

## **Messanweisung zur Horizontalverschiebungsmessung „Grundlagen – Geometrisches Alignement“**

Zur Anwendung im Betrieb angewiesen:

Luisenthal, den 15. Mai 2025



Hans-Dieter Linz  
Betriebsleiter

## **Horizontalverschiebungsmessung**

### **Messanweisung (MA)**

#### **Grundlagen – Geometrisches Alignement (GAL)**

##### **(MA – GAL 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 Zeit festgeschrieben. Es bedarf einer ständigen Kontrolle ihrer Aktualität und gegebenenfalls der Korrektur, Ergänzung oder anderes mehr. Auf dieser Seite der Messanweisung sind alle vorgenommenen Änderungen ab dem 1. Januar 2012 zu dokumentieren.**

### Vorgenommene Änderungen:

14.06.2012 Re.-/Gr.-Korrekturen (Strutz/Mehl)

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>5</b>
1.1	Anwendungsbereich	5
1.2	Bautechnische Zielstellungen	5
1.3	Begriffe der Überwachungsvermessung	6
<b>2</b>	<b>Genauigkeitsforderungen, Begriffe und Symbole</b>	<b>8</b>
2.1	Das Grundprinzip	8
2.2	Qualitätsdefinition	9
2.3	Symbole und Begriffe für Genauigkeitsangaben	9
2.4	Genauigkeitsforderungen	10
<b>3</b>	<b>Messinstrumente, Messhilfsmittel, Messeinrichtung</b>	<b>11</b>
3.1	Messinstrumente und Messhilfsmittel	11
3.1.1	GAL und Beobachtung der Stabilität der Alinement-Ebene	11
3.1.2	Neigungsmessung	12
3.2	Messeinrichtungen	12
3.3	Prüfung der Messinstrumente und Messhilfsmittel	13
3.3.1	Alignierinstrument	13
3.3.2	Klinometer	13
3.3.3	Alignierzielzeichen	13
<b>4</b>	<b>Sicherung und Instandhaltung des Messsystems</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Messungsdurchführung</b>	<b>14</b>
5.1	Allgemeines	14
5.2	Messungsdurchführung: GAL (Ermittlung der Position der Objektpunkte)	14
5.3	Messungsdurchführung: Ermittlung der Neigung der Alinement-Setzkegel (Neigungsmessung)	21
5.4	Messungsdurchführung: Kontrolle der Stabilität der GAL-Ebene	23
<b>6</b>	<b>Aufbereitung und Auswertung der Messung</b>	<b>23</b>
6.1	Neigungsmessung	24
6.2	GAL-Messung	24
6.3	Nachweis der Stabilität der GAL-Ebene	25
6.4	Prüfung und Bewertung der erreichten Genauigkeit	25
6.4.1	Alinement-Setzkegel – Neigungsmessung	25
6.4.2	GAL-Messung (Nachweis Einzelmessstellen und Folgemessung)	25
6.4.3	Nachweis der Stabilität der GAL-Ebene	26
6.5	Messbericht	27
<b>7</b>	<b>Vergabe an Dritte</b>	<b>27</b>

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Feldformular GAL
Anlage 2	Feldformular Neigungsmessung
Anlage 3	Aufbereitungsschema Neigungsmessung inklusive Genauigkeit
Anlage 4	Aufbereitungsschema GAL-Folgemessung inklusive Genauigkeit

# **1 Allgemeines**

## **1.1 Anwendungsbereich**

Die Messanweisung gilt für die Ausführung von ingenieurgeodätischen Überwachungsvermessungen durch ein geometrisches Alignement im Probestau und in der Betriebszeit von Talsperren der Thüringer Fernwasserversorgung (TFW). Das Verfahren des geometrischen Alignements schließt die Neigungsmessung an den Messstellen (Alignement-Setzkegel), die Neigungsmessung der Festpunktpfeiler sowie die eindimensionale Lagekontrolle der Festpunktpfeiler mit ein. Die Messanweisung wird bei Bedarf vom Betreiber der Talsperre aktualisiert.

Die Messanweisung „Grundlagen – Geometrisches Alignement“ enthält allgemeingültige technologische Festlegungen. Spezielle technologische Festlegungen enthalten die Messanweisungen „Objektspezifik“.

Hinweis auf zugrunde liegende 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

## **1.2 Bautechnische Zielstellungen**

Das Hauptmessziel besteht in der Ermittlung der Horizontalverschiebungen rechtwinklig zur Alignement-Ebene von Objektpunkten vorzugsweise auf der Krone des Absperrbauwerkes.

Nachgeordnete Messziele sind:

- Ausprägung der „Biegelinie“ in Längsachse des Absperrbauwerkes
- Ermittlung von Horizontalverschiebungsunterschieden
- Ermittlung von Neigungen von Bereichen von Bauwerksteilen
- Redundanz zu anderen Messverfahren (Pendellot- und Schwimmlotmessung)
- Kontrolle bzw. Nachweis der Stabilität von Stützpunkten

Eine Voraussetzung ist das Vorhandensein eines stabilen Lagefestpunktfeldes, welches in der Regel aus zwei bauwerksnahen und zwei bauwerksfernen Festpunktfeldern (in der GAL-Ebene angeordnet) besteht. Zum Nachweis der Stabilität der GAL-Ebene sind diese vier Festpunktfelder zwingend notwendig.

Da ein nachgewiesen stabiles Lagefestpunktfeld die Voraussetzung für die GAL-Messung ist, handelt es sich bei geometrischen Alinement um ein absolutes Messverfahren.

Die Stabilität der Festpunkte werden in der Regel mit mehreren Messverfahren überwacht (zum Beispiel RSM, Neigungsmessung, Vier-Punkt-Nivellement am Pfeilerfundamentes).

### 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 (MA):** Bestandteil des Mess- und Kontrollprogramms; enthält alle Informationen, mit Hilfe derer 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 installierte Bestandteile eines Messsystems; hier Festpunktpfeiler, Alinement-Setzkegel, Zwangszentrierungen
- **Messinstrument:** Messmittel, welches in Verbindung mit der Messeinrichtung und den Messhilfsmitteln zur Ermittlung von Messwerten genutzt wird; hier Alignierinstrument, Setzkegelneigungsmesser (Klinometer)
- **Messhilfsmittel:** Messmittel, welches neben dem Messinstrument notwendig ist, um Messwerte zu ermitteln; hier feste und bewegliche Zielzeichen, Miren, Justierringe, Reinigungskegel und -hülsen

- **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
- **Messwert GAL:** kürzester horizontaler Abstand von der vertikalen Achse des Aligment-Setzkegels zur GAL-Ebene
- **Messwert Neigung:** Abweichung der Achse des Aligment-Setzkegels oder des GAL-Pfeilers zur Lotrechten
- **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 (z. B. Horizontalverschiebung rechtwinklig zur GAL-Ebene)

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

Es gelten folgende spezifische Definitionen, Bezeichnungen und Abkürzungen zum geometrischen Aligment:

- **GAL-spezifisches Lagefestpunktfeld:** Gesamtheit der im geodätischen Bezugssystem bestimmten Lagefestpunkte (hier: örtliches und talsperrenspezifisches Sondernetz)
- **Lagefestpunkt** (in der Regel) = **Stützpunkt:** Ausgangspunkt für die Objektvermessung der Lage (18709-1), siehe auch Lagefestpunktfeld (DWA-M 514) und Vermessungspunkt (18710-1); sollte nicht oder in nur geringem Umfang durch z. B. Deformationen des Messobjektes beeinflusst sein; seine konstruktive Ausbildung gewährleistet Langzeitstabilität
- **Sicherungspunkt:** entfernt liegender Lagefestpunkt, der dem Nachweis der Stabilität im GAL-spezifischen Lagefestpunktfeld dient
- **Beobachtungspfeiler:** geologisch sicher gegründeter Lagefestpunkt, in der Regel ausgeführt als thermisch gedämmter Doppelrohrpfeiler mit Zwangszentrierung
- **Kontrollpunkt:** dem Stützpunkt nahe liegender Lagefestpunkt, der die Eigenschaften aber nicht den Status eines Stützpunktes hat; er dient dem Nachweis der Stabilität eines Stützpunktes
- **Objektpunkt:** geodätische Messstelle, in der Regel ein Aligment-Setzkegel (ALSK), der durch Wirkgrößen beeinflusst ist oder sein könnte

- **Alinement-Ebene:** vertikale Ebene durch zwei Alinement-Bezugspunkte, von denen einer durch des Alignierinstrumentes abgebildet wird und der zweite durch die Mire
- **ALSK:** Objektpunkt des Alignements, Alinement-Setzkegel
- **AZZS:** bewegliches Alignierzielzeichen auf Standrohr
- **AZZD:** bewegliches Alignierzielzeichen auf Dreifuß mit Freiburger Kugel
- **Mire:** festes Alignierzielzeichen auf Dreifuß mit Freiburger Kugel
- **SKNM:** Setzkegelneigungsmesser, Klinometer
- **RL:** Reitlibelle = Koinzidenzlibelle
- **Messeinrichtung:** alle fest eingebauten Bestandteile des Messsystems bzw. des Verfahrens

## 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 begrenzte Anzahl der Einweisungen auf 3 beziehungsweise 5). Die Wahrung dieses Prinzips bedeutet im besonderen Maße beim geometrischen Alinement, dass die Randbedingungen bei der Ausführung der Messungen optimal sein müssen (zum Beispiel meteorologische Bedingungen); näheres dazu siehe Kapitel 5 – Messungsdurchführung.

Für die an den Talsperren der TFW bereitgestellte Messausrüstung des Geometrischen Alinement werden Zielungen nicht über 350 m empfohlen (TGL 21239 Teil 5 Abschnitt 3.1.1.1). Da vielfach Zielstrahllängen von mehr als 400 m vorliegen, sind die GAL-Messsysteme infolgedessen häufig überreizt. Dementsprechend besitzen die meteorologischen Bedingungen während der Messungen einen überdurchschnittlich hohen Einfluss auf das Messergebnis.

Zur Bewertung der Messgenauigkeit gilt:

Die vorgegebene Standardabweichung der Grundgesamtheit  $\sigma$  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, z.B. während eines Probestaues, die im Ergebnisbericht zu erläutern und nachzuweisen sind. In diesen Fällen darf die  $2,5\text{-}\sigma$ -Grenze nur ausnahmsweise in Anspruch genommen und keinesfalls überschritten werden.

## 2.2 Qualitätsdefinition

Das wesentlichste Qualitätsmerkmal für Überwachungsvermessungen ist die metrische Genauigkeit in Form der Standardabweichung. In der Messanweisung sind Zielgrößen (zum Beispiel  $s_z$ ,  $s_{z_{ul}}$ ) 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

$\sigma$	Standardabweichung einer Grundgesamtheit
$s$	Standardabweichung einer Stichprobe
$\sigma_z, s_z$	Standardabweichung <u>einer Zielung</u> Definition Zielung: eine Anzielung des AZZS <u>oder</u> eine Anzielung des AZZD <u>oder</u> eine Anzielung des festen Zielzeichens auf Dreifuß (Mire)
$\sigma_{E1}$	Standardabweichung <u>einer Einweisung</u> Definition Einweisung: eine Anzielung der Mire <u>und</u> eine Anzielung des AZZS oder eine Anzielung der Mire <u>und</u> eine Anzielung des AZZD (wobei für beide Punkte trotz unterschiedlicher Zielweiten die gleiche Zielgenauigkeit angenommen wird), $n = 1$ ( $n$ = Anzahl der Einweisungen)
$\sigma_{E2}$	Standardabweichung einer in zwei Lagen der Reitlibelle beobachteten Einweisung (Mittel der zwei Lagen), entspricht zwei Zielungen zur Mire und zwei Zielungen zum AZZS bzw. zwei Zielungen zum AZZD, entspricht dem Vergleichswert für den Genauigkeitsnachweis nach Kapitel 2.4, $n = 2$ ( $n$ = Anzahl der Einweisungen)
$\sigma_{E6} = \sigma_E$	Standardabweichung einer in zwei Lagen der Reitlibelle beobachteten Einweisung (Mittel der zwei Lagen) bestehend aus <u>sechs Einweisungen</u> , entspricht sechs Zielungen zur Mire und sechs Zielungen zum AZZS bzw. sechs Zielungen zum AZZD, $n = 6$ ( $n$ = Anzahl an Einweisungen)
$\alpha$	Irrtumswahrscheinlichkeit oder auch Überschreitungswahrscheinlichkeit (in der Regel $\alpha = 0,05$ )
$1 - \alpha$	Vertrauensniveau oder auch Konfidenzniveau (in der Regel 95%)

## 2.4 Genauigkeitsforderungen

$\sigma_z$  0,10 mgon

Hinweis:  $\sigma_z$  ist an dieser Stelle eine grundlegende Festlegung auf der Basis von Erfahrungswerten. Alle folgenden Genauigkeitsmaße sind von  $\sigma_z$  abgeleitet.

$\sigma_{E1}$  0,141 mgon mit  $\sigma_{E1} = \sigma_z * \sqrt{2}$

$\sigma_{E2}$  0,100 mgon mit  $\sigma_{E2} = \sigma_{E1} / \sqrt{2} \hat{=} \sigma_z$

$\sigma_{E6} = \sigma_E$  0,058 mgon mit  $\sigma_{E6} = \sigma_E = \sigma_{E1} / \sqrt{6}$

### streckenabhängige innere Genauigkeit $\sigma_{E'}$

Standardabweichung  $\sigma_{E'}$  [mm] der Beobachtung eines ALSK, bestehend aus sechs Einweisungen entspricht je sechs Zielungen zur Mire und sechs Zielungen zum AZZS (ohne weitere Fehlereinflüsse)

Zielweite <b>d</b> (vom Stand- zum Zielpunkt)	100	200	300	400	500 [m]
$\sigma_{E'} = \sigma_E * d / \rho$ ( $\rho = 63.662$ mgon)	<b>0,09</b>	<b>0,18</b>	<b>0,27</b>	<b>0,36</b>	<b>0,45 [mm]</b>

### Genauigkeitsabschätzung für die Verschiebungsgröße $\Delta x$ im Sinne der äußeren Genauigkeit

In Abhängigkeit von der Zielweite **d** zwischen dem Standpunkt (Alignierinstrument) und dem Zielpunkt (Mire, ALSK) kann folgende Standardabweichung eines gemessenen Abstandes  $\sigma_x$  erwartet werden, wenn neben der Standardabweichung der Beobachtung eines ALSK  $\sigma_{E'}$  als weitere Fehlereinflüsse berücksichtigt werden:

- Bewegung der Alignement-Festpunkte  $\sigma_F = 0,5$  mm,
- kurzzeitige Kronenbewegung  $\sigma_T = 0,2$  mm,
- Zwangszentrierung  $\sigma_z = 0,17$  mm (Instrument, Mire, AZZS je 0,1 mm).

<b>d [m]</b>	100	200	300	400	500
$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{E'}^2 + \sigma_F^2 + \sigma_T^2 + \sigma_z^2}$ [mm]	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>
$U(\Delta x) = 1,96 * \sqrt{2} * \sigma_x$ [mm]	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>

Vernachlässigt werden kann die Genauigkeit der Neigungsmessung auf den Setzkegeln. Schwer abschätzbar und daher nicht berücksichtigt wurde der Einfluss der Refraktion. Die Messunsicherheit **U** der Verschiebungsgröße  $\Delta x$  als Differenz zwischen Folge- und Bezugsmessung gilt für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$ .

## Spannweitentest für die Sofortkontrolle der Zielungen während der Messung

Der Spannweitentest für die Sofortkontrolle der Zielungen während der GAL-Messung wird im Kapitel 5 Messungsdurchführung behandelt.

### **3 Messinstrumente, Messhilfsmittel, Messeinrichtung**

#### **3.1 Messinstrumente und Messhilfsmittel**

Die Messinstrumente und die Messhilfsmittel sind Eigentum der TFW. Unter Beachtung des Prinzips der Gleichartigkeit der Messungen sollen über einen sehr langen Zeitraum (möglichst länger als 50 Jahre) Messergebnisse gewonnen werden. Dementsprechend schonend ist mit dem gesamten Equipment umzugehen.

**Hinweis: Wegen der Bewegung der Krone von Staumauern ist es unmöglich, bei Beschädigung der GAL-Messausrüstung die Stetigkeit der bis dahin gewonnenen Messreihen im Rahmen einer Übertragsmessung zu bewahren!**

Ungeachtet dessen ist über Veränderungen, Mängel oder gar Schäden an der Messausrüstung der zuständige Mitarbeiter für BWÜ der TFW ohne Verzug zu informieren.

Zur Vermeidung gerätebedingter systematischer Abweichungen (z.B. Gang der Fokussierlinse des Aligniergerätes, Nullpunktfehler des AZZS und AZZD) ist stets das gleiche Instrumentarium zur Messung einzusetzen.

**Hinweis:** Bei einem Instrumentenwechsel können die ursprünglichen Messreihen ohne Verlust ihrer Stetigkeit nicht fortgesetzt werden. Daher werden bei einem Gerätewechsel Übergangsmessungen notwendig (Empfehlung: mindestens drei Folgemessungen), das heißt es muss zum gleichen Messtermin mit beiden Geräten jeweils eine vollständige Folgemessung ausgeführt werden. Die Gestaltung des Übertrages ist in einem separaten Bericht zu dokumentieren.

##### **3.1.1 Geometrisches Alignement und Beobachtung der Stabilität der Alignement-Ebene**

Eingesetzt wird die Alignierausrüstung der FPM Holding GmbH (früher Freiburger Präzisionsmechanik), bestehend aus:

- Alignierinstrument auf Dreifuß mit Freiburger Kugel
- bewegliches Alignierzielzeichen auf Standrohr (AZZS)
- festes Alignierzielzeichen auf Dreifuß mit Freiburger Kugel (Mire)
- bewegliches Alignierzielzeichen auf Dreifuß mit Freiburger Kugel (AZZD)

### 3.1.2 Neigungsmessung

Mit Hilfe der Bestimmung der Neigung der ALSK werden die AZZS-Messwerte auf die Höhe der ALSK (Setzkegelneigungsmessung) reduziert.

- Klinometer auf Setzkegelhülse inklusive Justiering
- Setzkegel auf Dreifuß (betrifft nur die Beobachtungspfeiler)

### 3.2 Messeinrichtungen

Die Messeinrichtungen des geometrischen Alignements besteht aus

- den Festpunktpfeilern (bilden die Aligment-Ebene),
- (eventuell) Achssicherungspunkten (= -pfeiler) und
- den Objektpunkten.

Vermarkung und Ausstattung:

Die Festpunktpfeiler sind ausgeführt als thermische gedämmte Doppelrohrpfeiler mit Freiburger Zwangszentrierung für Alignierinstrument bzw. Zielzeichen auf Dreifuß (kombinierte Zwangszentrierung). In jedem Fall ist zu gewährleisten, dass ein Kraftschluss zwischen dem Außenrohr und Pfeilerkopf des Innenpfeilers unterbunden ist (Unterbindung der Kraftübertragung von Außenrohr auf den Innenpfeiler).

In Ausnahmefällen (zum Beispiel bei extremer Geländetopografie) kommen auch Achssicherungspunkte zum Nachweis der Stabilität der GAL-Ebene zur Anwendung. Diese nehmen zwar die Funktion eines Festpunktpfeilers wahr, besitzen aber nicht deren Status und Konstruktivität.

Als Objektpunkte kommen Aligniersetzkegel nach dem Fabrikatsmuster Freiburger Präzisionsmechanik zur Anwendung (Hinweis: Bei dem Aligniersetzkegel der Firma FPM Holding GmbH handelt es sich um einen gehärteten und geschliffenen, rostfreien Edelstahl). Der Festsitz des eigentlichen Kegels in seiner Passung ist durch die Kontrolle der Ringverschraubung zu gewährleisten.

Es sollte der Übergang gefunden werden, das Klinometer mit Hilfe eines zusätzlichen Justieringes zu orientieren („alte“ ungünstige Variante: Kornschlag oder Strichmarkierung auf der Ringverschraubung).

Die Sichten sind dauerhaft in einem mindestens 10 m breiten Korridor, also zur Sicht  $\pm 5$  m, freizuhalten. Geländeregulierungsarbeiten sind so zu planen, dass der Zielstrahl mindestens 1,4 m über Gelände verläuft. In der Sichtsneise und am Rand dürfen nur solche Gewächse gepflanzt werden, die die Einhaltung dieser Bedingungen langfristig mit einem Minimum an Pflegearbeiten sicherstellen. Im Nahbereich der Festpunkte ist für eine Fläche mit einem Radius von 10 m nur bodendeckender Bewuchs zulässig.

### **3.3 Prüfung der Messinstrumente und Messhilfsmittel**

#### **3.3.1 Alignierinstrument**

Es wird darauf hingewiesen, dass bei Durchführung von Wartungs- und Justierarbeiten in der Fachwerkstatt am Alignierinstrument Veränderungen in den Grundeinstellungen eintreten können, die die Stetigkeit der Messreihen gefährden. Es ist daher sorgfältig abzuwägen, ob überhaupt Wartungs- und Justierarbeiten vorgenommen werden sollten und wenn dann in welchem Umfang. Vor und nach eventuellen unumgänglichen Wartungs- und Justierarbeiten sollten Kontrollmessungen durchgeführt werden, die gegebenenfalls als Übertragungsmessung genutzt werden können.

Bei der Prüfung und Justierung der Reitlibelle wird wie üblich bei einer Röhrenlibelle verfahren, hier: durch Umsetzen auf der Kippachse (näheres siehe Bedienungsanleitung Alignierinstrument).

#### **3.3.2 Klinometer**

Es hat sich bewährt, einen fest installierten Prüfkegel zur Kontrolle der Klinometer zu verwenden. Die Prüfung hat in den vier Messstellungen zu erfolgen. Die Ergebnisse sind dauerhaft und nachvollziehbar zu dokumentieren.

An dieser Stelle wird nicht weiter auf Prüfung und Kontrollen von Klinometern eingegangen. Es wird auf die entsprechenden Bedienungsanleitungen verwiesen.

#### **3.3.3 Alignierzielzeichen**

Die Dosenlibellen sind zu prüfen (180°-Drehung) und gegebenenfalls zu justieren.

### **4 Sicherung und Instandhaltung des Messsystems**

Für die Sicherung und Instandhaltung des Messsystems sowie die Erhaltung der ständigen Messbereitschaft ist die TFW (Auftraggeber) als Betreiber der Talsperre verantwortlich. Das Messsystem ist regelmäßig und in jedem Fall vor dem Beginn einer Messepoche zu kontrollieren und gegen äußere oder fremde Einwirkungen zu schützen. Dabei ist insbesondere auf das Freihalten der Sichten und die Vollständigkeit der Abdeckungen sowohl für die Pfeiler als auch für die Objektpunkte zu achten. Der Korrosionsschutz ist zu gewährleisten.

Die Zwangszentrierungen werden ebenfalls durch den Auftraggeber (AG) gewartet und gepflegt. Der Auftragnehmer (AN) hat im Messbericht auf notwendige Wartungs- und Pflegemaßnahmen hinzuweisen.

Vor Beginn der Messung bzw. vor dem Ein- oder Aufsetzen der Messinstrumente und Messhilfsmittel sind die Messeinrichtungen zu säubern. Das betrifft insbesondere die Gegenpassungen (Hülse) zur Freiburger Kugel in den Zwangszentrierungen sowie die Aligniersetzkegel.

Die Alignierausrüstung ist in trockenen, temperierten Räumen zu lagern.

Die Alignierausrüstung wird gleichfalls durch den AG gewartet und gepflegt. Weitere Hinweise dazu liefert der AN im Messbericht zur Folgemessung.

Vom Messungsausführenden ist ein sorgsamer Umgang mit den Messeinrichtungen und Messmitteln sicherzustellen, gegebenenfalls ist eine sofortige Mitteilung über Mängel an den Betreiber zu geben.

## 5 Messungsdurchführung

### 5.1 Allgemeines

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 Abweichungen eliminiert oder minimiert werden. Atmosphärische Einflüsse auf die Messungen und die Ergebnisse sind durch eine entsprechende Planung der Beobachtungen und deren Aufbereitung geringzuhalten.

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. An allen Anlagen der TFW, an den das GAL gemessen wird, ist gewährleistet, dass die Messungen innerhalb eines Tages durchgeführt werden kann. Die Messungen zur Kontrolle der Stabilität der GAL-Ebene sind davon ausgenommen.

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. 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 Übertragungsmessung vom bisherigen und neuen Beobachter gemeinsam ausgeführt wird.

### 5.2 Messungsdurchführung: GAL (Ermittlung der Position der Objektpunkte)

Die Alignement-Festpunkte und Alignement-Punkte sind in einer Übersichtsskizze darzustellen (siehe MA „Objektspezifik“).

Die Messungen sind so zu planen und durchzuführen, dass die meteorologischen Einflüsse auf die Messergebnisse minimiert werden. Messungen bei widrigen äußeren Bedingungen, die zu systematischen Messabweichungen führen oder die Messunsicherheit vergrößern können, sind nur in Ausnahmefällen zulässig (zum Beispiel Terminmessungen während eines Probestaues). Nach den bisherigen Erfahrungen kann das geometrische Alignement nur bei mäßigen bis starkem Wind und wolkg bis bedecktem

Himmel durchgeführt werden. Sollte das Zielzeichen zum Beispiel bei bedecktem Himmel zu dunkel erscheinen, so ist das Zielzeichen zu hinterleuchten. Bei Windstille oder sonnig bis heiterem Wetter ist eine Messung nicht zulässig. Das trifft ebenfalls zu, wenn infolge vorangegangener, sehr sonniger Tage der Kronenbelag des Absperrbauwerkes aufgeheizt ist und zur Wärmeabstrahlung neigt. Gleiches gilt für die Messungsdurchführung nach Regenschauern bei aufgeheizter Krone (Verdampfungsrefraktion).

Das Alignierinstrument reagiert sensibel auf Temperaturänderungen. Um irreversible Veränderungen im Instrument zu vermeiden, sind Messungen bei  $< 0^{\circ}\text{C}$  unzulässig.

Das Alignierinstrument und das bewegliche Zielzeichen auf Standrohr (AZZS) sind vor der Messung über Nacht auf die Außentemperatur zu temperieren. Während der Messung ist das Alignierinstrument vor kurzfristiger Sonneneinstrahlung zu schützen.

Zur Vermeidung von systematischen Abweichungen gehört, dass bei allen Folgemessungen dieselben (deshalb bezeichneten) Dreifüße mit derselben Orientierung (festgelegt für den nicht beweglichen Fuß) auf den zugeordneten Pfeilern zum Einsatz kommen. Entsprechende Festlegung sind in der MA „Objektspezifik“ zu treffen (Einhaltung des Prinzips der Gleichartigkeit der Messungen). Gleiches trifft im übertragenden Sinne auf das AZZS zu.

Oben getätigte Angaben sind in gleicher Weise auf den Feldformularen zu vermerken.

Zur Dokumentation aller Messwerte sind vorgegebene Feldformulare zu verwenden (siehe Anlage 1). In diesen Formularen sind weiterhin zu vermerken:

- Feldformular – Bestimmung der Position der Alignierkegel mit dem AZZS (FF GAL), siehe Anlage 1
  - Jahr, Nummer des Blattes im Jahr, Nummer der Folgemessung
  - Datum, Uhrzeit von ... bis ..., Stauhöhe in mHN
  - Bestätigung der benutzten Messausrüstung
  - Wetter (Bewölkung, Wind, Refraktion) und Sichtqualität allgemein
  - Beobachter am Instrument, Beobachter am AZZS
  - Angaben zur Temperierung (Lagerungstemperatur, Uhrzeit des Beginns der Temperierung und zugehörige Lufttemperatur, Uhrzeit des Beginns der Messung, Dauer der Temperierung)
  - Refraktionsbedingungen an jeder Messstelle (geringe Refraktion = Flimmern, intensive Refraktion = deutliche Drift bzw. Erhöhung der Spannweite der am AZZD oder des AZZS gewonnen Messwerte)
  - am AZZS abgelesene Messwerte
  - Angaben zur Stabilität des AZZS auf dem ALSK)
  - Lufttemperatur im Schatten am Instrumentenpfeiler an jeder 4. Messstelle bzw. nach jeder Stunde Messungsdauer
  - Spannweite **R(3)** den jeweiligen Zielungen WS  $\rightarrow$  LS beziehungsweise LS  $\rightarrow$  WS

Die Messungen zur Festpunktkontrolle sind gleichsam zu dokumentieren. Das Feldformular ist mit dem Messbericht zu übergeben.

Sollte während der Beobachtung einer Messstelle die geforderten Kontroll- und Genauigkeitsmaße nicht eingehalten werden (zum Beispiel Verschlechterung der Messbedingungen, gerätebedingte Veränderung der Stehachse und ähnliches mehr), so sind Nachmessungen durchzuführen oder die Messstelle komplett neu zu beobachten.

Sollte während der Messungsdurchführung absehbar sein, dass die geforderten Kontroll- und Genauigkeitsmaße einer Folgemessung nicht einzuhalten sind (zum Beispiel Verschlechterung der Messbedingungen), ist die Messung abzubrechen und zu wiederholen.

### Ermittlung der Position der Objektpunkte (Alinement-Setzkegel) des Geometrischen Alinement

Zur Ermittlung der Position der Objektpunkte sind grundsätzlich drei Varianten der generellen Messungsdurchführung möglich:

- Vorzugsvariante: Beobachtung aller ALSK von beiden Alinement-Festpunktpfeilern aus, das heißt, vom linken und vom rechten Hang aus
  - je nach Zielweite für acht bis zu zehn Objektpunkten möglich (Zeitfaktor - Beobachtung an einem Tag)
- Kompromissvariante 1: Beobachtung einer jeweils eingeschränkten Anzahl von ALSK von beiden Alinement-Festpunktpfeilern aus, das heißt ein Teil der ALSK wird vom linken Hang und der restliche Teil wird vom rechten Hang aus beobachtet
  - Wenn möglich, sollten ein bis drei ALSK vom linken und vom rechten Hang aus beobachtet werden.
  - Die Variante kommt bei eingeschränkten topografischen Gegebenheiten zur Anwendung.
- Kompromissvariante 2: Beobachtung aller ALSK von nur einem Alinement-Festpunktpfeiler aus
  - Die Variante kommt bei zehn oder mehr Objektpunkten zur Anwendung (Zeitfaktor - Beobachtung an einem Tag).
  - Die Beobachtung erfolgt entweder vom linken oder vom rechten Hang aus (Topographie).

Vor Beginn der Messung bzw. vor dem Ein- oder Aufsetzen der Messinstrumente und Messhilfsmittel sind die Messeinrichtungen zu säubern. Das betrifft insbesondere die Gegenpassungen (Hülse) zur Freiburger Kugel in den Zwangszentrierungen sowie die Alignierkegel.

- Einsetzen und Ausrichten des festen Zielzeichens (Mire) auf Dreifuß
  - Zentralverriegelung der Zwangszentrierung öffnen – dazu schwarzen Zahnkranz drehen
  - Mire mit Dreifuß in die Zwangszentrierung des Pfeilers einsetzen, Zentralverriegelung schließen und dazu schwarzen Zahnkranz drehen

Hinweis: Der feststehende Fuß am Dreifuß muss in dem eingekerbten Aufsatz der Zwangszentrierung sitzen.)

- Kontrolle Festsitz der Mire mit Hilfe der Dosenlibelle prüfen

- mittels Fußschrauben der Mire die Dosenlibelle einspielen
- drehbar gelagertes Zielzeichen mittels Richtkollimator auf den Instrumentenpfeiler ausrichten, so dass die Zieltafel rechtwinklig zur Alignement-Ebene orientiert ist, Zieltafel mit Hilfe der Feststellschraube arretieren

Hinweis: bei dunkler Sicht Leuchtmittel am Zielzeichen befestigen und das Zentrum der Zieltafel hinterleuchten (entscheidet der Beobachter am Instrument)

- Aufsetzen des Alignierzielzeichens auf Standrohr (AZZS) auf die ALSK
  - vor Beginn der Messung eines jeden ALSK ist dieser mit einem trockenen und sauberen Lappen zu reinigen
  - vor Aufsetzen des Standrohres Reinigung der Fußpassung (Kegelhülse)

Hinweis 1: Falls das Drehen des Standrohres nur mit erheblichen Kraftaufwand und ruckartig erfolgt, ist es hilfreich vor dem Aufsetzen mehrmals in die Fußpassung hauchen. Es bildet sich in der Kegelhülse eine Kondensschicht, die das Drehen des Standrohres auf dem ALSK erleichtert.

Hinweis 2: bei dunkler Sicht Leuchtmittel am Zielzeichen befestigen und das Zentrum der Zieltafel hinterleuchten (muss der Beobachter am Instrument entsprechend der Helligkeit der Umgebung an den Zielzeichen entscheiden)

- Standrohr aufsetzen, mit mehr als einer Umdrehung im Uhrzeigersinn das AZZS in Höhe der Fußpassung aufdrehen, danach unter Verwendung der beiden Hebel am Standrohr bei zentrischem Krafteintrag und mit Hilfe des Richtkollimators das bewegliche Zielzeichen so einrichten, dass die Zieltafel rechtwinklig zur Alignement-Ebene orientiert ist

Hinweis 3: AZZS braucht für alle Zielungen einer Einweisungsrichtung (zum Beispiel LS nach WS) nur einmal positioniert werden.

Hinweis 4: Nach der Messung einer Einweisungsrichtung ist das AZZS neu aufzusetzen und einzurichten.

Hinweis 5: Die Position des AZZS darf weder beim Einrichten noch beim Einweisen durch einseitige Krafteinwirkung verändert werden (Taumelfehler))

- Die Vorgehensweise wiederholt sich an jedem ALSK.

- Aufstellen des Alignierinstrumentes und Justierung
  - Zentralverriegelung der Zwangszentrierung öffnen – dazu schwarzen Zahnkranz drehen
  - vor dem Herausnehmen aus der Transportkiste das Instrument mit der Seiten- und Höhenklemme leicht verriegeln

Hinweis 1: Die roten Markierungen am Dreifuss und am drehbaren Teil des Instrumentes müssen dabei übereinanderstehen - Lagerungszustand.

- Alignierinstrument in die Zwangszentrierung des Pfeilers einsetzen, entriegeln

Hinweis 2: Es ist zu beachten, dass der feststehende Fuß des Dreifußes auf dem Fußpunkt in Talrichtung (eingekerbter Fußpunkt) aufsitzt. Die beiden Markierungen am Alignierinstrument müssen zum Gegenhang weisen. Diese Festlegung gilt nur, wenn die Zwangszentrierungen fachgerecht eingebaut worden sind. Maßgebend ist hierfür das AZZD.

- Zentralverriegelung schließen - dazu schwarzen Zahnkranz drehen
- Kontrolle Festsitz des Alignierinstrumentes mit Hilfe der Dosenlibelle
- Seiten- und Höhenklemmen entriegeln und Fernrohr in Messlage bringen (grob)
- Grobhorizontierung durch Einspielen der Dosenlibelle
- Reitlibelle auf die Kippachse aufsetzen

Hinweis 3: Reitlibelle so aufsetzen, dass sie links und rechts am Instrument nicht anliegt

Hinweis 4: die linken und rechten Fußpunkte der Reitlibelle leicht in Richtung Gegenhang bis Anschlag ankippen

- Strichkreuz (Fadenkreuz) mit Hilfe des Rändelknopfes am Okulars scharf stellen und einen hellen Hintergrund anvisieren (Abstimmung auf den Augenwert des Beobachters, kann sich im Laufe einer Messung ändern)
- Messungsdurchführung - Einweisung von der Luftseite zur Wasserseite (Reitlibelle nicht sichtbar)

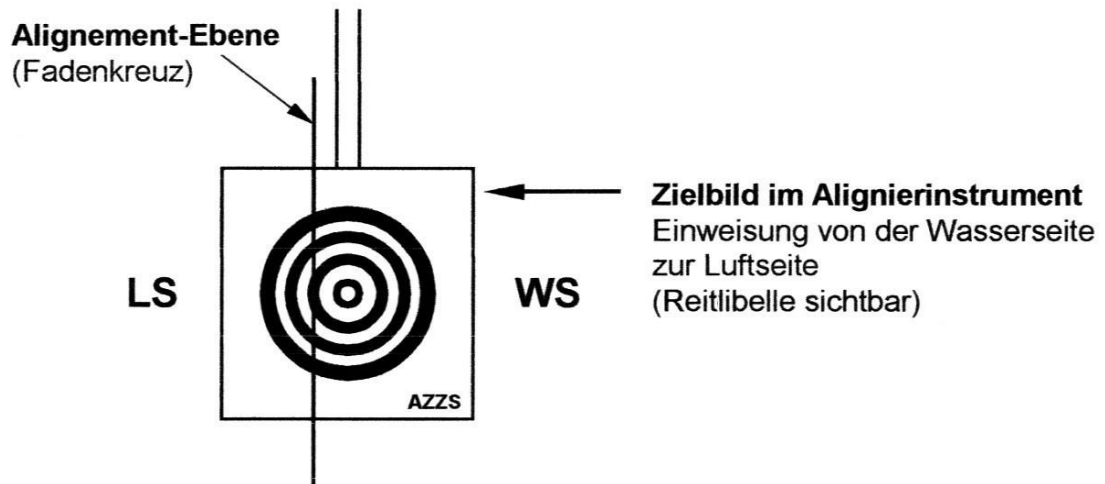
Hinweis 1: Im Alignierinstrument erscheint das Zielbild spiegelverkehrt.

Hinweis 2: Reitlibelle nicht sichtbar bei Einweisung des AZZS von der Luftseite zur Wasserseite (bei jeder FM beibehalten).

Hinweis 3: Reitlibelle sichtbar bei Einweisung des AZZS von der Wasserseite zur Luftseite (bei jeder FM beibehalten).

- Horizontieren des Instrumentes (Reitlibelle einspielen) durch Drehen der zwei Fußschrauben (Reitlibelle ist nicht sichtbar!)
- grobes Anvisieren des festen Zielzeichens auf Dreifuß (Mire) auf dem (gegenüberliegenden) Pfeiler und mit dem Bedienknopf „Bildfokussierung“ das Zielzeichen scharf einstellen
- Fernrohr zur Wasserseite herausdrehen
- Fernrohr mit der Seiten- und Höhenklemme fest arretieren; mit dem Seiten- und Höhenfeintrieb den vertikalen Faden des Strichkreuzes nahe dem Strichkreuzmittelpunkt auf die Mitte des Zielzeichens einrichten (Feineinstellung)
- Fernrohr auf das AZZS ausrichten und mit Bedienknopf „Bildfokussierung“ das Zielbild des Zielzeichens auf Standrohr scharf einstellen
- das AZZS solange zur Wasserseite einweisen, bis der vertikale Faden des Strichkreuzes nahe dem Strichkreuzmittelpunkt mit der Mitte des Zielzeichens übereinstimmt, Messwert ablesen, Zielzeichen aus der GAL-Ebene in Richtung Luftseite herausdrehen
- Vorgang mit zwei weiteren Einweisungen wiederholen, Einspielung der Reitlibelle und Einhaltung **R(3)** prüfen; entweder zwei weitere Einweisungen (bei **R(3) > R<sub>zul</sub>**) oder die Einweisungsrichtung wechseln (Umbauen)

Prinzipskizze der Einweisung von der Luftseite zur Wasserseite  
(Zielbild spiegelverkehrt):



in Wirklichkeit:

**Wasserseite**

**Luftseite**

- Messungsdurchführung - Einweisung von der Wasserseite zur Luftseite (Reitlibelle sichtbar)

Hinweis 1: Reitlibelle sichtbar bei Einweisung des AZZS von der Wasserseite zur Luftseite

- Umsetzen der Reitlibelle und Horizontieren des Instrumentes (Reitlibelle einspielen) durch Drehen der zwei Fußschrauben (Reitlibelle ist jetzt sichtbar!)
- grobes Anvisieren des AZZD auf dem gegenüberliegenden Pfeiler und mit dem Bedienknopf „Bildfokussierung“ das Zielzeichen scharf einstellen
- Fernrohr zur Luftseite herausdrehen
- vertikalen Faden des Strichkreuzes im Fernrohr (Zustand des Instrumentes: horizontal arretiert) mit dem Seiten- und Höhenfeintrieb auf die Mitte des Zielzeichens ausrichten (Feineinstellung)
- Fernrohr auf das AZZS ausrichten und mit Bedienknopf Bildfokussierung das Zielzeichen auf Standrohr scharf einstellen
- das AZZS solange zur Luftseite einweisen, bis der vertikale Faden des Strichkreuzes mit der Mitte des Zielzeichens übereinstimmt; Messwert ablesen, Zielzeichen aus der GAL-Ebene in Richtung Wasserseite herausdrehen
- Vorgang mit zwei weiteren Einweisungen wiederholen, Einhaltung von **R(3)** kontrollieren, Einspielung der Reitlibelle und **R(6)**-Kriterium prüfen; entweder zwei weitere Einweisungen (bei **R(3) > R<sub>zul</sub>**) oder Übergang zur Messung des nächsten Objektpunktes (Einweisungsrichtung und Reitlibelle bleiben unverändert)

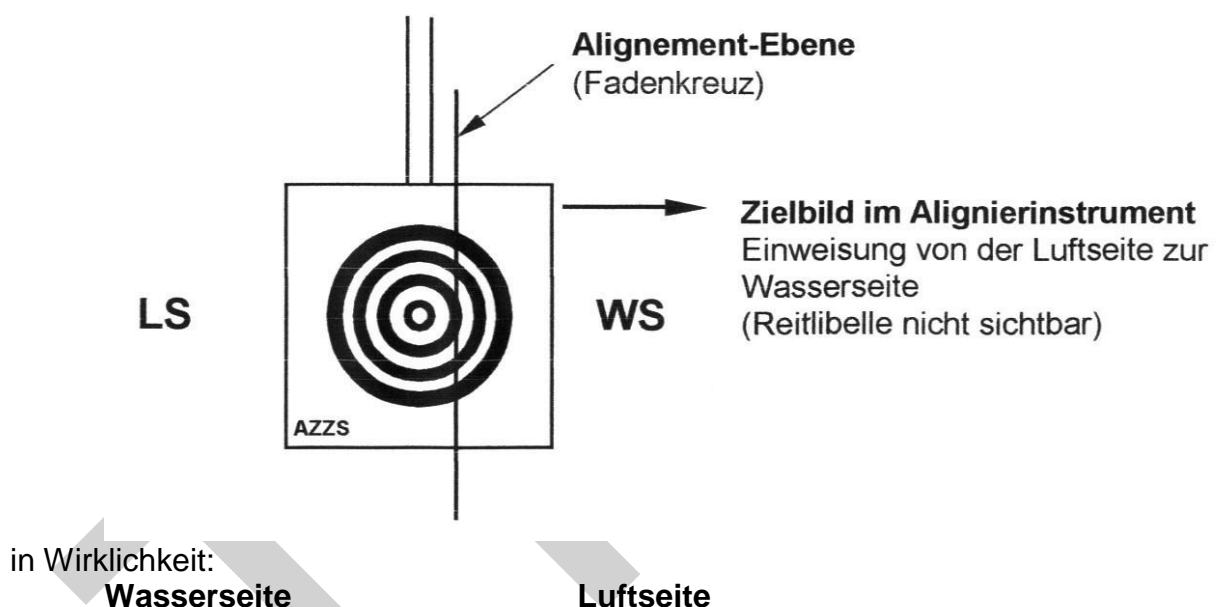
**Abweichungen größer 1 mm zwischen den Einweisungen zur Wasserseite und zur Luftseite können auf eine Veränderung der Horizontierung der Kippachse während des Messvorganges hinweisen! In diesem Fall müssen die Einweisun-**

gen wiederholt werden, da die Horizontierung der Kippachse während der drei beziehungsweise fünf Einweisungen von der Luftseite zur Wasserseite beziehungsweise von der Wasserseite zur Luftseite verändert bleiben muss!

Werden Veränderungen der Horizontierung der Kippachse festgestellt – Messwertdrift von drei Zielungen einer Einweisungsrichtung mit mehr als 1,5 mm bei relativ niedrigen Temperaturen (Kontrolle der Differenzen zwischen den R(3) bzw. Kontrolle der Reitlibelle), so kann man folgendes versuchen:

- Mit Hilfe des Seitenfeintriebs den Rotationskörper des Instrumentes leicht aber spürbar arretieren.
- Rotationskörper gegen den Widerstand der Arretierung in beiden Richtungen drehen.
- Messvorgang des zuletzt beobachteten ALSK unter ständiger Kontrolle der Reitlibelle fortsetzen bzw. wiederholen.

Prinzipiskizze der Einweisung von der Wasserseite zur Luftseite  
(Zielbild spiegelverkehrt):



Wird bei der Einweisung des AZZS zu weit gedreht, das heißt, dass das Zielzeichen zum Beispiel von der Luftseite über die Alignementebene hinaus zu weit in Richtung Wasserseite bewegt wurde, ist der Einweisungsvorgang zu wiederholen. Es ist nicht zulässig, in diesen Fällen das Zielzeichen abweichend von der vorgegebenen Richtung einzuweisen.

#### Ermittlung der zulässigen Spannweite aus drei Einweisungen des AZZS

Die Spannweite **R** zwischen niedrigstem und höchstem Messwert der drei Einweisungen des AZZS darf in Abhängigkeit von der Zielweite **d** (hier Zielweite bis zum AZZS) den zulässigen Wert **R<sub>zul</sub>** folgender Tabelle nicht überschreiten.

$$\sigma_{E3} = d * \sigma_{E1} / (\sqrt{3} * \rho)$$

$$R(3)_{zul} = k * \sigma_{E3} = 3,15 * \sigma_{E3}$$

<b>d</b> bis AZZS [m]	bis 100	100 bis 200	200 bis 300	300 bis 400	400 bis 500
$\sigma_{E3}$ [mgon]	0,082				
$\sigma_{E3}$ [mm]	0,13	0,26	0,38	0,51	0,64
<b>R(3)<sub>zul</sub></b> [mm]	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>

Maximal 70% der Werte sollten nur 50% der vorgenannten Werte **R<sub>zul</sub>** erreichen.

Zwei zusätzliche Einweisungen werden erforderlich, wenn die Spannweite **R(3)** überschritten wurde. Von den dann fünf vorliegenden Wertepaaren werden das Maximum und Minimum zu Streichwerten (Kriterium:  $\{[WS_i \text{ nach } LS_i] + [LS_i \text{ nach } WS_i]\}/2 = \text{Mittelwert}$ ).

#### Spannweite aus den drei Mittelwerten der Einweisungen des AZZS

Es gilt, dass die Spannweite **R** zwischen niedrigstem und höchstem Mittelwert  $(L_1+W_1)/2$ ,  $L_2+W_2)/2$  und  $(L_3+W_3)/2$  in Abhängigkeit von der Länge **d** der Strecke zum ALSK den zulässigen Wert **R(Mittel)<sub>zul</sub>** nach folgender Tabelle nicht überschreiten darf.

$$\sigma_{E6} = d * \sigma_{E1}/(\sqrt{6} * \rho)$$

$$\mathbf{R(Mittel)_{zul} = R(6)_{zul} = k * \sigma_{E6} = 3,93 * \sigma_{E6}}$$

<b>d</b> bis AZZS [m]	bis 100	100 bis 200	200 bis 300	300 bis 400	400 bis 500
$\sigma_{3LW} = \sigma_{E6}$ [mgon]	0,058				
$\sigma_{E6}$ [mm]	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45
<b>R(Mittel)<sub>zul</sub></b> [mm]	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>

Maximal 70% der Werte sollten nur 50% der vorgenannten Werte **R(Mittel)<sub>zul</sub>** erreichen.

### **5.3 Messungsdurchführung: Ermittlung der Neigung der Aligment-Setzkegel (Neigungsmessung)**

Die Neigungsmessung auf den ALSK dient zur Reduktion der auf Höhe der Ableseskala des AZZS gemessenen Alignierabstände auf die Kegelspitzen.

Die Messung kann mit einem analogen oder elektronischen Klinometer erfolgen.

Es ist von einer Genauigkeitsforderung von  $\sigma_N \leq 0,03 \text{ mm/m}$  auszugehen. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Spannweite von  $R \leq 0,03 \text{ mm/m}$  bei zwei beziehungsweise drei Einzelmessungen das oben genannte Kriterium erfüllt ist.

Vor der Messung ist das Gerät mindestens 1 Stunde lang zu temperieren. Das Klinometer ist temperiert, wenn länger als 5 Minuten eine Konstanz der Koinzidenzlibelle (analoges Klinometer) bzw. eine Messwertkonstanz (digitales Klinometer) gegeben ist.

Beim digitalen Klinometer (Fa. Huggenberger/Wyler) ist vor Beginn der Messung ist der Messbereich Range I einzustellen (Ableseschärfe: 2 Nachkommastellen bezogen auf

die Einheit mm/m). Weiterhin ist vor dem Messbeginn an der ersten Messstelle der Gerätenullpunkt zu justieren (siehe Bedienungsanleitung). Der Gerätenullpunkt ist korrekt eingestellt, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- die Messwerte **LS** und **WS** haben unterschiedliches Vorzeichen
- $|\mathbf{LS}| - |\mathbf{WS}| \sim 0,00 \text{ mm/m}$  in jedem Fall aber  $\leq 0,05 \text{ mm/m}$

Mit dieser Justierung kann die Neigung aller Objektpunkt gemessen werden, wenn sich die Neigungen der ALSK im Bereich von  $\pm 3,00 \text{ mm/m}$  befinden.

Die Neigungsmessung muss exakt orthogonal zur Alinement-Ebene ausgeführt werden. Dazu wird der Justierring über den ALSK gelegt und dessen Seitenmarkierung auf den Kornschlag der Ringverschraubung eingerichtet. Danach wird das Klinometer auf den Kegel gesetzt und mit mehr als einer Umdrehung entgegen der Uhrzeigerrichtung sowie zentrischem Krafteintrag aufgedreht, bis die Markierungen an der Hülse des Klinometers und auf OK Justierring (diejenige die zum linken Hang zeigt) in Übereinstimmung gebracht sind. (Hinweis: Falls das Drehen des Klinometers nur mit erheblichen Kraftaufwand und ruckartig erfolgt, ist es hilfreich, vor dem Aufsetzen mehrmals in die Fußpassung hauchen. Es bildet sich in der Kegelhülse eine Kondenssschicht, die das Drehen des Standrohres auf dem ALSK erleichtert.) Nach dem Ablesen des Messwertes (**LS**) wird das Klinometer um ca.  $180^\circ$  weiter gedreht, bis die 2. Markierung an der Hülse des Klinometers mit der Markierung auf OK Justierring (diejenige die zum linken Hang zeigt) in Übereinstimmung gebracht ist. In dieser Lage wird der 2. Messwert (**WS**) abgelesen.

Die Neigungsmessung wird in der Regel in drei Sätzen ausgeführt, wobei nach jedem Satz das Klinometer neu aufgesetzt und orientiert wird. Die Messung in zwei Lagen ist zur Ausschaltung von Gerätefehlern erforderlich. Sollten erhebliche Abweichungen von dem oben genannten Genauigkeitskriterium eintreten, so sind zwei weitere Sätze auszuführen. Das Minimum und das Maximum der Sätze werden Streichwerte.

Die Neigungsmessung ist in einem Feldformular zu dokumentieren und das Original mit dem Messbericht auszuliefern.

- Feldformular – Bestimmung der Position der Alignierkegel mit dem AZZS (FF GAL), siehe Anlage 2
  - Jahr, Nummer des Blattes im Jahr, Nummer der Folgemessung
  - Datum, Uhrzeit von ... bis ..., Stauhöhe in mHN
  - Bestätigung der benutzten Messausrüstung
  - Wetter (Sonne beziehungsweise Bewölkung, Wind, Lufttemperatur)
  - Beobachter am Instrument
  - Angaben zur Temperierung
  - Messwerte satzweise inklusive Zuordnung zur Messlage
  - Angaben zur Stabilität des Klinometers auf dem ALSK (Taumelfehler)
  - Spannweite **R** der Sätze, eventuell Streichwerte

Werden bei der Aufbereitung der Messergebnisse die vorgeschriebene Kontroll- und Genauigkeitsmaß nicht eingehalten, ist zeitnah eine Wiederholung der Messung durchzuführen.

Die Neigung des ALSK ergibt sich aus dem Mittelwert der drei Einzelneigungen  $d_i = (\mathbf{LS} - \mathbf{WS})/2$ . Beim analogen Klinometer besteht die Möglichkeit, geräteinterne Veränderungen über den Kontrollwert  $k = (\mathbf{LS} + \mathbf{WS})/2$  festzustellen (Epochenvergleich oder Zeitreihenentwicklung).

Die Neigungskorrektur des Messwertes des beweglichen Zielzeichens auf Standrohr wird berechnet nach  $K_{FM} = d_{FM} * I$  mit  $I [m]$  = Höhe des Zentrums des Zielzeichens über der Kegelspitze oder Schwerpunkt der Passung (1,352 m bezogen auf Schwerpunkt der Passung – gilt für ein AZZS des Fabrikats FPM Holding) ermittelt.

#### 5.4 Messungsdurchführung: Kontrolle der Stabilität der GAL-Ebene

Bestandteil einer Folgemessung des Geometrischen Alignement ist die Prüfung der Stabilität der Alignement-Festpunktpfeiler, welche die GAL-Ebene bilden. In der Regel erfolgt das durch ein zweiteiliges geometrisches Alignement der oben genannten Pfeiler. Idealerweise werden die „innenliegenden“ objektnahen Pfeiler mit Hilfe der „außenliegenden“ objektfernen Pfeiler (signalisiert mit Alignierinstrument und Mire) kontrolliert, wobei auf die „innenliegenden“ Pfeiler nacheinander das AZZD aufgesetzt und eingewiesen wird. Wegen ungünstiger Topographie an den Sperrstellen muss von dieser idealen Konfiguration häufig abgewichen werden. Die Messungen an sich sind analog wie im Abschnitt 5.2 durchzuführen.

Für die Prüfung der Spannweite der Zielungen am AZZD gelten die Festlegungen im Abschnitt 5.2 sinngemäß.

Es wird empfohlen, die Alignement-Festpunktpfeiler in das Lage- und Höhenfestpunktfeld zur Stabilitätskontrolle einzubeziehen.

### 6 Aufbereitung und Auswertung der Messung

Zur Aufbereitung der Messwerte zu Ergebniswerten und zur Ermittlung der Genauigkeitsmaße ist ein Excel-Schema zu nutzen (siehe Anlagen 3 und 4). In diesen Excel-Schemata sind die Berechnungsformeln hinterlegt, so dass mit der Eingabe der Messwerte der aktuellen Folgemessung die Berechnung der Ergebniswerte und Genauigkeitsmaße automatisch erfolgt. Richtung und Richtungssinn der Bewegungskomponenten müssen an das Koordinatensystem (Defo-System) der Stauanlage angepasst werden.

## 6.1 Neigungsmessung

Im Einzelnen sind anzugeben:

- Neigung der ALSK der Folgemessung  $d_{FM}$

$$d_{FM} = (LS - WS)/2 \quad (LS - \text{lufseitige Messposition,} \\ WS - \text{wasserseitige Messposition})$$

- Neigungsänderung gegenüber der BM  $\Delta d$

$$\Delta d = d_{FM} - d_{BM}$$

- Korrekturwert der Neigungsänderung der ALSK  $K_{FM}$

$$K_{FM} = \Delta d * I \text{ mit } I = 1,352 \text{ m (Neigungsreduktion auf OK ALSK, gilt nur für ein AZZS des Fabrikats FPM Holding)}$$

Die Berechnungen sind im vorgegebenen Formular nachzuweisen. Als Rechenschärfe sind 0,01 mm einzuhalten.

Die Neigungsrichtung ist dem Koordinatensystem (Defo-System) der Talsperre anzupassen.

## 6.2 GAL-Messung

Im Einzelnen sind anzugeben (siehe Anlage 4):

- $x'_{FM}$ - und  $x_{FM}$ -Werte (aus der Beobachtung der Position der ALSK mit AZZS)
  - $x'_{FM}$  = Mittelwert aller akzeptierten Einzelmesswerte der Zielungen
  - $x_{FM} = x'_{FM} + K_{FM}$  (neigungskorrigierter AZZS-Messwert der Folgemessung)
  - $\Delta x = x_{FM} - x_{BM}$  (Veränderung in x-Richtung gegenüber der Bezugsmessung = Ergebniswert)
- $x'_{FM}$ -,  $x_{FM}$ - und  $\Delta x$ -Werte (aus der Beobachtung der Stabilität der Alinement-Ebene) sowie
- die Genauigkeitsmaße  $s_{ALSKi}$  und  $s_{GAL,FM}$  [mm] sowie  $s_{GAL,FM}$  und  $s_{ALSKi}$  [mgon]

Die Ergebnisse inklusive der Person des Auswertenden sind in den Aufbereitungsformularen zu dokumentieren.

Die Berechnungen sind im vorgegebenen Formular nachzuweisen. Als Rechenschärfe sind 0,01 mm einzuhalten.

Richtung und Richtungssinn der Ergebniswerte des GAL sind dem Koordinatensystem (Defo-System) der Talsperre anzupassen.

### 6.3 Nachweis der Stabilität der GAL-Ebene

Der Berechnung der Ergebniswerte erfolgt analog Abschnitt 6.2 beziehungsweise Abschnitt 6.4.2, wobei die Neigungskorrektur entfallen kann.

### 6.4 Prüfung und Bewertung der erreichten Genauigkeit

#### 6.4.1 Aligment-Setzkegel – Neigungsmessung

Zur Sofortkontrolle (in der Regel  $n = 3$ ) kann von Folgendem ausgegangen werden: Wenn die Spannweite aller  $d_i = (LS_i - WS_i)/2$ , die an einem Alignierkegel ermittelt worden sind,  $\leq 0,03 \text{ mm/m}$  ( $R_{zul}$ ) ausfällt, ist die Forderung von  $\sigma_N \leq 0,03 \text{ mm/m}$  eingehalten.

#### 6.4.2 GAL-Messung (Nachweis Einzelmessstellen und Folgemessung)

Die Genauigkeitsbetrachtung ist entsprechend Anlage 4 vorzunehmen. Es ist für jeden Objektpunkt der Nachweis zu führen, dass

$$s_z < s_{zul} = T \cdot \sigma_{E2} \text{ (mit } \sigma_{E2} = 0,1 \text{ mgon)}$$

$s_z$  ... Standardabweichung aus den 3 Mittelwerten der 6 Einweisungen

Die Einhaltung der Genauigkeitsforderung der gesamten Folgemessung (Beobachtung der  $n$  Objektpunkte) nach Abschnitt 2.4 ist bei der Auswertung nachzuweisen. Dazu ist aus den Streuungen der Ablesungen am AZZS die bei der Messung erreichte Standardabweichung einer Zielung  $s_z$  bzw. die Standardabweichung der Beobachtung eines ALSK  $s_E$ , bestehend aus sechs Einweisungen (sechs Zielungen zur Mire und sechs Zielungen des AZZS (ohne weitere Fehlereinflüsse), zu berechnen.

Zuerst muss die systematische Abweichung der Restneigung der Kippachse eliminiert werden. Das geschieht durch Mittelbildung

$$\{(WS_1 \text{ nach } LS_1) + (LS_1 \text{ nach } WS_1)\}/2 = \text{Mittel 1}$$

$$\{(WS_2 \text{ nach } LS_2) + (LS_2 \text{ nach } WS_2)\}/2 = \text{Mittel 2}$$

$$\{(WS_3 \text{ nach } LS_3) + (LS_3 \text{ nach } WS_3)\}/2 = \text{Mittel 3}$$

Aus diesen drei Mittelwerten sind für jeden ALSK die Standardabweichungen  $s_{AL}$  einer in zwei Lagen der Reitlibelle beobachteten Zielung zum ALSK zu berechnen ( $s_{AL}$  jeweils in mm und mgon). Aus den  $n$  Einzelwerten ist das quadratische Mittel  $s_{GAL,FM}$  über die  $n$  ALSK zu bilden (Berechnungsalgorithmus siehe Anlage 4).

Es ist noch zu prüfen, ob das Maß  $s_{GAL,FM} = s_z$  bei  $n_f = 5$  zur Grundgesamtheit  $\sigma_{E2}$  gehört, siehe auch Abschnitt 2.4.

Beispiel:  $s_z = 0,105 \text{ mgon}$   
 $n_f = 5$ ;  $n_f$  ... Anzahl der Freiheitsgrade  
 $T = f(n_f)$ ;  $T(n_f = 5) = 1,49$

$$\begin{aligned} s_{zul} &= T * \sigma_{E2} = 1,49 * 0,1 \text{ mgon} = \mathbf{0,15 \text{ mgon}} \\ s_z &= 0,105 \text{ mgon} < s_{zul} = 0,15 \text{ mgon} \end{aligned}$$

Die berechneten Genauigkeitsmaße sind innere Genauigkeiten der je drei Zielungen in zwei Lagen der Reitlibelle einer Folgemessung unter den Bedingungen der Beobachtungsdauer (sechs Einweisungen). Sie können nicht als Genauigkeitsmaß für das Verfahren (äußere Genauigkeit) gelten. Dazu wären weitere Fehlereinflüsse nach Abschnitt 2.4 zu berücksichtigen.

### 6.4.3 Nachweis der Stabilität der GAL-Ebene

Der größte zulässige Betrag des Widerspruchs eines gemessenen Abstandes gegenüber der Bezugsmessung eines Festpunktes soll folgende Werte nur in Ausnahmefällen überschreiten:

$$F_{zul} = T * \sigma_{E6} * \sqrt{2} * d / \rho \quad [\text{mm}]$$

- T** =  $f(n_r)$ ; hier  $T(n_r = 1) = 1,96$   
 **$n_r$**  = Anzahl der Freiheitsgrade bzw. Überbestimmungen; hier  $n_r = 1$   
**d** = Zielweite  
 **$\rho$**  = Dividend für Umrechnungen von mgon in mm;  $\rho = 63.662 \text{ mgon}$   
 **$\sigma_{E6}$**  = Standardabweichung der Beobachtung eines ALSK bestehend aus sechs Einweisungen, entspricht sechs Zielungen zur Mire und sechs Zielungen zum AZSD (ohne weitere Fehlereinflüsse wie zum Beispiel Refraktion)  
 $= \sigma_{E1} / \sqrt{n} = \sigma_z \times \sqrt{n_{EZ}} / \sqrt{n_{EW}}$   
 **$\sigma_{E6}$**  = 0,058 mgon  
 **$\sigma_z$**  = Standardabweichung einer Zielung = 0,1 mgon (Festlegung)  
 **$\sigma_{E1}$**  = Standardabweichung einer Einweisung (wobei für beide Punkte obgleich unterschiedlicher Zielweiten die gleiche Zielgenauigkeit angenommen wird)  
 **$n_{EZ}$**  = Anzahl der Einzelzielungen pro Einweisung;  $n_{EZ} = 2$   
 **$n_{EW}$**  = Anzahl der Einweisungen pro Messstelle;  $n_{EW} = 6$

d bis AZSD [m]	bis 100	100 bis 200	200 bis 300	300 bis 400	400 bis 500
<b><math>F_{zul}</math> [mm]</b>	0,25	0,51	0,76	1,00	1,26

Dementsprechend kann festgelegt werden, dass für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$  ein  $F_{zul} = 1,5 \text{ mm}$  nicht überschritten werden darf (Maximalwert). Zusätzlich ist der Trend ist zu beachten beziehungsweise mit Hilfe von Regressionsanalysen die Instabilität der Pfeilerkonstellation nachzuweisen und zu dokumentieren.

**Nur durch einen Überkreuzvergleich der Kontrollmessungen lässt sich ermitteln, welcher Pfeiler oder Sicherungspunkt instabil wurde!**

Wird eine signifikante Lageverschiebung der Alignements-Festpunkte rechtwinklig zur Alignements-Ebene festgestellt, ist diese als Korrektur anzubringen und zwar vor der Berechnung der Differenz zur Bezugsmessung.

Die Festlegung neuer Koordinaten für die Alinement-Festpunkte bedarf der Zustimmung des Auftraggebers. Die neue Bezugsepoche ist in den Ergebnistabellen zu kennzeichnen. Der neue Bezugswert ist in den Feld- und Aufbereitungsformularen zu ändern.

Im günstigsten Fall kann die Koordinatenneubestimmung innerhalb einer Folgemessung des Lagefestpunktfeldes erfolgen.

## 6.5 Messbericht

Zu jeder Folgemessung ist ein Messbericht zu erstellen. Die zugehörige Datenlieferung hat digital an die Cloud der TFW mit folgendem Umfang zu erfolgen:

- Textteil des Messberichtes
- Feldformular als PDF-Datei (Neigungsmessung)
- Feldformular als PDF-Datei (GAL)
- Feldformular als PDF-Datei (Festpunktkontrolle = FPK)
- MS-Excel-Aufbereitungsschema (Neigung) <sup>1)</sup>
- MS-Excel-Aufbereitungsschema (GAL) <sup>1)</sup>
- MS-Excel-Aufbereitungsschema (FPK) <sup>1)</sup>
- Ergebnisformular Ergebniswerte GAL <sup>2)</sup>
- Ergebnisformular Ergebniswerte Neigung <sup>2)</sup>
- Ergebnisformular Ergebniswerte FPK <sup>2)</sup>

**Bemerkungen:** <sup>1)</sup> inklusive Genauigkeitsnachweise  
<sup>2)</sup> EW inklusive Differenzen zur BM

Im Messbericht sind unter anderen auf alle Besonderheiten einzugehen, die während der Messung aufgetreten sind und Einfluss auf die Ergebniswerte nehmen.

## 7 Vergabe an Dritte

Die Messung des Geometrischen Alinement ist außerordentlich witterungsabhängig. In der Regel kann erst zum Arbeitsbeginn entschieden werden, ob eine GAL-Messung möglich ist oder nicht. Daher sollte die Messung auch in Zukunft vom Personal vor Ort durchgeführt werden.

Ende der Eintragungen