt zwischen zwei Instrumentenaufstellungen, wenn der Abstand zwischen zwei Höhenpunkten für eine Instrumentenaufstellung zu groß ist (zum Beispiel beweglicher Lattenuntersatz, Nagel im Asphalt)
- **fester Wechsellpunkt – fWP:** fest vermarkter Wechsellpunkt, von dem erwartet wird, dass er innerhalb der Messkampagne stabil bleibt (zum Beispiel Bodenbolzen, Bolzen im Beton einer Kontrollgangsohle, Horizontalbolzen im gesunden Fels); ein fester Wechsellpunkt muss nicht fest mit dem Objekt verbunden sein
- **Knotenpunkt:** Höhenpunkt (HP), an dem mehr als zwei Strecken oder Linien zusammentreffen; Knotenpunkte können Stütz- oder Objektpunkte sein
- **Auffelderung:** Zusammenführung zweier Netze über identische Punkte, unter der Voraussetzung, dass die innere Geometrie der Netze erhalten bleibt, was zu Klaffungen in den identischen Punkten führt (nach Entwurf DIN 18709), das heißt optimale Anpassung des Höhenbezugs nach dem Prinzip „Summe aller Verbesserungen (Restklaffungen, Residuen) gleich Null“ und „Summe aller Verbesserungsquadrate gleich Minimum“; hier: Umstellung vom Prinzip „Ein Bezugspunkt“ auf das Prinzip „Bezugsniveau mit mehreren Bezugspunkten“
- **Deformationsanalyse:** Verfahren zur Aufdeckung signifikanter Punktbewegungen mittels eines Zwei-Epochen-Vergleichs, Voraussetzung ist eine freie Ausgleichung der Epochen; hier: Verfahren der Auswertung von Höhenmessungen zum Nachweis von Stützpunktverschiebungen mittels eines Zwei-Epochen-Vergleichs oder mittels einer Zeitreihenanalyse (Regressionsanalyse)
- **Klaffung:** berechnet sich für identische Stützpunkte durch Transformation einer Epoche "Folgemessung" (FM) auf die Epoche "Bezugsmessung" (BM); hier: Differenz der Höhen der beiden Epochen

2 Genauigkeitsforderungen, Begriffe und Symbole

2.1 Das Grundprinzip

Die Messungen sind nach dem Prinzip „So genau wie möglich“ mit der vorhandenen Messausrüstung durchzuführen. Dabei gelten hinsichtlich einer vertretbaren Effizienz die Festlegungen dieser Messanweisung (zum Beispiel Messtechnologie RV und nicht RV VR). Die Wahrung dieses Prinzips bedeutet unter anderem, dass die Randbedingungen bei der Ausführung der Messungen optimal sein müssen (zum Beispiel meteorologische Bedingungen); näheres dazu siehe Kapitel 4 Messungsdurchführung.

Die vorgegebene Standardabweichung der Grundgesamtheit σ einer Messung ist zu unterschreiten, mindestens aber einzuhalten.

Die daraus abgeleitete zulässige Standardabweichung der Stichprobe s_{zul} (bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$) darf grundsätzlich nicht überschritten werden. Ausnahmefälle sind schwierigste Messbedingungen bei termingebundenen Messungen (zum Beispiel während eines Probetaues), die im Ergebnisbericht zu erläutern und nachzuweisen sind. Jedoch darf auch in diesen Fällen die $2,5\sigma$ -Grenze (98,8 %) nur ausnahmsweise in Anspruch genommen und keinesfalls überschritten werden.

Zur Bewertung der Messgenauigkeit gilt:

$d < \frac{1}{3} * d_{zul}$	→ Messergebnisse gut
$\frac{1}{3} * d_{zul} \leq d < \frac{2}{3} * d_{zul}$	→ Messergebnisse befriedigend/ausreichend
$\frac{2}{3} * d_{zul} \leq d < d_{zul}$	→ Messergebnisse ungenügend

Hinsichtlich des Streckenwiderspruches d gilt, 68 % der Streckenwidersprüche zwischen Hin- und Rückmessung müssen in dem Bereich von $< \frac{1}{3} * d_{zul}$ liegen und in nur 27 % aller Fälle darf der Bereich $\frac{1}{3} * d_{zul} < d < \frac{2}{3} * d_{zul}$ in Anspruch genommen werden.

Bei einer durchschnittlichen Zielweite innerhalb einer Linie von kleiner als 5 m darf der Bereich $\frac{1}{3} * d_{zul} \leq d < \frac{2}{3} * d_{zul}$ ebenfalls in Anspruch genommen werden!

Dieser Bewertungsgrundsatz gilt ebenso für andere Genauigkeitskriterien, im besonderen Maße jedoch für den Schleifenwiderspruch w .

2.2 Qualitätsdefinition

Das wesentlichste Qualitätsmerkmal für Überwachungsvermessungen ist die metrische Genauigkeit in Form der Standardabweichung. In der Messanweisung sind Zielgrößen (zum Beispiel s_{1km} , s_{zul}) angegeben, deren Erreichung beziehungsweise Einhaltung in den Messberichten nachzuweisen ist.

Die Richtigkeit der Messergebnisse und die Einhaltung der geforderten Genauigkeiten sind in den Ergebnistabellen vom Leiter der Messungsausführenden durch Freigabe mit Unterschrift zu versichern.

2.3 Symbole und Begriffe für Genauigkeitsangaben

Für Genauigkeitsangaben gelten folgende Symbole und Begriffe

σ	Standardabweichung einer Grundgesamtheit
s	Standardabweichung einer Messreihe oder Stichprobe
σ_0 bzw. s_0	Standardabweichung einer Beobachtung vom Gewicht 1, gilt für Höhenunterschiede (Normierung auf einen Standard, zum Beispiel 1 km)

$\sigma_{1\text{km}}$ bzw. $s_{1\text{km}}$ Standardabweichung eines Doppelnivellements mit Messweg 1 km

Hinweis:

$\sigma_{1\text{km}}$ und $s_{1\text{km}}$ sind gegebenenfalls mit der Wurzel der einfachen Strecke [km] zu multiplizieren, zum Beispiel $s_{1\text{km}} = 0,5 \text{ mm}$, Strecke HP A nach HP B = 0,64 km, $s_{A-B} = 0,4 \text{ mm}$

$\sigma_{\Delta h}$ und $s_{\Delta h}$ Standardabweichung eines gemessenen Höhenunterschiedes

σ_H und s_H Standardabweichung einer Höhe, ausgehend vom Bezugspunkt beziehungsweise vom Bezugsniveau (punktbezogene Genauigkeit)

α Irrtumswahrscheinlichkeit oder andere Überschreitungswahrscheinlichkeit (in der Regel $\alpha = 0,05$)

$1 - \alpha$ Vertrauensniveau oder anderes Konfidenzniveau (in der Regel 95 %)

2.4 Genauigkeitsanforderungen

$\sigma_{1\text{km}} = 0,5 \text{ mm}$ Standardabweichung eines Doppelnivellements mit Messweg 1 km nach DIN 18710-1, Klasse H 5 (Streckenkriterium); Kriterium gilt für durchschnittliche Zielweiten innerhalb einer Linie von 10 m und größer; bei durchschnittlichen Zielweiten von unter 5 m beziehungsweise generell komplizierten Messbedingungen gilt ebenfalls das $\sigma_{1\text{km}}$ – Kriterium, hier darf jedoch der Bereich $\frac{1}{3} * s_{\text{zul}} \leq s_{\text{Niv}} < \frac{2}{3} * s_{\text{zul}}$ in Anspruch genommen werden; nur in Ausnahmefällen bei schwierigsten Messbedingungen darf der Bereich $\frac{2}{3} * s_{\text{zul}} \leq s_{\text{Niv}} < s_{\text{zul}}$ in Anspruch genommen werden.

d_{zul} Widerspruch eines Höhenunterschiedes zwischen Hin- und Rückmessung kleiner $d_{\text{zul}} = 0,4 * \sqrt{n}$ (Streckenkontrolle)

Hinweis 1: "1/3-Regel" beachten!

Kontrolle der Zielweiten eines Standpunktes

ΔR $\Delta R = R_{\text{Rückblick}} - R_{\text{Vorblick}} < 2,0 \text{ m}$
Abweichungen sind dann erlaubt, wenn es die örtlichen Gegebenheiten innerhalb der Linie nicht anders zulassen, in jedem Fall muss der Wille zur Einhaltung beziehungsweise zur Annäherung an dieses Kriterium erkennbar werden

w_{zul} Schleifenwiderspruch: $w_{\text{zul}} = 0,2 * \sqrt{n}$
 n ... Anzahl der Instrumentenstandpunkte des einfachen Messweges

Hinweis: Hier liegt ein Vertrauensniveau von 95,5 % zugrunde.

F_{Δhzul} Zulässige Abweichung im Höhenunterschied zweier Stützpunkte
(Festpunktkontrolle): **F_{Δhzul} = 0,4 * √n**
Hinweis: Hier liegt ein Vertrauensniveau von 99,7 % zugrunde.

3 Messinstrumente, Messhilfsmittel, Messeinrichtung

3.1 Messinstrument und Messhilfsmittel

Es sind ausschließlich Digitalnivelliere mit einer Genauigkeit von $\sigma_{1\text{km}} \leq 0,3 \text{ mm}$ einzusetzen. Der Auftragnehmer hat ein Nivellierinstrument dieser Genauigkeit zu stellen. Der Auftragnehmer hat zu gewährleisten, dass im Vertragszeitraum ein und dasselbe Messinstrument (gleiche Gerätenummer) zum Einsatz kommt. Es muss in der Lage sein, die Messung mit den am Messobjekt vorhandenen Nivellierlatten durchführen zu können.

In Ausnahmesituationen kann der Auftraggeber ein entsprechendes Instrument zur Verfügung stellen.

An allen Anlagen, an denen die Nivellierlatten der TFW bereitgestellt werden, sind diese ausnahmslos zur Messung zu nutzen. Sorgsamer Umgang wird vorausgesetzt. Aufgetretene Schäden sind umgehend zu melden und durch den Auftragnehmer zu beseitigen.

3.2 Messeinrichtung

Nivellementpunkte (Fest-, Sicherungs- und Objektpunkte) sind grundsätzlich fest vermarktet. Die Vermarkung liegt in der Zuständigkeit der TFW.

In der Regel sind an allen Stauanlagen Wechsellpunktvermarkungen vorhanden. Für die Pflege, Erhaltung und Neueinrichtung von Wechsellpunkten ist das beauftragte Vermessungsbüro zuständig.

Nivellieren mit Lattenuntersätzen ist nicht gestattet.

Instrumentenstandpunkte sind zu markieren. Die Markierungen sind durch das beauftragte Vermessungsbüro auszuführen und zu erhalten.

3.3 Prüfung der Messinstrumente und Messhilfsmittel

Soweit es den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht, sind nur geprüfte Messinstrumente und Messmittel einzusetzen.

Die Prüfung der Instrumente und Messmittel richtet sich grundsätzlich nach der jeweiligen Bedienungsanleitung. Prüfungen sind zu dokumentieren und bei der Übergabe der Messberichte an die TFW mit auszureichen (insofern die Prüfung beim beauftragten Vermessungsbüro liegt). Kalibrier- und Prüfscheine sind dauerhaft aufzubewahren.

Nivellierinstrument

Eine Korrektur der Ziellinie ist bei Überschreiten eines Ziellinienfehlers von größer als 40 Sekunden ($c = 40''$) vorzunehmen (Hinweis: Der Umgang mit der Einheit [DMS] ist aus der Bedienungsanleitung zu entnehmen). Das zur Anwendung kommende Nivellierinstrument ist einmal jährlich von einer Fachfirma zu warten. Die Wartung ist mit dem Messbericht nachzuweisen inklusive der Einschätzung, ob das entsprechende Instrument für Nivellement der geforderten Genauigkeit geeignet ist.

Nivellierlatten

Alle Prüfungen sollten in der Arbeitsstellung (stehend) vorgenommen werden.

Die Präzisionsnivellierlatten der TFW sind einmal in drei Jahren zu kalibrieren (Bestimmung des Lattenmeters). Diese Kalibrierung schließt die Prüfung der Ebenheit der Aufsatzfläche, die Prüfung der Rechtwinkligkeit der Aufsatzfläche zur Lattenachse, die Prüfung der Dosenlibellen sowie das Bestimmen des Nullpunktfehlers ein.

Zum Prüfungsvorgang ist ein Protokoll erstellen zu lassen, welches neben den Prüfergebnissen auch darüber Auskunft gibt, ob die geprüfte Latte oder das geprüfte Lattenpaar für Messungen mit höchster Genauigkeit geeignet ist (Klasse H 5 nach DIN 18710).

Einmal in sechs Jahren ist (zusätzlich zu den oben genannten Prüfungen) der lineare Ausdehnungskoeffizient bestimmen zu lassen, inklusive der Neueinstellung der Latten-spannung.

Präzisionsnivellierlatten, die sich nicht im Eigentum der TFW befinden, sind jährlich prüfen zu lassen (linearer Ausdehnungskoeffizient beziehungsweise Lattenspannung einmal in zwei Jahren). Der Prüfumfang entspricht den Nivellierlatten der TFW. Die Ergebnisse der Prüfung sind mit dem Messbericht zu übergeben.

Weitere Hinweise sind in der Feldanweisung für die Präzisionsnivellements zur Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHNN) der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) in der jeweils aktualisierten Fassung.

4 Messungsdurchführung

4.1 Allgemein

Die Messungen sind nach den **allgemein anerkannten Regeln der Technik** vorzubereiten, auszuführen, aufzubereiten und auszuwerten. Dazu gehört, dass die Messungen so zu planen sind, dass systematische Fehler eliminiert oder minimiert beziehungsweise entsprechende Korrekturen rechnerisch an den Messwerten angebracht werden. Atmosphärische Einflüsse auf die Messungen und die Ergebnisse sind durch eine entsprechende Planung der Beobachtungen und deren Aufbereitung gering zuhalten. So sind zum Beispiel Messungen bei Frostboden nur im Ausnahmefall (Messung innerhalb der Verharrungsphase eines Probestaues) zulässig.

Das **Prinzip der Gleichzeitigkeit** ist einzuhalten. Dazu sind alle zu einem Termin erforderlichen Messungen weitestgehend kurzfristig (unter Beachtung der Messgenauigkeit, der Punktbewegungen sowie der spezifischen Anforderungen an die einzelnen Messverfahren und der äußeren Bedingungen) durchzuführen. Das gilt insbesondere für alle Messungen in und am Absperrbauwerk sowie den zugeordneten Bauwerken.

Die Nivellementlinien/-schleifen sind als **Doppelnivellement** im Hin- und Rückweg bei geeigneter Witterung unter verschiedenen atmosphärischen Bedingungen zu beobachten, das heißt, dass der Hinweg und der Rückweg der Linien an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten zu erfolgen hat. Kleinen Talsperren, an denen die Messungen innerhalb eines Tages durchgeführt werden können, werden von dieser Festlegung aus Kostengründen ausgenommen. Genauer dazu ist in den objektspezifischen Messeinweisungen enthalten.

Das **Prinzip der Gleichartigkeit** ist einzuhalten. Dazu sind die bei der Bezugsmessung angewendeten Technologien beizubehalten. Neue Technologien und/oder Messmittel dürfen nur verwendet werden, wenn damit nachweisbar die Genauigkeitsforderungen der Messanweisung eingehalten werden und die Stetigkeit der Messreihen gewährleistet ist. Sie bedürfen der Zustimmung des Auftraggebers. Messmittel, die der Auftraggeber nicht zur Verfügung stellt, müssen den Genauigkeitsforderungen entsprechen. Ein Wechsel des Messpersonals ist grundsätzlich zu vermeiden. Falls der Wechsel unumgänglich ist, muss die Homogenität der Messreihen gesichert werden (zum Beispiel dadurch, dass die Übergangsmessung vom bisherigen und neuen Beobachter gemeinsam ausgeführt wird).

4.2 Prüfungen vor Messungsbeginn

Vor Beginn der Messungen müssen täglich das Nivellierinstrument und die Nivellierlaten geprüft beziehungsweise justiert werden.

Nivellierinstrument:

- täglich: Dosenlibelle (180°-Drehung)
- täglich sowie bei Temperaturänderungen innerhalb eines Tages von $> 10\text{ K}$
Justierung der Zielachse nach den Verfahren von Förstner oder Näbauer beziehungsweise nach dem vorgegebenen Verfahren des Herstellers

Hinweis 1: Die aus der Vergangenheit vorhandenen Justierungen müssen mit den zukünftigen Justierungen vergleichbar sein.

Hinweis 2: Die am Messobjekt vorhandenen Justierstrecken bestimmen meistens das Verfahren der Justierung.

Hinweis 3: Auf die verfahrensabhängige Berücksichtigung von Erdkrümmung und Refraktion wird hingewiesen.

Nivellierlatten:

- täglich: Dosenlibelle (zum Beispiel Strichkreuz, Vergleichslot), gegebenenfalls Justierung
- vor Beginn einer Messkampagne: Aufsetzflächenprüfung (Abweichung $\leq 0,1$ mm zulässig)

Hinweise zur Ziellinienjustierung

Der Ziellinienfehler ist temperaturabhängig. Daher ist es notwendig, täglich vor dem Messungsbeginn und bei Temperaturänderungen von mehr als 10 K die Ziellinie zu justieren. Vor der Justierung muss das Instrument ausreichend temperiert sein (Faustregel: 1 K innerhalb von 10 min). Die Erdkrümmung bleibt unberücksichtigt. Das Einrichten von mehreren „festen“ Justierstrecken im und am Messobjekt hat sich aus Gründen der Effektivität bewährt.

Als einzuhaltende Standardabweichung (Einzelzielung) werden 0,03 mm vorgegeben und sind als dauerhafte Geräteeinstellung vorzunehmen.

Die festgestellten Zielachsenfehler (Abweichung zur Horizontalen, Änderung gegenüber der vorangegangenen Justierung) sind zu dokumentieren.

Korrektur der Lattenablesung

Die Lattenablesungen werden wegen der Restneigung der Zielachse im digitalen Nivellier automatisch korrigiert.

Korrekturen wegen Maßstabsfehler, die sowohl durch einen hohen abweichenden Wert des mittleren Lattenmeters als auch durch äußere Temperatureinwirkung verursacht werden, sind gegebenenfalls intern an den Lattenablesungen oder extern an den gemessenen Höhenunterschieden anzubringen. Eine geräteinterne Korrektur ist nicht zulässig! Angebrachte Korrekturen sind zu dokumentieren. Es ist anzustreben, dass die Auswirkung auf den maximalen Höhenunterschied zwischen dem am höchsten und am tiefsten gelegenen Höhenpunkt 0,10 mm nicht überschreitet.

Beispiel: Ein Höhenunterschied von 100 m soll mit 50 Aufstellungen überwunden werden; $0,1 \text{ mm}/n = 50$ entspricht $0,002 \text{ mm}/2 \text{ m} = 0,001 \text{ mm}/\text{m}$; das heißt, wenn das durch die Kalibrierung bestimmte Lattenmeter besser als $0,001 \text{ mm}/\text{m}$ ausfällt, kann in diesem Fall auf eine Korrektur wegen der Lattenmeterabweichung verzichtet werden.

4.3 Messverfahren

Die **Nivellementlinien/-schleifen** sind so anzulegen, dass benachbarte Punkte (zum Beispiel Punkte an einer Feldfuge oder Punkte eines Feldes) nacheinander beobachtet werden. Damit sind Beobachtungen in Springständen (im Hinweg 1 - 3 - 5 - ... und im Rückweg ... 6 - 4 - 2 - 1) nicht zulässig. Das Beobachten von vereinzelter Objektpunk-

ten über Zwischenblicke ist zulässig, wenn jeder Punkt im Hin- und Rückweg beobachtet wird (darf jedoch nicht zum Regelfall werden).

Erfahrungsgemäß sind problembehaftete Linien (zum Beispiel Linien mit ständig hoher Refraktionsanfälligkeit) doppelt zu beobachten. Bei doppelt beobachteten Linien kann die Hin- und Rückmessung unmittelbar nacheinander durchgeführt werden.

Stationiert wird mit **Zielweiten** bis maximal 25 m. Zielweitenunterschiede bis zu 2 m sind zulässig, jedoch ist darauf zu achten, dass sich die Zielweitenunterschiede innerhalb einer Linie nicht summieren (die Summe der Zielweiten im Vorblick und die Summe der Zielweiten im Rückblick einer Linie müssen sich annähern). Bei Zielungen über Asphaltflächen oder sonstigen refraktionsanfälligen Zielungen werden maximale Zielweiten nicht länger als 15 m empfohlen.

Der **Zielstrahl** sollte mindestens 0,5 m Abstand vom Boden oder von Hindernissen aufweisen. Ist das bei Messungen (zum Beispiel im Bauwerk) nicht realisierbar, sind negative Auswirkungen auf die Ablesung zu minimieren (zum Beispiel durch Wahl kürzerer Zielweiten).

Allgemein ist das **Messverfahren** RV anzuwenden (R, V ... Einspielen der Dosenlibelle). Diese Ablesefolge mit einem Lattenhalter und einer Latte ist aber in der Regel nur mit fest vermarkten Wechsellpunkten, als zeitlich getrenntes Doppelnivellement und nicht im Verfahren RVVR, zulässig (Latte würde während der Messung eines Höhenunterschiedes von R nach V und zurück nach R wechseln).

Messung von Rück- und Vorblicken:

- Die Messungen sind im Modus „Wiederholungsmessungen“ durchzuführen. Dabei sind die Messwerte als Mittelwert zu bilden. Weiterhin sind Justierparameter, Punktnummern, Hin- oder Rückmessung, Uhrzeit und Zielweiten zu registrieren.
- Die Geräteeinstellungen sind so zu wählen, dass mindestens drei Wiederholungsmessungen (pro Lattenablesung) durchgeführt werden. Der Messvorgang ist anhand der Standardabweichung oder der Änderung des Mittelwertes zu kontrollieren. Dabei darf die Standardabweichung nicht größer als 0,03 mm ausfallen.
- Bei Überschreitung oben genannter Standardabweichung kann die Anzahl der Wiederholungen dem Grad der Störeinflüsse angepasst werden, sollte jedoch den Wert von $n = 5$ nicht überschreiten. Die Zielgröße für die Standardabweichung von 0,03 mm bleibt unverändert.
- weitere Geräteeinstellungen:
Refraktionskoeffizient → NULL
Erdkrümmungskorrektur → aktiviert (oder deaktiviert mit nachträglicher Korrektur)
- Wenn es laut objektspezifischer Messanweisung zulässig ist, das Rücknivellement unmittelbar an das Hinnivellement anzuschließen, muss das Instrument vor Beginn des Rückwegs zwingend neu aufgebaut werden. Einfach erneut anzuzielen, reicht nicht aus. Die Nivellierlatte ist außerdem abzusetzen und anschließend erneut aufzusetzen. Vorstehende Forderungen sind insbesondere bei frei endenden Linien zu beachten.

Zwischenblicke nach vereinzeltten Objektpunkten sind zulässig, wenn das nicht zum Regelfall wird. Jeder Zwischenblick ist im Hin- und Rückweg, also zeitlich getrennt zu beobachten. Notwendige Zwischenblicke werden als Rückblick/Vorblick gemessen und dokumentiert, wobei dessen Zielweite nicht in den Messweg für die Genauigkeitsbeurteilung einer Linie eingehen darf.

Die Messwerte sind während der Messung, spätestens am Ende des Messtages, auf **Plausibilität** zu prüfen.

Bei **Nachbeobachtungen** sind nur diejenigen Strecken beziehungsweise Instrumentenstandpunkte neu zu beobachten, auf denen der zulässige Wert für den Widerspruch zwischen Hin- und Rückmessung überschritten wurde. Zur Sicherheit sollte aber die anschließende Strecke zwischen Objektpunkten beziehungsweise der anschließende Instrumentenstandpunkt zwischen festen Wechsellpunkten in die Nachbeobachtung einbezogen werden. Nachbeobachtungen haben zeitnah zu erfolgen (Einhaltung des Prinzips der Gleichzeitigkeit).

Als **Sekundärdaten** der Beobachtung einer Linie sind während der Messung folgende Informationen in Feldbüchern zu dokumentieren:

- Bezeichnung der Linie, Hin- oder Rückmessung
- Personen des Messtrupps
- Justierung der Ziellinie (siehe oben)
- Messtag (Datum), Beginn und Ende (Uhrzeit)
- Lufttemperatur am Beginn und Ende
- Meteorologischen Bedingungen (Grad der Bewölkung, Wind, Niederschlag, Refraktion)
- Typ und Nummer des Messinstrumentes
- verwendete Latten
- Besonderheiten während der Messung, die Einfluss haben könnten auf das Messergebnis (zum Beispiel Kompressorarbeiten in der Nähe, Grundablass geöffnet, Schwerlastverkehr)

Die während der Messung entstehende Messdatei ist mit den logischen, von der TFW festgelegten **Punktbezeichnungen** (zum Beispiel HFP 56, HP HKG 31.3, MB 63) zu führen. Numerische Durchnummerierungen sind nicht zulässig.

Bei der Messungsausführung sind die **Netzbilder oder Stationierungsrisse** und gegebenenfalls die speziellen Feldformulare (mit Bezeichnung der Höhenpunkte) zu benutzen.

Bei der Durchführung der Messverfahren sind von den Ausführenden die einschlägigen Bestimmungen des Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutzes zu beachten.

5 Sicherung und Instandhaltung der Messeinrichtung

Für die Sicherung und Instandhaltung der Messeinrichtungen sowie die Erhaltung der ständigen Messbereitschaft ist die TFW als Betreiber der Talsperre verantwortlich. Die Messeinrichtungen sind regelmäßig zu kontrollieren in jedem Fall vor dem Beginn einer Messepoche und gegen äußere oder fremde Einwirkungen zu schützen. Dabei ist insbesondere auf das Freihalten der Nivellementswege und die Vollständigkeit der Schutzkappen, Pfeilerabdeckungen, Wechsellpunkte, Markierungen der Instrumentenstandpunkte usw. zu achten. Der Korrosionsschutz ist zu gewährleisten.

Vom Messpersonal ist ein sorgsamer Umgang mit den Messeinrichtungen und Messmitteln sicherzustellen. Gegebenenfalls ist eine sofortige Mitteilung über Mängel an den Betreiber zu geben, jedoch spätestens mit Auslieferung des Messberichtes.

6 Aufbereitung und Auswertung der Messung

Die Aufbereitung und Auswertung muss zu widerspruchsfreien Messergebnissen führen und nachvollziehbar sein. Die verwendeten Auswertprogramme sind zu benennen. Die Programme müssen die Rechenschärfe $M \cdot 10^{-5}$ realisieren.

6.1 Aufbereitung der Nivellementlinien

Bei der Aufbereitung ist nach dem Muster in Anlage 1 vorzugehen. Die Aufbereitung der Linien hat folgende Angaben zu enthalten:

- Aufbereitung der Linie mit Bezeichnung der Höhen- und Wechsellpunkte, Hinweise zur Ausbildung der Wechsellpunkte, der Lattenablesungen in Rück- und Vorblick, der Zielweiten in Rück- und Vorblick
- Sekundärdaten (Datum, Uhrzeit vom Beginn und Ende, Lufttemperatur am Beginn und Ende, Adressenabschnitt in der Messdatei, meteorologische Angaben, verwendete Latten, Besonderheiten) – alles getrennt für die Hin- und Rückmessung einer Linie
- Angaben zur Justierung der Ziellinie inklusive meteorologische Bedingungen
- Zusammenstellung der Linienparameter (Summe der Höhenunterschiede von Hin- und Rückmessung, Linienwiderspruch, Anzahl der Instrumentenstandpunkte des einfachen Messweges, Summe der Zielweiten der Vor- und Rückblicke, der Streckenlängen von Hin- und Rückweg, durchschnittliche Zielweite)
- Zusammenstellung der Zielweiten und Zielweitenunterschiede (Rechenschärfe 0,1 m)
- Zusammenstellung der Widersprüche d der Nivellementsstrecken zwischen Hin- und Rückweg mit Summenbildung (Rechenschärfe 0,01 mm)

- Übersicht zur Einhaltung des $\frac{1}{3}$ - beziehungsweise des $\frac{2}{3}$ -Kriteriums bezüglich des Streckenwiderspruches **d**
- Gegenüberstellung und Bewertung der zu erreichenden Genauigkeit (**s_{zul}** inklusive deren Berechnung) und erreichten Genauigkeit der Linie (**s_{1km}**)
- gegebenenfalls Korrekturen wegen Maßstabsfehler der Nivellierlatten anbringen
- normalorthometrische Höhenreduktion entfällt

Weiterhin sind in dieses Aufbereitungsschema wichtige Parameter der Folgemessung voranzustellen:

- Zeitraum der Messung
- Stauhöhe in der Talsperre am Beginn und am Ende der Messung sowie die durchschnittliche Stauhöhe im Messzeitraum
- Messzeitraum der stauabhängigen Linien (nur wenn die Messung länger als fünf Arbeitstage dauert)
- das verwendete Nivellierinstrument (Typ und Instrumentennummer)
- Hintergrund der Messung (zum Beispiel Folgemessung im Rahmen der Komplexmessung im Herbst eines Jahres)
- Kennzahlen des Nivellementnetzes (Gesamtlänge der Linien, Anzahl der Standpunkte, durchschnittliche Zielweite, Mittelwert und Standardabweichung, **d** und **s**, der Genauigkeit aller Strecken und Linien)

Zur Erstellung des Aufbereitungsschemas ist die Software „MS-Excel“ zu nutzen.

In das oben beschriebene Aufbereitungsschema ist als separates „MS-Excel-Tabellenblatt“ die in „MS-Excel“-Format konvertierte Messdatei einzuarbeiten. In dieses „MS-Excel-Tabellenblatt“ mit den Originaldaten sind alle Änderungen einzuarbeiten, welche an der Originalmessdatei vorgenommen werden müssen, um dieses Datenmaterial für die notwendige Ausgleichung im PANDA vorzubereiten. In diese Datei sind ebenfalls der Messtag der Hin- beziehungsweise Rückmessung der Linie aufzunehmen.

6.2 Zulässige Messabweichungen

6.2.1 Zielweitenunterschiede

Die Zielweiten von Vorblick und Rückblick eines Standpunktes dürfen sich nur in Ausnahmefällen um mehr als 2 m unterscheiden.

Die Instrumentenstandpunkte innerhalb der Strecken und Linien sind so zu gestalten, dass die Summen der Zielweiten aller Vorblicke mit der Summe aller Rückblicke in etwa übereinstimmen (Nachweis!).

Die Messung von Hin- und Rückweg ist so zu gestalten, dass die Zielweiten des Hin- und des Rückweges in etwa übereinstimmen (Nachweis!).

Die hier zu erbringenden Nachweise sind Bestandteil des im Abschnitt 6.1 beschriebenen Aufbereitungsschemas.

6.2.2 Zulässiger Streckenwiderspruch

Die Berechnung des größten zulässigen Betrages der Summe der Höhenunterschiede der Hin- und Rückmessung einer Nivellierstrecke (gilt nach Abschnitt 2.4 für $\sigma_{1\text{km}} = 0,5 \text{ mm}$) erfolgt nach:

$$d_{\text{zul}} = 0,4 * \sqrt{n} \text{ [mm] bei } 1 - \alpha = 95 \%$$

n = Anzahl der gemessenen Höhenunterschiede des einfachen Messweges innerhalb einer Strecke, $n > 1$

Für die Bewertung gilt auch hier das $\frac{1}{3}$ -Kriterium:

$$d < \frac{1}{3} * d_{\text{zul}} \text{ (gilt für 68,3 \% aller Fälle)}$$

Die hier zu erbringenden Nachweise sind Bestandteil des im Abschnitt 6.1 beschriebenen Aufbereitungsschemas.

6.2.3 Zulässiger Linienwiderspruch

Ermittlung der Standardabweichung der Widersprüche zwischen Hin- und Rückmessung der Strecken (Streckendifferenzen)

Die Kontrolle der vorgegebenen Genauigkeit wird durch Berechnung der erreichten Standardabweichung s in Linien ausgeführt. Die Bewertung erfolgt mit $n_f = n_r$ Freiheitsgraden.

$$s_{1\text{km}} = \sqrt{\frac{\sum[d * d/R]}{4 * n_r}}$$

R	Summe der Zielweiten des einfachen Messweges innerhalb einer Nivellierstrecke [km]
d	Summe der Höhenunterschiede der Hin- und Rückmessung einer Strecke [mm]
$\sum[d*d]$	Summierung von $[d*d]$ über n_r -Strecken
n	Anzahl der Stationen des einfachen Messweges einer Strecke
n_r	Anzahl der Strecken in einer Linie

n_f Anzahl der Freiheitsgrade; hier: Anzahl der gemessenen Nivellementstrecken einer Linie

Berechnung des zulässigen Genauigkeitsmaßes der Linie s_{zul}

$$s_{1km} \leq T * \sigma = s_{zul}$$

s_{1km} Standardabweichung aus Streckendifferenzen

σ_{1km} Standardabweichung der Grundgesamtheit (geforderte Genauigkeit) nach Abschnitt 2.4

$T = \sqrt{\frac{\chi^2}{n_f}}$ Schranken für **s** beziehungsweise **σ** entsprechend der Chiquadrat-Verteilung (Tabelle 1) in Abhängigkeit von **$n_f = n_r$**

n_r Anzahl der Strecken einer Linie

Tabelle 1

n_f	T	n_f	T
1	1,96	9	1,37
2	1,73	10	1,35
3	1,61	15	1,29
4	1,54	20	1,25
5	1,49	30	1,21
6	1,45	60	1,15
7	1,42	100	1,11
8	1,39	200	1,08

Bewertung der erreichten Genauigkeit einer Linie

Beispiel:

$s_{1km} =$ 0,24 mm (erreichte empirische Standardabweichung)

$\sigma_{1km} =$ 0,50 mm (Genauigkeitsforderung)

$n_f =$ 3 (Anzahl der gemessenen Nivellierstrecken)

$s_{zul} =$ 1,61 * 0,50 mm = 0,80 mm

$s_{1km} < s_{zul}$ ergibt: Genauigkeitsforderung eingehalten

Dieser Bewertung liegt eine Irrtumswahrscheinlichkeit von **$\alpha = 5 \%$** zugrunde.

Der Nachweis erfolgt in dem im Kapitel 6.1 beschriebenen Aufbereitungsschema.

6.2.4 Zulässiger Schleifenwiderspruch

Auf der Basis der Nivellementlinien sind Schleifen zu bilden. Die Schleifenwidersprüche **W** sind anhand der gemittelten Höhenunterschiede der Linien nachzuweisen, mit dem zulässigen Schleifenwiderspruch **W_{zul}** zu vergleichen und zu bewerten (Anlage 2).

Berechnung des größten zulässigen Betrages der Abweichung der Summe der gemessenen Höhenunterschiede von Null nach:

$$w_{zul} = 0,2 * \sqrt{n} \text{ [mm] bei } 1 - \alpha = 95 \%$$

n = Anzahl der gemessenen Höhenunterschiede des einfachen Messweges innerhalb einer Schleife

Für die Bewertung gilt auch hier das 1/3-Kriterium:

$$W < \frac{1}{3} * W_{zul}$$

Es ist eine Zusammenstellung der Schleifenwidersprüche der Folgemessungen zu führen.

Die hier zu erbringenden Nachweise sind als separate „MS-Excel“-Tabellenblatt in die „MS-Excel“-Datei des im Abschnitt 6.1 beschriebenen Aufbereitungsschemas einzuarbeiten.

6.2.5 Vereinfachte Bezugspunktkontrolle

Es ist eine vereinfachte Festpunktkontrolle des beziehungsweise der Bezugspunkte durchzuführen. Grundlage bilden die gemittelten Höhenunterschiede zwischen dem beziehungsweise den Bezugspunkten und den in der Nähe befindlichen Sicherungspunkten. Es sind die Höhenunterschiede zwischen dem Bezugspunkt und mindestens drei Sicherungspunkten zu betrachten (besser mehr). Es werden dazu die gemittelten Höhenunterschiede aus Hin- und Rückmessung verwendet (vor Ausgleichung!). Eine Zusammenstellung der einzelnen Festpunktkontrollen der Folgemessungen ist nach Anlage 3 zu führen. Abschließend ist die Stabilität des oder der Bezugspunkte zu bewerten. Dabei kann eine Zeitreihendarstellung hilfreich sein beziehungsweise eine Regressionsanalyse notwendig werden.

Der größte zulässige Betrag des Widerspruches eines gemessenen, gegenüber einem vorgegebenen, Höhenunterschied zwischen zwei benachbarten Stützpunkten berechnet sich nach:

$$F_{\Delta hzul} = 0,4 * \sqrt{n} \text{ [mm] bei } 1 - \alpha = 99,7 \%$$

n = Anzahl der gemessenen Höhenunterschiede des einfachen Messweges zwischen den benachbarten Punkten.

Wird im Rahmen der vorstehenden vereinfachten Kontrolle nachgewiesen, dass der bisherige Bezugspunkt instabil ist, muss ein neuer Bezugspunkt definiert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, im Rahmen der freien Ausgleichung inklusive einer Deformationsanalyse, die Stabilität eines Bezugspunktes beziehungsweise eines Bezugsniveaus (mehrere Bezugspunkte) nachzuweisen (siehe auch Abschnitt 6.4.5). Die Festlegung eines neuen Bezugspunktes bedarf der Zustimmung des AG.

Die hier zu erbringenden Kontrollen sind als separate „MS-Excel“-Tabellenblatt in die „MS-Excel“-Datei des im Abschnitt 6.1 beschriebenen Aufbereitungsschemas einzuarbeiten.

6.3 Netzausgleichung

Sind die (entsprechend Abschnitt 6.1 und 6.2) geforderten Nachweise erbracht, ist das Datenmaterial für eine Netzausgleichung und eventuell einer Deformationsanalyse geeignet.

Mit einer Ausgleichung wird das Ziel verfolgt,

- a) die Widersprüche im Netz nach der Methode „Summe aller Verbesserungsquadrate gleich Minimum“ zu verteilen und
- b) Angaben zur Genauigkeit sowohl der Folgemessung insgesamt als auch der einzelnen Punkthöhen (punktbezogene Genauigkeit) zu erhalten.

Die Netzausgleichung (inklusive eventueller Deformationsanalyse) hat mit dem Programmpaket „PANDA“ zu erfolgen.

Die Netzauswertung sollte so einfach wie möglich erfolgen. Deshalb ist die Variante Ausgleichung ohne Auffelderung mit nur einem Bezugspunkt und vorangegangener vereinfachter Bezugspunktkontrolle zu bevorzugen. Die Netzauswertung muss zu widerspruchsfreien Ergebnissen führen und nachvollziehbar sein.

6.3.1 Ausgleichung ohne Auffelderung

Die Netzausgleichung erfolgt als Höhennetz ohne Auffelderung auf den alleinigen Bezugspunkt der Bezugsepoche nach Abschnitt 6.3. Eine Deformationsanalyse wird in diesem Fall nicht notwendig, da die Stabilität des Bezugspunktes vorab mittels vereinfachter Festpunktkontrolle nachgewiesen wurde.

Wenn beim Globaltest für die theoretische Varianz der entsprechende Hinweis aus dem PANDA erfolgt „Empirische Varianz der Gewichtseinheit stimmt mit 95%iger Sicherheitswahrscheinlichkeit nicht mit der theoretischen Varianz überein“, ist in der Regel eine Anpassung der a priori Standardabweichung vorzunehmen und ein erneuter Ausgleichungsdurchlauf zu starten. Dabei ist die im Zuge der Ausgleichung berechnete Standardabweichung (angepasstes s_{BEO}) als neuer a priori-Wert einzusetzen. Die ausgeglichenen Höhen ändern sich dadurch nicht.

6.3.2 Ausgleichung mit Auffelderung

Freie Ausgleichung mit Auffelderung

Die Netzausgleichung erfolgt zunächst als „Freies Höhennetz mit Auffelderung“ auf die als Stützpunkte ausgewählten Bezugspunkte der Bezugsepoche. Das nach der freien Netzausgleichung vorliegende Datenmaterial ist die Grundlage für eine Deformationsanalyse. Mit deren Hilfe ist es möglich die Stabilität der oben genannten Stützpunkte nachzuweisen beziehungsweise im Umkehrschluss alle als verschoben erkannten Stützpunkte von der Lagerung auszuschließen. Alle als bewegt nachgewiesenen Stützpunkte verlieren ihren Status als Bezugspunkt. Verschobene Stützpunkte sind im Sinne eines Objektpunktes bei der erneuten Ausgleichung in das Netz einzuschalten. Gleichzeitig kann es notwendig sein, hinsichtlich des Erhaltes der Netzlagerung (Netzkongfiguration) neue Bezugspunkte einzuführen. Die Restklaffungen an den Stützpunkten sind zur Beurteilung der Höhenstabilität zu verwenden.

Wenn beim Globaltest für die theoretische Varianz der entsprechende Hinweis aus dem PANDA erfolgt „Empirische Varianz der Gewichtseinheit stimmt mit 95%iger Sicherheitswahrscheinlichkeit nicht mit der theoretischen Varianz überein“, ist in der Regel eine Anpassung der a priori Standardabweichung vorzunehmen und ein erneuter Ausgleichungsdurchlauf zu starten. Dabei ist die im Zuge der Ausgleichung berechnete Standardabweichung (angepasstes s_{BEO}) als neuer a priori-Wert einzusetzen. Diese Anpassung ist notwendig, um die Deformationsanalyse erfolgreich durchführen zu können und um „kleine grobe Fehler“ zu erkennen. Die ausgeglichenen Höhen ändern sich dadurch nicht.

Deformationsanalyse

Die Deformationsanalyse ist grundsätzlich in den Schritten Rückwärtsstrategie mit anschließender Vorwärtsstrategie auszuführen. Bei der Rückwärtsstrategie werden alle Stützpunkte schrittweise auf Stabilität in absteigender Reihenfolge des Betrages ihrer Klaffung geprüft. Das verbleibende Netz wird solange erneut getestet bis sich keine signifikanten Klaffungen mehr ergeben, das heißt bis alle verbleibenden Punkte als stabil getestet worden sind. Die als bewegt getesteten Punkte werden damit als Stützpunkte ausgeschlossen und erhalten den Status eines Objektpunktes. In der Vorwärtsstrategie werden schrittweise die vorher ausgeschlossenen Stützpunkte (aktueller Status: Objektpunkt) mit der jeweils geringsten Klaffung als stabil betrachtet und gegebenenfalls wieder den Stützpunkten hinzugefügt. Das Verfahren wird abgebrochen, sobald sich signifikante Klaffungen an einem der Objektpunkte (ursprünglicher Stützpunkt) ergeben.

Ausgleichung unter Zwang

Die endgültig ausgeglichenen Höhen aller Punkte der Messepoche werden durch Ausgleichung als angeschlossenes Höhennetz unter Zwang berechnet. Grundsätzlich können als Bezugspunkte die in der Deformationsanalyse als stabil getesteten Stützpunkte (Bezugsniveau) verwendet werden. Von diesem Grundsatz kann gegebenenfalls abgewichen werden (zum Beispiel Erhalt oder Änderung der Netzkongfiguration beziehungsweise des Bezugsniveaus, Grenzwertbetrachtungen bei Punktverschiebungen mit nicht eindeutiger Signifikanz). Festlegungen dazu sind gemeinsam zwischen Auftragnehmer und TFW zu treffen.

6.3.3 Genauigkeitsmaße des PANDA

Das Programmpaket PANDA liefert Genauigkeitsangaben, die in dem Textteil des Messberichtes aufzuführen und zu bewerten sind:

- angepasstes **S_{BEO}** – Wert für die Gruppenstandardabweichung beziehungsweise den Faktor **S₀** bei gemessenen Höhen
- punktbezogene Genauigkeit für jeden Höhenpunkt bezogen auf (eine) Standardabweichung **s_H** (**P** = 68,3 %) inklusive der zugehörigen oberen und unteren Grenze

Hinweis: Der genaue Lieferumfang hinsichtlich der punktbezogenen Genauigkeit ist im Kapitel 7 beschrieben.

Es ist eine Zusammenstellung der PANDA-Genauigkeitsmaße der Folgemessungen zu führen.

7 Dokumentation der Messepoche im Messbericht

Jede Messung einer Messepoche ist in einem Messbericht zu dokumentieren. Der Messbericht ist in digitaler Form zu übergeben. Die Messung und die übergebenen Mess- und Ergebniswerte sind im Messbericht zu erläutern und messtechnisch zu bewerten.

Die Messwerte sind bei automatischer Feldregistrierung in Drucklisten nachzuweisen. Die Messprotokolle der Sekundärdaten sind mit der Bezeichnung des Objekts, des Messverfahrens, der Messmittel sowie mit Datum, Uhrzeit, Namen und Unterschrift des Beobachters (Messtruppführer) zu versehen. Sollten Messungen noch in analoger Form durchgeführt werden, so sind die Messwerte in Feldbücher einzutragen und diese als Scan im PDF-Dateiformat dem Messbericht beizulegen.

Der Messbericht muss beinhalten:

- Erläuterungsbericht (Textteil) mit messtechnischer Bewertung
- Zusammenstellung der Messwerte und Sekundärdaten inklusive der Aufbereitung des Datenmaterials bis zum Nachweis der Eignung für eine Ausgleichung beziehungsweise Deformationsanalyse nach Abschnitt 6.1 und Anlagen 1 bis 3
- Zusammenstellung und Genauigkeitsnachweise der Linien/Schleifen sowie der Festpunkt- oder sonstiger Kontrollen nach Abschnitt 6.1 und 6.2 sowie Anlagen 1 bis 3
- die skizzierte Darstellung der durchgeführten Nivellement-Netzskizze (Messwege, Fest- und Objektpunkte, Gültigkeit für FM ..., ...)
- die Stationierungsrisse, solange ohne feste Wechsellpunktvermarkung gemessen wird

- Angaben über äußere Umstände, die für die Messungen von Bedeutung sind (zum Beispiel Abweichung vom Messprogramm/Messanweisung, Negativeinflüsse auf das Messergebnis)
- Angaben zur Prüfung der Messinstrumente und Nivellierlatten nach Kapitel 4.2 inklusive Bewertung
- Es ist eine umfassende Legende für die Begriffe und Kurzzeichen des Programmpaketes PANDA beizufügen.

Nachfolgende Übersicht enthält die in digitaler Form und/oder als Leseexemplar zu liefernden Informationen:

- Textteil des Messberichtes
- Netzskizzen
- Feldformulare der Sekundärdaten (PDF)
- MS-Excel-Datei „Aufbereitung“
- Tabellenblatt „Bezugspunktkontrolle“
- Tabellenblatt „Schleifenwidersprüche“
- Originale Messdatei (unkorrigiert)
- Originale Messdatei (korrigiert)
- PANDA-.fbn-Datei (Feldbuch-Datei)
- PANDA-.onr-Datei (Linien-Datei)
- PANDA-.onk-Datei (Aufbereitungsdatei)
- PANDA-.o1a-Datei (Ausgleichungsdatei)
(gilt für die freie Ausgleichung als auch für die Ausgleichung unter Zwang)
- PANDA-.o1d-Datei (Defo-Analysedatei)
- PANDA-.kls-Datei (EW-Datei)
- MS-Excel-Datei „pkt.-bezogene Genauigkeit“
- MS-Excel-Datei „Ergebniswerte“
- MS-Excel-Datei „Ziellinienfehler“
- Panda-Handbuch (verwendete Version)

In der „korrigierten Messdatei“ sind alle Änderungen an den Messdaten erkenntlich zu machen und zu kommentieren (zum Beispiel Korrektur der Lattenablesungen und Zielweiten wegen einer Nachmessung).

Die Datei „Punktbezogene Genauigkeit“ muss von Folgemessung (FM) zu FM mit den Daten der aktuellen FM ergänzt werden und folgende Angaben enthalten:

- ausgeglichene Höhen aller Punkte mit ihrer oberen und unteren Grenze (entspricht der Abweichung nach oben und unten für eine Standardabweichung – entspricht $P = 68,3 \%$) sowie den Abweichungen nach oben und unten
 - Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum aus allen Abweichungen
 - Übersicht zu den analogen Daten der vorangegangenen Folgemessungen
- Die Datei „Ergebniswerte“ enthält das komplette Höhenverzeichnis und die Differenzen zur Bezugsmessung.

Die Datei „Ziellinienfehler“ enthält Datum und Nummerierung der Justierung, Ziellinienfehler und -korrektur, Lufttemperatur während der Ziellinienjustierung, Ort der Justierstrecke und FM der Vertikalverschiebungsmessung (VVM), in der die Ziellinienjustierung vorgenommen wurde.

Die analogen Daten sind als Scans im PDF-Datenformat dem Messbericht beizufügen. Die Dokumentation ist termingerecht (drei Wochen nach Ende der Messung) und vollständig an die Cloud des Auftraggebers zu übergeben.

Die Messergebnisse (Punkthöhen und Höhendifferenzen gegenüber der festgelegten Bezugsepoche) sind in Ergebnistabellen, gegebenenfalls mit zusätzlich vereinbarten graphischen Darstellungen zu übergeben.

Vom Auftraggeber vorgegebene Ergebnistabellen und graphischen Darstellungen sind zu verwenden. Die Ergebnistabellen müssen eine Lageskizze des Netzbildes beziehungsweise der entsprechenden Linien enthalten.

Ende der Eintragungen