

Messanweisung zur Vertikalverschiebungsmessung, „Grundlagen – Hydrostatisches Nivellement“

Zur Anwendung im Betrieb angewiesen:

Luisenthal, den 15. Mai 2025



Hans-Dieter Linz
Betriebsleiter

Vertikalverschiebungsmessung

Messanweisung (MA)

Grundlagen – Hydrostatisches Nivellement (HN) (Präzisionsschlauchwaage)

(MA – VVM HN G)

Erstellt von:

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

Herrn Dipl.-Ing. M. Friedrich

Herrn A. Gebhardt

Herrn Dipl.-Ing. M. Riese

Herrn Dr. M. Sabrowski

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 nach dem 31.05.2012 zu dokumentieren.

Vorgenommene Änderungen:

19.10.2015 Endfassung erstellt, Anzahl der Leseexemplare auf einfach geändert

15.05.2025 Aktualisierung Regelwerke
Dokumentation der Messepoche als volldigitale Lieferung in TFW-Cloud

Inhalt

Seite

1	Allgemeines	5
1.1	Vorbemerkung	5
1.2	Anwendungsbereich	5
1.3	Bautechnische Zielstellungen	6
1.4	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	9
3	Messinstrumente, Messhilfsmittel, Messeinrichtung	10
3.1	Messinstrument und Messhilfsmittel	10
3.2	Messeinrichtung	10
3.3	Prüfung der Messinstrumente und Messhilfsmittel	10
4	Messungsdurchführung	10
4.1	Allgemein	10
4.2	Prüfungen vor Messungsbeginn	11
4.3	Messverfahren	12
5	Sicherung und Instandhaltung der Messeinrichtung	15
6	Aufbereitung und Auswertung der Messung	15
6.1	Kontroll- und Genauigkeitsmaße	16
7.	Dokumentation der Messepoche im Messbericht	17

1 Allgemeines

1.1 Vorbemerkung

Das hydrostatische Nivellement ist ein hochgenaues aber zeitaufwendiges Messverfahren. Wenn es die Genauigkeitsanforderungen hinsichtlich der bautechnische Bewertung und die örtlichen Gegebenheiten zulassen, wird empfohlen, ein hydrostatisches Nivellement durch ein geometrisches Nivellement zu ersetzen. Die Entscheidung darüber liegt beim zuständigen Betriebsingenieur für Bauwerksüberwachung der Thüringer Fernwasserversorgung (TFW).

1.2 Anwendungsbereich

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

Im Folgenden ist mit der Bezeichnung „hydrostatisches Nivellement“ die Messung mit der Freiburger Präzisionsschlauchwaage nach *Meißer* gemeint.

Die Messanweisung „Grundlagen – hydrostatisches Nivellement“ enthält allgemeingültige technologische Festlegungen. Spezielle technologische Festlegungen enthalten die Messanweisungen „Objektspezifisch“.

Hinweis auf zugrundeliegende Normen und Richtlinien, in denen sich die allgemein anerkannten Regeln der Technik dokumentieren:

- DIN 18709 – Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen im Vermessungswesen
Teil 1 – Allgemeines, 2020-03
Teil 2 – Ingenieurvermessung, 2020-03
Teil 4 – Ausgleichsrechnung 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
- Möser und andere, Handbuch Ingenieurgeodäsie, Band Grundlagen, 3. Auflage 2000, Herbert Wichmann Verlag
- Möser und andere, Handbuch Ingenieurgeodäsie, Band Ingenieurbau, 1. Auflage 2008, Herbert Wichmann Verlag
- Bedienungsanleitung Freiburger Präzisionsschlauchwaage nach Meißer

1.3 Bautechnische Zielstellungen

Die Hauptmessziele sind:

- Ermittlung von Vertikalverschiebungen (Setzungen, Hebungen)
- Beobachtung von Vertikalverschiebungsunterschieden zur Ermittlung von Bauwerksneigungen (zum Beispiel Basisneigung eines Feldes/Blockes einer Stauwand)
- Ermittlung von Vertikalverschiebungsunterschieden zwischen Bauwerksteilen (zum Beispiel zwischen Feldern/Blöcken)

Ein nachgeordnetes Messziel ist:

- Verbindung zweier Linien des geometrischen Nivellements durch Wände/Betonbauteile hindurch

Voraussetzung für das Bestimmen absoluter Höhen bzw. Vertikalverschiebungen ist der Anschluss an ein stabiles Höhenfestpunktfeld, im Allgemeinen durch ein geometrisches Nivellement. Die Genauigkeit der durch ein hydrostatisches Nivellement bestimmten Punkte ist von der Genauigkeit des Anschlusses an das geometrische Nivellement abhängig.

1.4 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, 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:** 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 (Höhenunterschied)
- **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, Neigung)

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

Da die Messung des HN nach dem Prinzip AB BA (siehe Abschnitt 2.1) und nicht nach dem Prinzip Hin- und Rückmessung an verschiedenen Tagen zu verschiedenen Uhrzeiten (siehe MA GN) durchgeführt wird, werden folgende spezifische Definitionen zum hydrostatischen Nivellement festgelegt:

- **Δh :** mit der Präzisionsschlauchwaage nach dem Prinzip AB BA gemessener Höhenunterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Punkten
- **Strecke r:** nivellitische Verbindung zweier aufeinanderfolgender Nivellementpunkte/Objektpunkte innerhalb einer Linie
- **Linie:** Zusammenfassung von aufeinanderfolgenden Höhenunterschieden Δh ; eine Linie besteht aus **n** Strecken
- **Schleife:** in sich geschlossene Folge von Linien
- **Höhenfestpunkt** des geometrischen Nivellements (in der Regel) = **Stützpunkt:** Ausgangspunkt für die Objektvermessung der Höhe (18709-1), siehe auch Festpunktfeld (18710-1) und Vermessungspunkt (18710-1); wird nicht durch Deformationen des Messobjektes oder anderes beeinflusst; seine konstruktive Ausbildung gewährleistet Langzeitstabilität
- **Bezugspunkt** des geometrischen Nivellements: ausgewählter Stützpunkt außerhalb des Messobjektes sowie seines Einflussbereiches, der dauerhafte Stabilität erwarten lässt

- **Anschlusspunkt:** durch ein geometrisches Nivellement bestimmter Höhenpunkt für den Anschluss des hydrostatischen Nivellements; er ist so zu wählen, dass das hydrostatische Nivellement weitestgehend frei von systematischen Fehlereinflüssen angeschlossen werden kann
- **Objektpunkt:** geodätische Messstelle im oder am Messobjekt, der durch Wirkgrößen beeinflusst ist oder sein könnte
- **Gerätekonstante k:** Die Gerätekonstante **k** ist die Nullpunktdifferenz (Skalendifferenz) zwischen den Messeinheiten **A** und **B**; Hinweis: die Einflüsse auf die Messunsicherheit wirken sich ebenfalls auf die Streuung der Gerätekonstante aus

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, dass ausnahmslos jeder Höhenunterschied doppelt, also zuerst Messeinheit A auf Punkt n, Messeinheit B auf Punkt n+1, dann Messeinheit B auf Punkt n und Messeinheit A auf Punkt n+1, gemessen wird). Die Wahrung dieses Prinzips bedeutet unter anderem, dass die Randbedingungen bei der Ausführung der Messungen optimal sein müssen (zum Beispiel Luftdruck und Temperatur); 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 Probestaues), die im Ergebnisbericht zu erläutern und nachzuweisen sind. Jedoch darf auch in diesen Fällen die 2,5- σ -Grenze (98,8 %) nur ausnahmsweise in Anspruch genommen und keinesfalls überschritten werden.

Zur Bewertung der Messgenauigkeit gilt:

Genauigkeit der Messung

gut	→	$< \frac{1}{3}$ des zulässigen Wertes
befriedigend/ausreichend	→	$\leq \frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ des zulässigen Wertes
ungenügend	→	$> \frac{2}{3}$ des zulässigen Wertes

Dieser Bewertungsgrundsatz gilt auch 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 $s_{\Delta h}$) 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
$\sigma_{\Delta h}$ und $s_{\Delta h}$	Standardabweichung eines gemessenen Höhenunterschiedes zwischen zwei, in einer Linie aufeinanderfolgenden Punkten = Strecke; es gilt das Prinzip AB BA
σ_H und s_H	Standardabweichung einer Höhe, ausgehend vom Bezugspunkt (punktbezogene Genauigkeit) Hinweis: Die Genauigkeit des durch ein geometrisches Nivellement bestimmten Anschlusspunktes geht in die Genauigkeit des hydrostatischen Nivellements ein!
α	Irrtumswahrscheinlichkeit oder andere Überschreitungswahrscheinlichkeit (in der Regel $\alpha = 0,05$)
$1 - \alpha$	Vertrauensniveau oder anderes Konfidenzniveau (in der Regel 95,5 %)

2.4 Genauigkeitsanforderungen

$\sigma_{\Delta h} = 0,02 \text{ mm}$

w_{zul} Schleifenwiderspruch: $w_{zul} = 0,04 \text{ mm} \cdot \sqrt{n}$
 n ... Anzahl der Höhenunterschiede/Strecken

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

3 Messinstrumente, Messhilfsmittel, Messeinrichtung

3.1 Messinstrument und Messhilfsmittel

Es sind ausschließlich die Präzisionsschlauchwaagen der FPM Holding GmbH (Freiberger Präzisionsmechanik) einzusetzen, die $\sigma_{\Delta h} \leq 0,02$ mm gewährleistet. Die Längen des Flüssigkeitsschlauches und des Druckausgleichsschlauches sollen 25 m nicht überschreiten. Der Innendurchmesser des Flüssigkeitsschlauches sollte nicht kleiner als 12 mm ausfallen und aus einem Stück bestehen (ohne Kupplung).

Es sind ausschließlich durchsichtige Schläuche zu verwenden.

Die Messsysteme werden von der TFW gestellt.

3.2 Messeinrichtung

Schlauchwaagemesspunkte sind fest vermarkt. Die Vermarkung liegt in der Zuständigkeit der TFW. Der Abstand der Punkte soll in der Regel 20 m nicht überschreiten. Hinsichtlich der Effektivierung der Messungsdurchführung sollten die Schlauchwaagebolzen einen möglichst geringen Höhenunterschied aufweisen.

Wegen des Einflusses der Temperatur auf die Messung (siehe Abschnitt 4.3) sollten die vertikalen Schlauchabschnitte möglichst klein sein, sind jedoch durch eine zweckmäßige Arbeitshöhe an der Messeinheit begrenzt.

Größere Höhenunterschiede lassen sich nur durch vertikal übereinander angebrachte Punkte überbrücken, wobei zwischen diesen Punkten der Höhenunterschied nivellitisch oder mit einem Maßstab gemessen wird und dann – meist als Konstante – in die Berechnung eingeht.

3.3 Prüfung der Messinstrumente und Messhilfsmittel

In der Regel ist an den zum Einsatz kommenden Messinstrumenten nur die Dosenlibelle zu prüfen.

Die Prüfung der Instrumente 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).

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 werden beziehungsweise entsprechende Korrekturen rechnerisch an den Messwerten

angebracht werden. Temperatur- und Luftdruckeinflüsse auf die Messungen und die Ergebnisse sind durch eine entsprechende Planung der Beobachtungen und deren Aufbereitung gering zu halten. So sind zum Beispiel Messungen bei Frost an den Messstellen (betrifft Messstellen im Eingangsbereich) nur im Ausnahmefall 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.

Speziell bei der Beobachtung eines hydrostatischen Nivellements ist darauf zu achten, dass eine zeitliche Nähe zum geometrischen Anschlussnivellement zu gewährleisten ist.

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. Änderungen bedürfen der Zustimmung des Auftraggebers. 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

Schlauchwaage

- täglich vor Messbeginn: Dosenlibelle (Sichtkontrolle)
- Blasenbildung im Anschlussstutzen
- Dichtheit der Anschlussstutzen und des Glaszylinders
- Sauberkeit der Aufsatzfläche
- Leichtgängigkeit der Mikrometerschraube der Messspindel
- Sauberkeit der Spindelspitzen und der Glaszylinder

Schlauchwaagebolzen

- Sauberkeit der Aufsatzfläche
- Leichtgängigkeit der Rändelschrauben (Steinschrauben)
- Zustand der Halterungen (insbesondere Scharniere und Federbolzen)

Flüssigkeitsschlauch (Messschlauch)

- Sauberkeit der Messflüssigkeit (Wasser, entgast)
- Flüssigkeitsschlauch blasenfrei befüllen
(Hinweis: Schlauch eine Woche vor Messbeginn füllen und in vertikaler oder stark geneigter Lage ausgasen lassen, Blasen ausschütteln)

- Verlegung des Schlauches ohne Knicke, erschütterungsfrei und ohne Zugbeanspruchung

Luftschlauch

- auf Trockenheit prüfen (Kondenswassertropfen!)
- Verlegung des Schlauches ohne Knicke, erschütterungsfrei und ohne Zugbeanspruchung

Gesamte Messausrüstung

- Schlauchwaage, Schläuche, Nachfüllwasser über Nacht vor Ort temperieren lassen

4.3 Messverfahren

Das Messverfahren des hydrostatischen Nivellements beruht auf dem **Prinzip**, dass sich in kommunizierenden Röhren der ruhende Flüssigkeitsspiegel in gleicher Höhe einstellt. Voraussetzung ist, dass Temperatur und Luftdruck an den Messstellen gleich groß sind. Weiterhin muss die freie Beweglichkeit der Flüssigkeit im System der kommunizierenden Röhren gegeben sein.

Die **Nivellementlinien** sind so anzulegen, dass nacheinander zu beobachtende Punkte nicht mehr als 20 m entfernt sind und zu einer Schleife zusammengefasst werden können. Es ist zweckmäßig, nur Punkte in eine Linie aufzunehmen, die an einem Tag gemessen werden können – maximal jedoch 20 Punkte. Günstiger sind kleine Schleifen, weil sich damit die Kontrollfähigkeit verbessert.

Frei endende Linien sind zu vermeiden, ggfs. ist die Beobachtung in Springständen anzuordnen. Einzelne Höhenunterschiede, die nicht Bestandteil einer Schleife sind, sind doppelt zu beobachten. Werden frei endende Linien beobachtet (Basisneigung einer Staumauer), sind in der Messanweisung Objektspezifisch Vorkehrungen zur Vermeidung grober Fehler zu treffen.

Der **Anschlusspunkt** ist so zu vermarken, dass er sowohl über das geometrische Nivellement als auch über das hydrostatische Nivellement beobachtet werden kann.

Beobachtungsschema

Die Bestimmung eines Höhenunterschiedes besteht aus zwei Einzelmessungen. Dazu ist die Messtechnologie AB BA anzuwenden. Zwischen diesen Einzelmessungen werden die Messgeräte ausgetauscht. Damit ergibt sich folgendes Beobachtungsschema:

Höhenunterschied $\Delta h_{n/n+1}$ von Punkt n nach Punkt n+1

1. Messeinheit A auf Punkt n, Messeinheit B auf Punkt n+1
2. Messeinheit B auf Punkt n, Messeinheit A auf Punkt n+1

Höhenunterschied $\Delta h_{n+1/n+2}$ von Punkt n+1 nach Punkt n+2

1. Messeinheit A auf Punkt n+1, Messeinheit B auf Punkt n+2
2. Messeinheit B auf Punkt n+1, Messeinheit A auf Punkt n+2.

Als Einzelmessung gilt die dreimalige Bestimmung der Wasserspiegelhöhe in jeder Einheit. Dabei muss die Spannweite der gemessenen einzelnen Differenzen der Messwerte (z. B.: A minus B) innerhalb von $R \leq 0,03 \text{ mm}$ (Erfahrungswert, Achtung: Anwendung der „1/3-Regel“) liegen. Fällt die Spannweite größer aus, so sind zwei weitere Beobachtungen durchzuführen. Das Minimum und das Maximum werden Streichwerte.

Ersteinrichtung

1. Ersteinrichtung am Vortag (empfohlen): Flüssigkeitsschlauch anschließen, Aufsetzen der Einheiten, Ventile öffnen und Einheit mit Wasser auffüllen (ein ähnlicher Messhorizont zwischen den FM wird empfohlen), Luftschlauch anschließen, Horizontieren

Ersteinrichtung am Messtag: wie vorstehend beschrieben, außerdem Ausspiegelungszeit abwarten (für 25 m Schlauchlänge ca. 5 min), Einheiten abnehmen und erneut aufsetzen

Temperaturen an den Standorten der Einheiten vor Messbeginn ablesen und notieren

Hinweis: Während der Ausspiegelungszeiten und der Messvorgänge dürfen die Schläuche nicht berührt werden!

Messvorgang

2. Kontrolle vor Messbeginn (Sauberkeit Wasseroberfläche und Spitze der Messspindel)
3. Ventile auf Kommando gleichzeitig schließen, Spindel bis auf Höhe Wasserspiegel drehen und Messwert am Nonius ablesen, Messvorgang so oft wiederholen bis ein konstanter Einzelmesswert (besser als $\pm 0,01 \text{ mm}$) an der jeweiligen Messeinheit ermittelt werden kann, Einzelmesswerte notieren
4. Einheiten (bei geschlossenem Ventil) abnehmen und neu aufsetzen, Ventile öffnen, Ausspiegelungszeit $\geq 2 \text{ min}$ (abhängig von Schlauchlänge), Einzelmesswerte wie unter 3. ermitteln
5. bei einer Höhendifferenz kleiner gleich $0,02 \text{ mm}$ zwischen 1. und 2. Einzelbestimmung Messvorgang fortsetzen ohne Einheiten abzunehmen; bei einer Höhendifferenz der 1. und 2. Einzelbestimmung von $> 0,02 \text{ mm}$ Einheiten wieder abnehmen und neu aufsetzen; Einzelmesswerte wie unter 3. ermitteln
6. Messvorgang wiederholen bis 3 Höhendifferenzen innerhalb der Spannweite von $R \leq 0,03 \text{ mm}$ vorliegen; werden vor einem Messvorgang die Einheiten nicht abgenommen, beträgt die Ausspiegelungszeit 1 min

- 7 Ventile schließen, Einheiten tauschen, Messvorgang sinngemäß 1. bis 6. wiederholen
- 8 nach dem Messvorgang die Gerätekonstante ermitteln (Plausibilitätsprüfung)

$$k_{\Delta h} = \frac{\overline{\Delta h_2} - \overline{\Delta h_1}}{2} \text{ (über Folgemessung konstant innerhalb einer Spannweite)}$$

Berechnung des Höhenunterschiedes

$$\Delta h_{n/n+1} = \frac{\overline{\Delta h_1} + \overline{\Delta h_2}}{2} \text{ mit } \Delta h_1 = b_{n+1} - a_n \text{ und } \Delta h_2 = a_{n+1} - b_n$$

Temperaturunterschiede zwischen den beiden vertikalen Schlauchlängen verursachen folgende Verfälschungen des zu ermittelnden Höhenunterschiedes (vertikale Schlauchlänge 1,50 m beidseitig, reines luftfreies Wasser, 1013 hPa):

Umgebungstemperatur	Temperaturunterschied	Verfälschung
4 °C bis 6 °C	2,0 K	0,04 ⁵ mm
6 °C bis 8 °C	2,0 K	0,13 ⁵ mm
8 °C bis 10 °C	2,0 K	0,22 ⁵ mm
10 °C bis 12 °C	2,0 K	0,30 ⁰ mm
12 °C bis 14 °C	2,0 K	0,39 ⁰ mm

Eine weitere Verfälschung kommt durch unterschiedliche vertikale Schlauchlängen zustande. Deshalb muss zu jeder Messung individuell entschieden werden, ob eine Temperaturkorrektur angebracht werden muss oder nicht.

Die Messung ist mit angeschlossenem Luftschlauch als Drucksystem durchzuführen. Damit kann auf eine aufwändige Korrektur wegen Luftdruckunterschieden verzichtet werden. Ungeachtet dessen ist das Auftreten von Luftzug während der Messung im Feldformular zu vermerken.

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

- Bezeichnung der Linie/Schleife
- Nummer der Folgemessung
- Personen des Messtrupps
- Messtag (Datum); Beginn und Ende (Uhrzeit) zu jedem Höhenunterschied
- Stauhöhe/Pegel
- Angaben zur Temperierung (Beginn – Tag und Uhrzeit)
- Lufttemperatur am Beginn und Ende eines jeden Höhenunterschiedes
- spürbarer Luftzug (ja/nein)
- Nummer der Messeinheiten
- Besonderheiten während der Messung, die Einfluss haben könnten auf das Messergebnis (zum Beispiel Kompressorarbeiten in der Nähe, Grundablass geöffnet)

Die Feldformulare sind mit den von der TFW festgelegten Punktbezeichnungen (zum Beispiel HP HN 7) zu führen. Numerische Durchnummerierungen sind nicht zulässig.

Bei der Messungsausführung sind die vorgegebenen Netzbilder (Anordnung der Linien und Schleifen sowie der Beobachtungsreihenfolge) zu beachten und spezielle Feldformulare (mit Bezeichnung der Höhenpunkte) zu benutzen.

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

Bei **Nachbeobachtungen** sind nur diejenigen Strecken beziehungsweise Höhenunterschiede neu zu beobachten, auf denen der zulässige Wert für den Widerspruch zwischen Hin- und Rückmessung überschritten wurde. Nachbeobachtungen haben zeitnah zu erfolgen (Einhaltung des Prinzips der Gleichzeitigkeit).

Bei der Durchführung des Messverfahrens 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 des Messsystems 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 Messwege sowie die Vollständigkeit der Schutzkappen und Rändelschrauben (Steinschrauben) 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.

Regelungen über die Lagerung der Wasserschläuche außerhalb der Messkampagnen sind in der jeweiligen objektspezifischen Messanweisung enthalten.

Nachgedunkelte Schläuche sind durch die TFW zu ersetzen.

6 Aufbereitung und Auswertung der Messung

Die Aufbereitung und Auswertung muss zu widerspruchsfreien Messergebnissen führen und nachvollziehbar sein. Die Programme müssen die **Rechenschärfe** $M * 10^{-5}$ [m] realisieren, Rechenschärfe im Feldformular $M * 10^{-6}$ [m].

Die **Aufbereitung** der Höhenunterschiede, Strecken und Linien erfolgt in einem MS-Excel-Schema analog Messanweisung zur Vertikalverschiebungsmessung „Grundlagen

– Geometrisches Nivellement“. In diesem Schema erfolgt ebenfalls der Genauigkeitsnachweis der Strecken, Linien und Schleifen.

Die aktuelle Höhe des **Anschlusspunktes** ist durch ein geometrisches Nivellement entsprechend der Messanweisung zur Vertikalverschiebungsmessung „Grundlagen – Geometrisches Nivellement“ zeitnah zu bestimmen.

Für die **Auswertung** der Messung sind folgende drei Konfigurationen möglich:

Konfiguration 1: Messungsanordnung mit frei endender Linie

Mit der Bezeichnung „frei endende Linie“ ist sinngemäß das Vorliegen eines toten Zuges gemeint. Wird dieser im Hin- und Rückweg beobachtet, so erfolgt die Verteilung der Widersprüche durch Mittelbildung der Höhenunterschiede.

Konfiguration 2: Einzelne Schleife

Die Konfiguration „Einzelne Schleife“ ist dann gegeben, wenn kein Netz, d. h. mehrere Schleifen mit gemeinsamen Strecken oder Linien, vorliegt.

Die Verteilung der Widersprüche erfolgt streckenbezogen:

$$v = -w / n$$

v ... Verbesserung

w ... Schleifenwiderspruch

n ... Anzahl der Höhenunterschiede = Anzahl der Strecken)

Konfiguration 3: Vorliegen eines Netzes

Die Konfiguration „Netz“ ist dann gegeben, wenn mindestens zwei Schleifen mit mindestens einer gemeinsamen Strecke oder Linie vorliegen.

Die Ausgleichung ist sinngemäß der Messanweisung zur Vertikalverschiebungsmessung „Grundlagen – Geometrisches Nivellement“ durchzuführen. Hierzu ist es notwendig, eine dem Geometrischen Nivellement entsprechende Messdatei zu erarbeiten, deren Daten mit Hilfe des Programmsystems PANDA ausgeglichen werden können.

Weitergehende Auswertungen (z. B. Betrachtung der Entwicklung von Höhenunterschieden) werden in den Messanweisungen Objektspezifisch beschrieben.

6.1 Kontroll- und Genauigkeitsmaße

- **Zulässiger Schleifenwiderspruch** nach Pkt. 2.4

$$w_{zul} = 0,04 \times \sqrt{n} \text{ [mm]}$$

- **Standardabweichung aus Schleifenwidersprüchen**

$$s_{\Delta h} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum \frac{ww}{n}} \quad \text{mit } n_f = m \text{ Freiheitsgraden}$$

- w** = Schleifenwiderspruch
n = Anzahl der Strecken/Höhenunterschiede in der Schleife
m = Anzahl der Schleifen
 $\Sigma...$ = Summierung über m Schleifen

- **Standardabweichung aus den Verbesserungen/Ausgleichung**

$$s_{\Delta h} = \sqrt{\frac{\sum_1^i p v v}{n_f}}$$

- p** = 1 (Gewicht der Strecke)
v = Verbesserung der Strecke in der Ausgleichung
n_f = Freiheitsgrade
 Σ = Summierung über i = 1, 2 ... n Strecken

7. Dokumentation der Messepoche im Messbericht

Jede Messung einer Messepoche ist in einem Messbericht zu dokumentieren. Die Dokumentation der Messepoche des Hydrostatischen Nivellements ist in den Messbericht der Messepoche des Geometrischen Nivellements einzugliedern.

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 originalen Feldformulare mit den Sekundärdaten sind mit der Bezeichnung des Objekts, des Messverfahrens, der Messmittel sowie mit Datum, Uhrzeit, Namen und Unterschrift des Beobachters (Messtruppführer) der TFW als Scan im PDF-Datenformat zu übergeben.

Der Messbericht muss beinhalten:

- Erläuterungsbericht (Textteil) mit messtechnischer Bewertung
- die Zusammenstellung der Messwerte und Sekundärdaten inklusive der Aufbereitung des Datenmaterials bis zum Nachweis der Eignung für eine Ausgleichung
- Zusammenstellung und Genauigkeitsnachweise der Linien/Schleifen sowie sonstiger Kontrollen

- die skizzierte Darstellung der durchgeführten Nivellements – Netzskizze (Messwege, Bezugspunkt und Höhe – GN, Anschlusspunkt und Höhe – HN inkl. Gültigkeit für FM, Objektpunkte)
- 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 nach Abschnitt 3.3 inklusive Bewertung

Nachfolgende Übersicht enthält die zu liefernden Informationen:

- Textteil des Messberichtes
- Netzskizzen
- Feldformulare inkl. Sekundärdaten (PDF)
- MS-Excel-Datei „Aufbereitung“
- Tabellenblatt „Höhenentwicklung Anschlusspunkt“
- Tabellenblatt „Schleifenwidersprüche“
- MS-Excel-Datei „Ergebniswerte 1“
- MS-Excel-Datei „Gerätekonstante“

in Ausnahmefällen (siehe MA Objektspezifik):

- MS-Excel-Datei „Ergebniswerte 2“

zusätzlich für Konfiguration 3:

- Messdatei
- PANDA-.fbn-Datei (Feldbuch-Datei)
- PANDA-.onr-Datei (Linien-Datei)
- PANDA-.onk-Datei (Aufbereitungsdatei)
- PANDA-.o1a-Datei (Ausgleichungsdatei)
- PANDA-.kls-Datei (EW-Datei)
- MS-Excel-Datei „pkt.-bezogene Genauigkeit“

Die Datei „Punktbezogene Genauigkeit“ muss von Folgemessung (FM) zu FM fortgeführt 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 „Gerätekonstante“ hat die **k**-Werte jedes Höhenunterschiedes zu enthalten inkl. des zeitlichen Verlaufes (Grafik) während der Messkampagne.

Die Datei „Ergebniswerte 1“ enthält das komplette Höhenverzeichnis und die Differenzen zur Bezugsmessung.

Die Datei „Ergebniswerte 2“ enthält die Höhenunterschiede und die Differenzen zur Bezugsmessung.

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

