

Technische Richtlinie zur Messung im Schwerefestpunktfeld (TR Schwerefestpunkte)

vom 10. März 2021

Inhalt

- 1 Begriffsbestimmungen
- 2 Zuständigkeit
- 3 Punktkennung der SFP in AFIS
- 4 Koordinaten und Höhe der SFP
- 5 Schwerewerte der SFP
- 6 Aufbau des SFP-Feldes
- 7 Genauigkeit der SFP
- 8 Erkundung und Anlage des SFP-Feldes
- 9 Vorbereitende Maßnahmen für Relativschweremessungen
- 10 Messungsablauf mit Relativgravimeter
- 11 Messungsdokumentation
- 12 Überprüfung
- 13 Überwachung
- 14 Überprüfung von Relativgravimetern

- Anlage 1** Punktdokumentation für Schwerefestpunkt
Anlage 2 Messformular für Relativschweremessungen
Anlage 3 Glossar

1 Begriffsbestimmungen

- (1) Schwerepunkte sind Vermessungspunkte, für die die Fallbeschleunigung (Schwere) der Erde bestimmt ist.
- (2) Amtliche, in der Regel vermarktete Schwerepunkte werden als Schwerefestpunkte (SFP) bezeichnet und dienen der physischen Realisierung des landesweit einheitlichen Schwerebezugssystems.
- (3) Die amtlichen Schwerefestpunkte werden im Amtlichen Festpunktinformationssystem (AFIS) geführt.
- (4) Alle Schwerefestpunkte bilden zusammen das Schwerefestpunktfeld (SFP-Feld).

2 Zuständigkeit

- (1) Ergebnisse von Schweremessungen, die für die Führung und Erneuerung des SFP-Feldes von Bedeutung sind, sind der für das Schwerefestpunktfeld zuständigen Vermessungsstelle des Landes Berlin zur Auswertung anzubieten.
- (2) Punktnummer, Name, Schwerewert, Koordinaten und Höhe der zur Übernahme geeigneten Schwerefestpunkte werden von der für das Vermessungswesen zuständigen Senatsverwaltung festgesetzt.

3 Punktkennung der SFP in AFIS

- (1) Die 10-stellige Punktkennung besteht aus dem 4-stelligen Nummerierungsbezirk (Nummer der TK25, in deren Fläche der Punkt liegt), der Punktart (SFP 1.-3. Ordnung = 8) und der 5-stelligen Punktnummer.

4 Koordinaten und Höhe der SFP

- (1) Für SFP werden UTM-Koordinaten (Zone 33) im ETRS89/DREF91 und Normalhöhen (NHN) im DHHN2016 bestimmt und ausgewiesen.
- (2) UTM-Koordinaten sollen auf mindestens 5m genau bestimmt werden.
- (3) Die Genauigkeit der Höhenbestimmung eines SFP soll mindestens der Genauigkeit eines HFP 3. Ordnung entsprechen.

5 Schwerewerte der SFP

- (1) Der Schwerewert enthält einen von verschiedenen Einflüssen befreiten Wert der Schwere in einem bestimmten Schwerebezugssystem mit der SI-Einheit ms^{-2} . Die Schwerewerte der SFP werden auf volle 10^{-8}ms^{-2} ($1 \mu\text{Gal}$) ausgewiesen und gelten für den Beobachtungsort.
- (2) Die gemessenen Schwereunterschiede werden korrigiert wegen
 - a. Gravimetrischen Gezeiten
 - b. Gravimetergang
 - c. Standgang und andere instrumentelle Einflüsse
 - d. Atmosphärische Einflüsse
- (3) Die Schwerewerte der SFP werden im System des DHSN2016 berechnet.

6 Aufbau des SFP Feldes

- (1) Das SFP-Feld ist in Schwerenetze 1. bis 3. Ordnung unterteilt.
- (2) Das Schwerenetz 1. Ordnung hat die Aufgabe Niveau und Maßstab für die Schweremessung über große Gebiete hin vorzugeben und zu sichern. Die Rili-RB-Adv legt die Anforderungen an die Standortauswahl und Festlegung für SFP 1. Ordnung fest.
- (3) Die Schwerenetze 2. und 3. Ordnung verdichten das Schwerenetz 1. Ordnung so, dass im gesamten Gebiet des Landes Berlin Schwerewerte hoher Genauigkeit in einem einheitlichen Bezugssystem zur Verfügung stehen.
- (4) Die Punktdichte beträgt ungefähr im

Schwerenetz 1. Ordnung:	1 SFP auf	1.000 km ²
Schwerenetz 2. Ordnung:	1 SFP auf	100 km ²
Schwerenetz 3. Ordnung:	1 SFP auf	10 km ²
- (5) Der Aufbau des SFP-Feldes an der Landesgrenze ist im Benehmen mit der zuständigen Behörde im Land Brandenburg so zu gestalten, dass ein stetiger Übergang gewährleistet ist.

7 Genauigkeit der SFP

- (1) Die Schwerewerte der SFP werden durch absolute Schweremessungen und durch Messungen von Schwereunterschieden (Relativschweremessungen) bestimmt.
- (2) Für die Messung von Schwereunterschieden gelten folgende Mindestanforderungen:
 - a. Einsatz von Instrumenten, deren Gangverhalten über längere Zeit (mindestens ein halbes Jahr) kontrolliert ist und deren tägliche Standgangkurve nach Anbringen aller Korrekturen um weniger als $10 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ ($10 \mu\text{Gal}$) von einer Geraden abweicht.
 - b. Einsatz von Instrumenten mit einer durch das Messsystem bedingten Ablesegenauigkeit vom 10^{-8} ms^{-2} ($1 \mu\text{Gal}$)
 - c. Erfassung des Gravimetergangs in Zeitabständen innerhalb derer die Gangkurve als Gerade angenommen werden kann
 - d. Unmittelbarer Anschluss der Messungen an SFP höherer oder gleicher Ordnung
- (3) Die Schwerewerte der SFP 1. Ordnung werden ausschließlich über Absolutschweremessung bestimmt. Die Schwerewerte der SFP 2. Ordnung können über Absolut- oder Relativschweremessungen bestimmt werden. Die Schwerewerte der SFP 3. Ordnung werden ausschließlich über Relativschweremessungen bestimmt.
- (4) Für die Messung von Schwereunterschieden im Schwerenetz 2. und 3. Ordnung sind mindestens zwei Relativgravimeter parallel einzusetzen.
- (5) Voneinander unabhängige Bestimmungen des gleichen Schwereunterschieds zwischen benachbarten Punkten dürfen unter Berücksichtigung auch geräteabhängiger Einflüsse
 - a. Im Schwerenetz 2. Ordnung um nicht mehr als $20 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ ($20 \mu\text{Gal}$) und
 - b. Im Schwerenetz 3. Ordnung um nicht mehr als $40 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ ($40 \mu\text{Gal}$)voneinander abweichen.

8 Erkundung und Anlage des SFP Feldes

- (1) Vor Beginn der Messung sind die anzumessenden SFP zu erkunden. Als Inhalt dient dabei ein im Innendienst gefertigter Vorentwurf.
- (2) Bei der Erkundung sind Punktbeschreibungen auf dem Formblatt „Punktdokumentation für Schwerefestpunkt“ (Anlage 1) zu erstellen bzw. zu ergänzen.

- (3) Lagekoordinaten und Höhe der SFP sind bei der Erkundung entweder sofort zu bestimmen oder die Bestimmung ist vorzubereiten. Für die Höhenbestimmung ist der nächstgelegene HFP aufzusuchen und in der SFP-Beschreibung anzugeben.
- (4) Bei der Auswahl von Standorten für die Festlegung sowie der Vermarkung von SFP 1. Ordnung gelten die Vorgaben der Rili-RB-AdV und der FA-TG.
- (5) Bei der Auswahl von Standorten für die Festlegung von SFP 2. und 3. Ordnung soll beachtet werden:
 - a. Dass der Standort geologisch und morphologisch stabil ist, und dass die Festlegung höhenstabil ist
 - b. Dass die Festlegung voraussichtlich auf längere Zeit unverändert erhalten bleiben kann
 - c. Dass mit dem Mess-Kfz nahe an den SFP herangefahren werden kann
 - d. Dass die vorhandene Mikroseismik die aufgezeichneten Gravimeterdaten um nicht mehr als die 2-fache Genauigkeit streuen lässt
 - e. Dass der SFP frei zugänglich ist
 - f. Dass am Standort keine großen Grundwasserschwankungen vorherrschen
 - g. Dass keine Änderungen des Schwerewertes durch künstliche Veränderungen der Topografie im Nahbereich (Umkreis 15m) oder durch Veränderung der Bebauung in der Umgebung (Umkreis 100m) zu erwarten sind. Hierfür sind Planungsunterlagen (u.a. Bebauungspläne, Grünflächenpläne, Stadtentwicklungspläne für Verkehr und Wohnen) für die Entscheidung mit heranzuziehen.
- (6) Bei SFP 1. Ordnung sind mindestens zwei exzentrische Sicherungen festzulegen, für die dieselben Gesichtspunkte wie für das Zentrum gilt. Die Entfernung Zentrum – Exzentrum soll zwischen 200 und 500 m liegen; der Schwereunterschied soll $20 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ (20 mGal) nicht überschreiten.
- (7) SFP 2. Ordnung sollen durch Pfeiler oder Stehnieten (Stehbolzen), SFP 3. Ordnung durch Stehnieten (Stehbolzen) in besonders stabilen, horizontalen Flächen vermarktet werden. Können SFP 3. Ordnung nicht durch Stehnieten vermarktet werden, so sind stabile Standorte in unmittelbarer Umgebung von HFP zu verwenden. Der Instrumentenstandpunkt ist möglichst nahe am HFP, keinesfalls weiter als 5 m von diesem entfernt festzulegen. Die Lage und Höhe des Instrumentenstandpunktes ist in der Einmessungsskizze auf 1cm auf den HFP als Rückmarke bezogen, zu bestimmen.

9 Vorbereitende Maßnahmen für Relativschweremessungen

- (1) Vor Beginn jeder Feldarbeitsperiode sind für das Relativgravimeter
 - a. Eine Kurve des Standgangs für den Zeitraum von wenigstens einem Monat zu ermitteln
 - b. Der Transportgang durch Probemessungen von mindestens einwöchiger Dauer zu ermitteln
- (2) In den Zeiträumen zwischen den Messkampagnen im SFP-Feld ist das Relativgravimeter in beheiztem Zustand in einem weitgehend erschütterungsfreien Raum aufzubewahren, in dem möglichst kleine Temperaturschwankungen zu erwarten sind und ein geringer Luftfeuchtigkeitsgehalt vorliegt.
- (3) Vor dem Einsatz für Präzisionsmessungen sind neue Geräte mindestens ein halbes Jahr in beheiztem Zustand zu halten und zu häufigen Messungen mit geringeren Genauigkeitsanforderungen zu verwenden.

10 Messungsablauf mit Relativgravimeter

- (1) Das Relativgravimeter ist in einer gepolsterten und/oder gefederten Transporteinrichtung möglichst erschütterungsarm und horizontal zu transportieren.
- (2) Während Messpausen und nachts darf das Relativgravimeter nicht im Messfahrzeug bleiben, wenn zu befürchten ist, dass dort Temperaturen auftreten, die stark von der am darauffolgenden Messort herrschenden Außentemperatur abweichen.
- (3) Der Rhythmus des Messungsablaufes ist, um ein möglichst gleichmäßiges Gangverhalten zu erzielen, streng einzuhalten.
- (4) Die Feldvermessungen sind in Tagesabschnitte einzuteilen.
- (5) Vor Beginn eines Tagesabschnitts ist das Relativgravimeter zur Anpassung an die Fahrtdrift ca. 30 min mit dem Messfahrzeug zu transportieren.
- (6) Als Messverfahren für einen Tagesabschnitt sind geeignet:
 - a. Doppelte Differenzmessung: $SFP_A - SFP_N - SFP_A - SFP_N - SFP_A$
 - b. Sternverfahren: $SFP_N - SFP_{A1} - SFP_{A1} - SFP_N - SFP_{A2} - SFP_{A2} - SFP_N - SFP_{A3}$ usw.
Die zweite Messung auf den Anschlusspunkten (SFP_{Ax}) erfolgt nach erneuter Aufstellung des Relativgravimeters.
- (7) Das Messergebnis ist für jeden Tag vorläufig auszuwerten und das Gangverhalten des Relativgravimeters zu kontrollieren. Bei Sprüngen in der Gangkurve bzw. bei Überschreiten der zulässigen Fehlergrenzen ist die betreffende Messfahrt zwischen An- und Abschluss am Ausgangspunkt zu wiederholen.
- (8) Das Relativgravimeter ist vom Messfahrzeug zum SFP weitestgehend horizontal zu transportieren.
- (9) Alle eingesetzten Relativgravimeter werden nacheinander immer in derselben Reihenfolge zentrisch über dem Festpunkt aufgestellt und, wenn möglich, nach Norden orientiert. Die Messungen sind auf jedem Punkt im selben zeitlichen Rhythmus durchzuführen.
- (10) Vor dem Start der Datenaufzeichnung sind Instrumentenhöhe, Luftdruck sowie ggf. die Temperatur zu bestimmen und zu dokumentieren.
- (11) Während der Messung ist das Relativgravimeter durch geeignete Maßnahmen (Feldschirm, Windschutz o.ä.) vor direkter Sonneneinstrahlung und Windeinflüsse zu schützen.

11 Messungsdokumentation

- (1) Für jede Aufstellung bzw. Messung am Messort für jeden Messtag sind mindestens folgende Angaben zu erfassen:
 - a. Punktnummer / Punktkenung
 - b. Vermessungsstelle
 - c. Name des Beobachters
 - d. Messungsdatum
 - e. Startzeit der Messung (hh:mm)
 - f. Eingesetztes Gravimeter (Typ und Gerätekenung)
 - g. Luftdruck am jeweiligen Messort (1 hPa)
 - h. Lufttemperatur (1°C)
 - i. Instrumentenhöhe (mm)
 - j. Schwerebezugspunkt
- (2) Zusätzlich sind Bemerkungen bzw. Besonderheiten während der Messung zu dokumentieren, sofern diese für die Auswertung relevant sind.

- (3) Die Dokumentation der Informationen kann in einem analogen oder digitalen Messprotokoll (Anlage 2) erfolgen.

12 Überprüfung

- (1) Die Überprüfung mittels Wiederholungsmessungen von absolutgravimetrisch eingemessenen SFP soll alle 6 Jahre, spätestens nach 12 Jahren erfolgen.
- (2) Die Überprüfung mittels Wiederholungsmessungen der SFPs mittels Relativschweremessungen soll spätestens alle 3 Jahre erfolgen.
- (3) Der amtliche Schwerewert des SFP ist zu ändern, wenn der Änderungsbetrag folgende Werte überschreitet:
 - a. SFP 1. Ordnung: $25 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ (25 μGal)
 - b. SFP 2. Ordnung: $40 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ (40 μGal)
 - c. SFP 3. Ordnung: $80 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ (80 μGal)
- (4) Jeder für einen SFP durch Wiederholungsmessung ermittelte Schwerewert ist mit Messdatum, Bezugshöhe, Standardabweichung und ggf. weiteren Metadaten in einer Zeitreihe zu dokumentieren. Die Führung der Zeitreihe erfolgt unabhängig davon, ob eine Änderung des amtlichen Schwerewertes erforderlich ist.

13 Überwachung

- (1) Eine lokale Überwachung der SFP soll bedarfsorientiert durchgeführt werden. Dabei ist die physikalische Höhe nach Möglichkeit mit der nach Nr. 4 Abs. (3) vorgegeben Genauigkeit zu kontrollieren.
- (2) Die SFP 2. und 3. Ordnung sind jährlich auf Schwereänderungen mittels Relativschweremessungen zu kontrollieren.
- (3) Der amtliche Schwerewert des SFP ist zu ändern, wenn der Änderungsbetrag die Werte nach 12 (3) überschreitet.

14 Überprüfung von Relativgravimetern

- (1) Das Relativgravimeter ist nach der Bedienungsanleitung des Herstellers zu überwachen.
- (2) Neu angeschaffte Relativgravimeter sind auf einer Kalibrierstrecke zu überprüfen. Im Einsatz befindliche Relativgravimeter sind einmal jährlich auf einer Kalibrierstrecke zu überprüfen.
- (3) Das Gangverhalten des Relativgravimeters ist alle 4 Wochen auf einem Absolutschwerepunkt mit bekanntem Schwerewert zu überprüfen.

Punktdokumentation für Schwerefestpunkt *Punktnummer*

Allgemeine Informationen

Punktnummer	
Lagebezeichnung	
Hochwert	
Rechtswert	
Höhe	
Vermarkung	
Anmerkungen zum Punktort	
Hinweise zur Erreichbarkeit	

Informationen zur Messung

Messung am	
Messung von	
Kontrolle am	
Kontrolle von	
Messinstrument	

Informationen zur Auswertung

Auswertung am	
Auswertung von	
Auswertung mit	
Kontrolle am	
Kontrolle von	
Kontrolle mit	
Bestimmter Schwerewert	

Fotos vom Punktort zur Dokumentation

Messformular für Relativschweremessungen

Seite:

Messungen von Schweredifferenzen	Projekt
Vermessungsstelle/ -büro	Beobachter: Datum:
Gravimeter: Gerätenummer:	Wetter:

Station (Punktnr.)	Startzeit (UTC)	Luftdruck [hPa]	Höhe [cm]	Letzter angezeigter Wert [mGal]	Bemerkungen
		Temperatur [°C]	Gemessen bis:		

Glossar

Begriff	Definition
Absolutgravimeter	Gravimeter zur Messung des Absolutbetrages der Schwere
DHHN2016	Deutsches Haupthöhennetz 2016 Dieses wird gebildet durch die Höhenfestpunkte 1. Ordnung.
DHSN2016	Deutsches Hauptschwerenetz 2016 Dieses wird gebildet durch die Schwerefestpunkte 1. Ordnung.
Drift	Ein instrumenteller systematischer Fehler; sie lässt sich als zeitliche Änderung des Nullpunktes der Signalanzeige interpretieren. Die Drift wird häufig auch als instrumenteller Gang bezeichnet.
Driftbestimmung	Die Genauigkeit der Bestimmung der instrumentellen Drift beeinflusst die effektive Genauigkeit gravimetrischer Messungsergebnisse. Vor jeder Driftbestimmung muss eine Gezeitenreduktion der beobachteten Schwerewerte durchgeführt werden. Die Driftkurve wird dadurch gebildet, dass man die Differenzen der in identischen Punkten zu unterschiedlichen Zeitpunkten beobachten, gezeitenreduzierten Messwerte in einem geeigneten Diagramm durch geeignete Änderungen des Signalniveaus so ineinander verschiebt, dass ein plausibles Band von Punkten entsteht dadurch, dass man eine ausgleichende Funktionslinie legt. Bildet man die Differenzen zwischen den zu einen Zeitpunkt gültigen Funktionswert und einem geeigneten konstanten Bezugswert, so erhält man laufend den zu dem gewählten Zeitpunkt gültigen Driftanteil in den beobachteten gravimetrischen Messwerten.
Driftkorrektur	Die Beseitigung des in den beobachteten, gezeitenreduzierten Messdaten enthaltenen Anteils der instrumentellen Drift.
ETRS89 / DREF91	European Terrestrial Reference System 1989 Von der AdV als bundeseinheitlich amtliches Bezugssystem für alle Zwecke des Vermessungs- und Katasterwesens beschlossen. Das ETRS 89 wurde zuerst realisiert durch das European Terrestrial Reference Frame 1989 (ETRF 89) als Bestandteil des ITRF 89, realisiert durch die in Europa gelegenen Stationen des International Earth Rotation Service (IERS) mit ihren Koordinaten der Epoche 1989.0. Das ETRF 89 wurde in der Folgezeit auf europäischer Ebene durch EUREF-GPS-Kampagnen verdichtet, und in Deutschland darüber hinaus durch das Deutsche Reference Frame der Epoche 1991 (DREF91) und Landesnetze wie das Berliner BREF.
Gang	Eine zeitliche Änderung des Messsignals, welche nicht von der physikalischen Messgröße herrührt, sondern eine Folge instrumenteller Eigenschaften und Vorgänge ist. Der Gang ist somit ein instrumenteller, systematischer Fehler. Er wird meist als instrumentelle Drift bezeichnet.
Gravimeter	Instrument zur Messung des Betrags der Schwere

Begriff	Definition
Gravimetrische Gezeiten	<p>Gezeitenbedingte, ortsabhängige reale Variationen des Schwerefeldes der Erde.</p> <p>Die Anteile sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wirkung des Gezeitenpotentials als dominierender Anteil - Die durch das Gezeitenpotential gesteuerten gravimetrischen Effekte der Gezeiten der festen Erde - Die durch das Gezeitenpotential gesteuerten gravimetrischen Effekte der Gezeiten der Meere - Die durch das Gezeitenpotential gesteuerten gravimetrischen Effekte der Gezeiten der Atmosphäre
Relativgravimeter	<p>Gravimeter zur Messung räumlicher und/oder zeitlicher Änderungen der Schwere.</p>
Schwere	<p>Kurzform für die Begriffe „<i>Schwerebeschleunigung</i>“ und „<i>Schwerkraft</i>“</p> <p><i>Schwerebeschleunigung</i> Bezeichnet die auf der Erdoberfläche in Folge der Massenanziehung der Erde und der Zentrifugalbeschleunigung (Rotation der Erde) auftretende Beschleunigung. Sie wird in m/s^2 oder auch in Gal oder mGal gemessen.</p> <p><i>Schwerkraft</i> Als Folge der Gravitation des Erdkörpers sowie der Erdrotation entsteht ein Energiefeld, das Schwerefeld genannt wird und dessen Vorhandensein sich u.a. in der Gewichtskraft eines Körpers zeigt. Diese Gewichtskraft ist nicht nur von der Stärke des jeweiligen Schwerefeldes abhängig sondern auch von der Masse des Körpers.</p>
Schwereänderung	<p><i>Örtliche Schwereänderungen</i> Infolge lokaler, regionaler und globaler Dichteveränderungen im Erdinneren (Aufbau der Erde) sowie als Folge der Erdrotation treten an der Erdoberfläche räumliche Änderungen der örtlichen Schwere auf, die als Funktion der Geographischen Breite und der Beobachtungshöhe maximal mehrere Promille des Absolutbetrages der Schwere erreichen können.</p> <p><i>Zeitliche Schwereänderungen</i> Dominant und permanent treten in einem Beobachtungspunkt zeitliche Schwereänderungen auf als Folge der gravimetrischen. Durch Massenveränderungen in der gravimetrisch relevanten Umgebung eines Punktes hervorgerufene Gravitationseffekte (z.B. Bodenfeuchte, Grundwassereffekt, gravimetrisch, Luftdruckeffekt, geophysikalisch) führen zu zeitlichen Schwerevariationen meist geringeren Betrages und mit langsamerem Ablauf. Ferner bewirken tektonisch oder anderweitig gesteuerte Änderungen der Höhe eines Punktes zeitliche</p>

Begriff	Definition
	Schwereänderungen meist langfristigen Charakters.
UTM	Universales Transversales MERCATOR-Koordinatensystem