

**Feldanweisung
für
Absolutschweremessungen
im Rahmen der
Erneuerung und Wiederholung
des
Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN)
im Zeitraum 2006–2011**

(Feldanweisung Absolutschweremessungen 2006–2011)

3. überarbeitete Fassung vom 01.08.2010



Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung
2. Netzentwurf und zeitliche Einteilung der Messungen
3. Messverfahren und Gerätebeschreibung
4. Auswahl von Punkten für Absolutschweremessungen mit dem A-10
5. Vermarkung der Absolutschwerepunkte
6. Durchführung und Auswertung der Messung
7. Punktbeschreibung, Sicherung und Höhenbestimmung der Absolutschwerepunkte

Anlagen

1. Netzentwurf des DHHN
2. Vermarkung der Absolutschwerepunkte (Beispiel Brandenburg)
3. Zusammenfassung der Kriterien für die Einrichtung der Absolutschwerepunkte
4. Datenabgabe-Protokoll Absolutschweremessung

Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AG	Absolutgravimeter
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
DHHN 92	Deutsches Haupthöhennetz 1992 (ebenso 1912, 1985)
DHSN 96	Deutsches Hauptschwerenetz 1996
DSGN 94	Deutsches Schweregrundnetz 1994
EPN	EUREF Permanent Network
GGP	Geodätischer Grundnetzpunkt
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRAF	German Reference Network
IGS	International GNSS Service
SAPOS [®]	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SI	Système international d'unités

1 Vorbemerkung

Die folgende Richtlinie soll eine einheitliche Vorgehensweise der deutschen Landesvermessungsbehörden bei der Erkundung, Auswahl und Vermarkung von Festpunkten zur Durchführung von Absolutschweremessungen im Rahmen der Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN) gewährleisten. Die Durchführung und Auswertung der Absolutschweremessungen erfolgt durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). Insgesamt sind Messungen auf 100 Punkten geplant, die durch Präzisionsnivelements bestmöglich an das Nivelementsnetz 1. Ordnung und an die GNSS-Punkte anzuschließen sind.

Mit den Absolutschweremessungen wird neben den Nivelements und GNSS-Beobachtungen ein weiteres Messverfahren eingesetzt, mit dem völlig unabhängig von geodätischen Bezugssystemen und Netzen langfristig Höhenänderungen auf den ausgewählten Punkten bestimmt werden können. Die genauen absoluten Schweredaten bilden eine Grundlage für die Überprüfung der Schweredatenbasis, die der Berechnung des Quasigeoidmodells der Bundesrepublik Deutschland zugrunde liegt, und können eine zukünftige Diagnose des Deutschen Hauptschwerenetzes unterstützen. Die Messungen tragen somit unmittelbar zur Verknüpfung der geometrischen und physikalischen Höhen in Deutschland bei. Sie werden für die Berechnung der schwereabhängigen Korrekturen der Nivelementsdaten verwendet.

Die epochengleiche Bestimmung der Normalhöhen, der ellipsoidischen Höhen und der Schwere auf den Punkten trägt zur Realisierung eines einheitlichen Raumbezugs in der Bundesrepublik bei. Durch die Kombination der drei oben genannten Messgrößen erfüllen die Punkte die Voraussetzungen für Geodätische Grundnetzpunkte (GGP) im Sinne des Beschlusses 115/7 des Plenums der AdV „Strategie für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland“.

2 Netzentwurf und zeitliche Einteilung der Messungen

Für die Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes wird eine gleichmäßige Verteilung von Absolutschwerpunkten angestrebt. Die Absolutschwerpunkte sollen nahe an den zu erneuernden Nivelementslinien 1. Ordnung liegen und eine Teilmenge der GNSS-Punkte bilden (Anlage 1). Kann die Punktidentität nicht hergestellt werden, können ersatzweise Punkte in unmittelbarer Umgebung der GNSS-Punkte verwendet werden. Es gelten die in der GNSS-Feldanweisung aufgeführten Anforderungen an die Lage der Punkte.

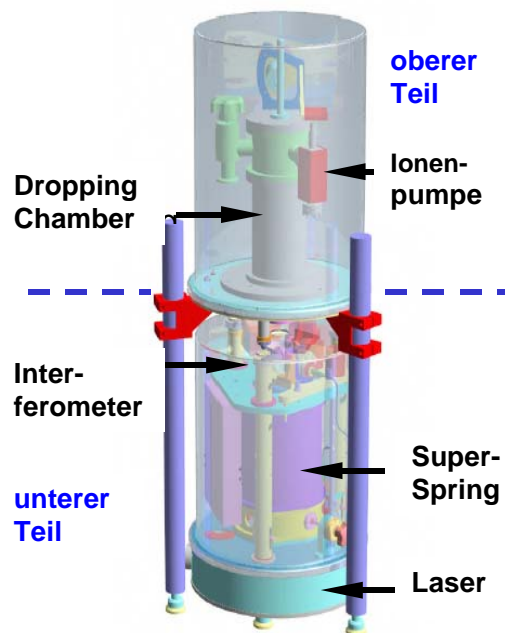
Die Messungen auf 100 Absolutschwerpunkten erfolgen in den Jahren 2009 und 2010 im Rahmen der DHHN-Erneuerung von 2006 bis 2011. Die Auswertung wird voraussichtlich Ende 2010 abgeschlossen sein.

3 Messverfahren und Gerätebeschreibung

Für die Durchführung der Schweremessungen auf den Punkten wird das Absolutgravimeter A-10 verwendet. Zusätzlich finden im Zeitraum der Messkampagne in regelmäßigen Abständen Vergleichsmessungen mit dem Absolutgravimeter FG-5 auf den gravimetrischen Referenzstationen des BKG statt. Auf diese Weise können systematische Abweichungen des A-10 ermittelt und angebracht werden. Durch die Vergleiche mit dem FG-5 sind die Messergebnisse im internationalen Schwerereferenzsystem (SI-Einheiten) definiert und der Bezug zum DSGN 94 wird sichergestellt.

Eine Verbindung zu Punkten des DHSN 96 mittels Relativgravimetermessungen wird aufgrund der Anzahl und Verteilung der Absolutschwerpunkte unterstützt und kann optional zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden.

Mit dem AG A-10 der Firma Micro-g LaCoste (<http://www.microglacoste.com>) steht ein batteriebetriebenes kompaktes Feldgravimeter für Messungen auf Außenpunkten zur Verfügung. Es arbeitet nach dem Messprinzip des freien Falls eines Probekörpers in einer evakuierten Fallkammer. Die für die Bestimmung der Fallbeschleunigung notwendigen physikalischen Messgrößen, Weg und Zeit, werden durch einen stabilisierten Laser und ein Rubidiumnormal definiert. Durch die Messungen kann unmittelbar der Betrag der Schwerebeschleunigung am Messpunkt bestimmt werden.



Damit entspricht der prinzipielle Aufbau dem des Gravimeters FG-5, wobei beim A-10 eine kompakte Realisierung des Messsystems in zwei unabhängigen thermostatisierten Gerätebehältern zur Verfügung steht.

Die Standardabweichung einer Schwerebestimmung mit dem A-10 beträgt bei einer Messzeit zwischen 10 und 60 Minuten ca. 10 μ Gal. Sie ist damit etwa eine Größenordnung geringer als beim FG-5. Die im Vergleich zum FG-5 wesentlich kleinere Fallkammer erlaubt Messungen im Sekundentakt. Vorteile gegenüber dem FG-5 liegen in der deutlich kürzeren Messzeit sowie der Möglichkeit zur Durchführung von Messungen auf Außenpunkten.

Das Gravimeter besteht aus zwei zylinderförmigen Messkomponenten mit jeweils 20 kg Gewicht (Durchmesser 33 cm, Gesamthöhe des aufgebauten Instruments 1,0 m). Die obere Geräteeinheit des A-10 enthält die Fallkammer (Dropping Chamber), in der die Freifallmessung im Vakuum stattfindet. Ein Liftsystem transportiert den Probekörper dabei entsprechend der gewählten Messfolge nach oben und fährt dann beschleunigt nach unten, so dass der Probekörper mit dem Winkelprisma über eine Strecke von 6 cm frei fällt und dann an der unteren Liftposition wieder aufgefangen wird.

Die untere Geräteeinheit enthält die so genannte „Superspring“, die wie ein sehr sensibles Seismometer arbeitet und das von der Bodenunruhe entkoppelte Referenzprisma der Wegmessung trägt, weiterhin den Laser sowie das Interferometer. Im Interferometer wird das Laserlicht auf zwei Wege aufgeteilt, einen festen und einen veränderlichen Weg, der die Testmasse in der „Dropping Chamber“ und das Referenzprisma an der Superspring einbezieht. Das zurückkehrende überlagerte Lichtsignal (Interferenz) wird durch eine Avalanche-Photodiode in ein elektrisches Messsignal umgewandelt. Die Steuerung des Instruments, Aufbereitung der Messsignale und Aufzeichnung der Ergebnisse geschieht in einer separaten Elektronikeinheit und dem hiermit verbundenen Steuerrechner. Messsystem und Elektronik sind durch ca. 18 m lange Kabel verbunden.

Das A-10 ist als Feldgravimeter entwickelt worden. Die Stromversorgung erfolgt über eine externe 12V Batterie, Netzteil bzw. Lichtmaschine eines Fahrzeugs oder externen Stromgenerator. Durch die kompakte Gestaltung kann das A-10 schnell für die Messung installiert werden. Die batteriebetriebene Stromversorgung während des Transports bewirkt, dass das Messsystem nach dem Aufbau des Gerätes sofort arbeitsbereit ist. Das Messgerät besitzt eine automatische Horizontierung. Bei Wind oder ungünstigen Witterungsbedingungen ist das gesamte Gerät unter einem Schutzzelt aufzubauen. Elektronikkomponente und Steuerrechner bleiben im Transportfahrzeug.

Die Genauigkeit der Messung hängt von den Umgebungs- bzw. Aufstellbedingungen sowie von der Anzahl der einzelnen Fallversuche ab. Die reine Messzeit beträgt im Regelfall etwa eine Stunde.

4 Auswahl von Punkten für Absolutschweremessungen mit dem A-10

Neben den gerätespezifischen Einflüssen und den Bedingungen zum Messzeitpunkt spielen Faktoren der Standortwahl eine wichtige Rolle für die zu erwartende Qualität der Ergebnisse. Die Stabilität des Untergrunds und die zu erwartende Mikroseismik beeinflussen die Messung mit dem Absolutgravimeter. Verwendet man bei der Punkterkundung ein Relativgravimeter (z. B. Scintrex CG-3 oder CG-5), sollte das Rauschen bei der Messung deutlich unter $\pm 100 \mu\text{Gal}$ liegen. Bodenkundliche Standortbegutachtungen werden empfohlen.

Weiterhin ist bei der Auswahl des Standorts die Lage von Versorgungsleitungen (Strom, Gas, Wasser, Telefon) zu beachten, um eine Gefährdung bei der Vermarkung auszuschließen und einen dauerhaften Standort zu gewährleisten. Die umliegende Fläche sollte landwirtschaftlich nicht genutzt sein. Es empfiehlt sich eine Standortauswahl im Bereich öffentlicher Flächen; zudem ist die Einrichtung einer Schutzfläche zu prüfen.

Die Schwerebeschleunigung ändert sich mit Massenänderungen im Untergrund bzw. in der Punktumgebung. Gegenden mit stärkeren Grundwasservariationen (Feuchtgebiete, Flussniederungen, Auenbereiche und Mooregebiete) sollten gemieden werden. Im Hinblick auf die qualitative Beurteilung der Messergebnisse, insbesondere im Zuge späterer Wiederholungsmessungen, wären ein bis zwei Grundwassermessstellen in der näheren Umgebung des Absolutschwerpunktes (Abstand bis 3 km, bei komplizierten geomorphologischen Strukturen unter 1 km) günstig. Hinsichtlich der Beschaffung der Daten von Grundwassermessstellen ist das BKG auf Zuarbeit der Landesvermessungsbehörden angewiesen. Zeitreihen der Grundwasserstände sollen spätestens zum Zeitpunkt der Auswertung der Schweremessungen zur Verfügung stehen. Alternativ können die Grundwassermessstellen wenige Tage vor oder nach der Schweremessung vom Betreiber abgelesen werden. Ist ein entsprechender Zugang möglich, können die Grundwasserstände am Tage der Messung durch den Messtrupp abgelesen werden (Kabellichtlot).



Ehemalige und aktuelle Bergbaugebiete sind nur bedingt für Absolutschweremessungen geeignet. Alle Einflüsse der Verkehrswege (nahe Autobahnen, Eisenbahnstrecken usw.), die auf die Mikroseismik im Umfeld des Schwerpunktes wirken, sollten durch entsprechende räumliche Distanz reduziert werden. Gleiches gilt für unmittelbaren Einfluss von Hochspannungsleitungen, Sendemasten oder Windenergieanlagen. Der Abstand von entsprechenden Einrichtungen soll mindestens 200 m betragen.

Der Messpunkt muss generell mit einem Fahrzeug angefahren werden können. Wegen den erforderlichen Kabelverbindungen zwischen Messgerät und Registriereinrichtung darf der Abstand zwischen Messpunkt und Fahrzeug nicht größer als 18 m sein.

Der mit dem A-10 bestimmte Schwerewert bezieht sich auf eine Höhe von ca. 70 cm über der Aufstellfläche des Gravimeters. Bei Verwendung von einem oder zwei Zusatzstativen vergrößert sich die Bezugshöhe um weitere 14 cm.

Im Zusammenhang mit den Absolutgravimetermessungen wird vom A-10-Messtrupp des BKG durch Relativgravimetermessungen der Schwerewert vom Bezugspunkt der Absolutgravimetermessung auf die Höhe der Vermarkung übertragen. Dazu wird unter Verwendung eines speziellen Gradientenstativs das Relativgravimeter CG-5 mehrmals in den zwei verschiedenen Ebenen zentrisch über der Vermarkung aufgesetzt. Die Ebenen sind so eingestellt, dass in der oberen Ebene der Sensor des CG-5 sich etwa in der Höhe des Bezugspunktes der A-10-Messung befindet, die untere Ebene ist die tiefstmögliche Aufstellfläche des CG-5. Damit stellt die Messung dieser Schweredifferenz eine Übertragung des Absolutschwerewertes in eine Höhe von ca. 25 cm über der Messmarke dar. Die aus dieser Messung abgeleitete vertikale Änderung der Schwere wird anschließend auf eine Höhendifferenz von 1 m bezogen und als vertikaler Schweregradient bezeichnet.

Die Schwerewerte werden für den Bezugspunkt der A-10-Messung (hier ist der Schwerewert in höchster Genauigkeit bekannt) unter Angabe seiner Höhe über der Messmarke und für die Messmarke selbst angegeben. Mit Hilfe des ebenfalls dokumentierten vertikalen Schweregradienten ist es dann möglich, den Schwerewert in andere Bezugshöhen (z. B. in die Sensorhöhe der Relativgravimeter LaCoste-Romberg LCR von ca. 7 cm) umzurechnen.

5 Vermarkung der Absolutschwerpunkte



Das Absolutgravimeter A-10 erfordert eine ebene vorzugsweise bodengleiche Aufstellfläche von 50 cm Durchmesser. Die Aufstellung des Gerätes auf unterirdisch vermarkten Punkten ist nicht möglich.

Die mit dem Gerät erreichbare Genauigkeit wird von den Aufstellungsbedingungen und der Art der Vermarkung beeinflusst. Im freien Gelände bieten stabile bodengleich eingebrachte Pfeiler die besten Voraussetzungen für eine langlebige Vermarkung, eine hohe Messgenauigkeit, den Anschluss weiterer Schwerpunkte mit Relativgravimetern und mögliche Wiederholungsmessungen. Für die Anlage neuer Vermarkungen werden Granit-

peiler empfohlen. Um eine ausreichende Stabilität und Frostsicherheit zu erreichen, wird eine Tiefe des Fundaments von 1 m gefordert. Die waagerechte Deckfläche muss einen Durchmesser von mindestens 50 cm besitzen und vorzugsweise eine glatte Oberfläche aufweisen. Bei rechteckig ausgeführter Oberfläche ist eine Seitenkante nach Norden auszurichten. Der Höhenbezug ist mit einem abgerundeten Messbolzen, möglichst aus Nirosta (maximale Höhe 10 mm), zu vermarken (Anlage 2). Größere unbewehrte Betonflächen, die frostfrei gegründet sind und stabil im Boden liegen, sind ebenfalls geeignet.

Länderspezifische Lösungen sollen mit dem BKG vorab besprochen und hinsichtlich ihrer Eignung untersucht werden.

6 Durchführung und Auswertung der Messung

Die Schweremessungen werden durch das BKG durchgeführt und ausgewertet. Die Höhenbestimmung der Absolutschwerepunkte erfolgt im Rahmen der Liniennivellements bzw. der Anschlussmessungen für die GNSS-Punkte durch die Landesvermessungsbehörden.

Referenzsystem

Die Schwerewerte sind in dem auf das SI-System bezogene Schweresystem angegeben. Dieses wird durch Messungen mit Absolutgravimetern, die mit einem Laser als Längenmaßstab und einer Atomuhr als Zeitskala ausgestattet sind, realisiert. Dabei werden die Absolutgravimeter durch ihren Vergleich mit anderen AG in ihrem Schwereniveau kontrolliert. Dies kann zum einen auf gravimetrischen Referenzstationen (z. B. in Bad Homburg oder Wettzell), auf denen supraleitende Gravimeter registrieren und Zeitreihen von Messungen mit AG vorliegen, geschehen. Zum anderen erfolgt eine regelmäßige Teilnahme der AG des BKG an internationalen Vergleichen der AG in Luxemburg oder am BIPM (Bureau International des Poids et Mésures) in Paris-Sèvres.

Die Gültigkeit der im Rahmen der Erneuerung des DHHN gewonnenen Absolutschwerewerte wird in diesem Sinne durch regelmäßige Vergleichsmessungen auf der Referenzstation Bad Homburg sowie kontinuierliche Überwachung der Gerätestandards (Laserfrequenzen und Frequenz der Atomuhr) gegenüber Vergleichsstandards höherer Genauigkeit gewährleistet.

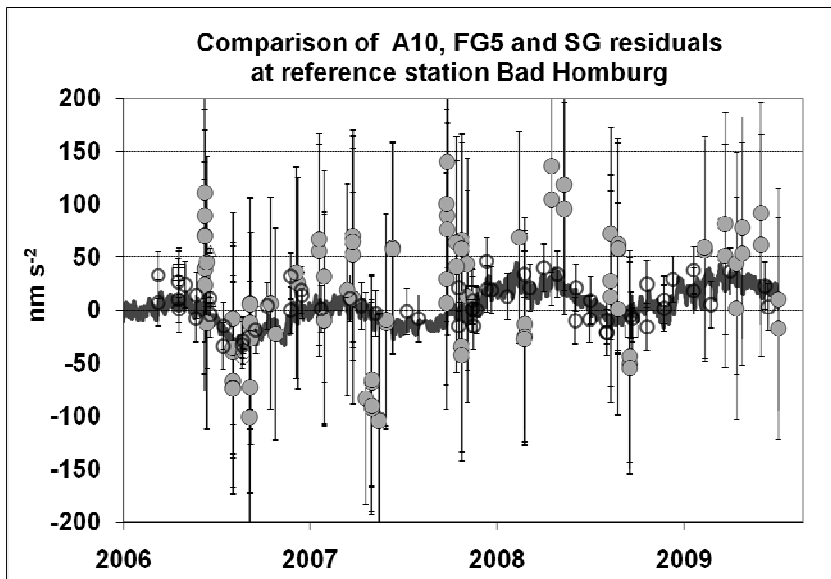


Abbildung oben: Messungen mit dem A-10#012 (graue Kreise) auf der Referenzstation Bad Homburg im Vergleich mit FG-5-Messungen (weiße Kreise) und der Residualzeitreihe (schwarze Linie) des supraleitenden Gravimeters (bezogen auf den mittleren Schwerewert $9.810.550.450 \text{ nm/s}^2$)

Anhand dieser Vergleiche wird das Niveau des A-10 gegenüber Messungen, die eine Größenordnung genauer sind, überwacht.

Korrekturen

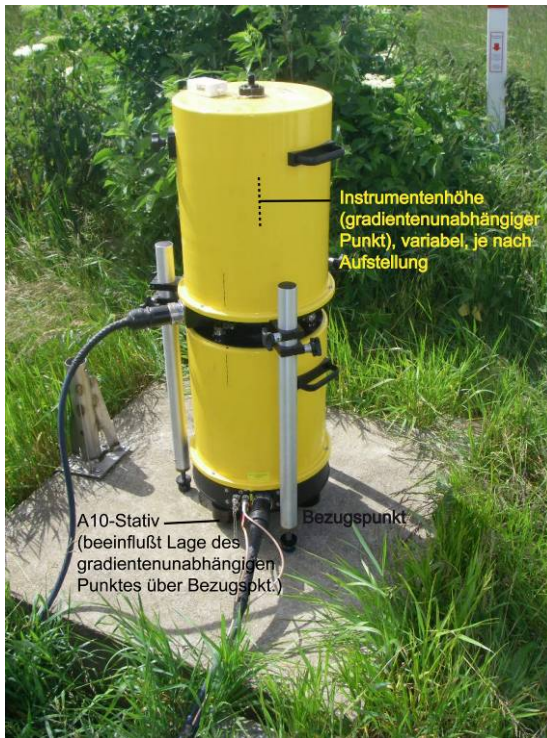
Entsprechend der derzeitigen wissenschaftlichen Praxis werden die Messungen mit folgenden Korrekturen versehen und damit auf ein zeitunabhängiges Referenzsystem bezogen:

Korrektur	maximaler Effekt	Fehler
<i>Gezeiten der festen Erde</i>	$\pm 1,5 \mu\text{m/s}^2$	$0,001 \times \text{Korrektur}$
<i>Ozeanauflast</i>	$\pm 0,3 \mu\text{m/s}^2$	$0,1 \times \text{Korrektur}$
<i>Polbewegung</i>	$\pm 0,1 \mu\text{m/s}^2$	$0,0005 \mu\text{m/s}^2$
<i>Luftdruck, bezogen auf Normaldruck in Höhe des Messpunktes</i>	$\pm 0,08 \mu\text{m/s}^2$	$0,01 \mu\text{m/s}^2$

Genauigkeit der A-10-Messung

Die höchste Genauigkeit weist der gemessene Absolutschwerewert in einem bestimmten Punkt auf dem Fallweg des Prismas in der Fallkammer auf, der als gradientenunabhängiger Punkt (auch: Instrumentenhöhe, sensitiver Punkt) bezeichnet wird und dessen Lage gegenüber dem Bezugspunkt der Messung durch die Aufstellung des A-10 definiert ist. Im Allgemeinen befindet sich dieser gradientenunabhängige Punkt ca. 70 cm über der Aufstellfläche des A-10-Gravimeters; verwendet man ein oder mehrere Stative als Unterbauten für das Instrument, kann sich der Abstand dieses Punktes zur Aufstellfläche bzw. dem Bezugspunkt nochmals um weitere 14 cm vergrößern. Der Schwerewert wird

in der Datenabgabe (Anlage 4) am gradientenunabhängigen Punkt (Instrumentenhöhe bzw. sensitiver Punkt) angegeben.



Die Genauigkeit des Absolutschwerewertes im gradientenunabhängigen Punkt beträgt ca. $0,09 \mu\text{m/s}^2$ und entspricht der Messgenauigkeit des A-10 unter der Voraussetzung der kontinuierlichen Überwachung der Instrumentenstandards, der regelmäßigen Kontrolle der Geräte auf der Referenzstation Bad Homburg sowie von zwei unabhängigen Aufstellungen während der Messung am Punkt.

Übertragung des Absolutschwerewertes auf den Bezugspunkt / Genauigkeitsbetrachtung



Zur Übertragung des am gradientenunabhängigen Punkt gemessenen Schwerewertes auf den Bezugspunkt muss der lokal gültige vertikale Schweregradient bekannt sein. Daher wird dieser an jedem Absolutschwerpunkt des DHHN-Projektes im Anschluss an die A-10-Messungen bestimmt. Durch Relativschweremessungen auf zwei Ebenen, die sich ca. 25 cm und ca. 90 cm über dem Bezugspunkt befinden (Sensorhöhe des Relativgravimeters CG-5 über dem Bezugspunkt), wird eine Schweredifferenz bestimmt, die anschließend mittels des Höhenunterschiedes der beiden Messebenen auf einen Meter normiert und als vertikaler Schweregradient angegeben wird. Der so bestimmte Gradient gilt streng genommen nur zwischen den beiden Aufstellungsebenen, daher wer-

den deren Höhen über dem Bezugspunkt gemeinsam mit dem Gradienten angegeben.

Der Fehler der Gradientenbestimmung wird vor allem durch den Fehler in der Messung der Schweredifferenz geprägt und über die zwischen beiden Aufstellungsebenen bestehende Höhendifferenz skaliert. (Fehlerfortpflanzungsgesetz angewendet auf $dg/dh = (g_O - g_U)/(h_O - h_U)$.)

Mit den mittleren Fehlern $m_{dg} = \pm 0,03 \mu\text{m/s}^2$ und $m_{dh} = \pm 1 \text{ mm}$ ergibt sich bei einem beobachteten Höhenunterschied von 0,5 m ein Fehler von $\pm 0,06 \mu\text{m/s}^2$ für den auf einen Meter skalierten Gradienten, der Beitrag durch den Höhenfehler ist vernachlässigbar gering.

Bei der Übertragung des Absolutschwerewertes vom gradientenunabhängigen Punkt auf den Bezugspunkt wird nach den Gesetzen der Fehlerfortpflanzung eine schlechtere Genauigkeit erhalten. Dabei spielen zwei Effekte eine Rolle:

1) Der auf einen Meter skalierte Fehler des vertikalen Schweregradienten geht mit zu etwa 70% seines Wertes (wegen der Reduktion um ca. 0,70 m) in die Genauigkeit des Absolutschwerewertes am Bezugspunkt ein.

2) Zusätzlich ist zu beachten, dass der gemessene Gradient, wie oben beschrieben, streng genommen nur für den Bereich zwischen ca. 25 cm und ca. 90 cm über dem Bezugspunkt gilt. Über den tatsächlichen Verlauf der Schwere zwischen dem Bezugspunkt und dem unteren Gültigkeitsbereich des vertikalen Gradienten ist demnach nichts bekannt. Mit immer größerer Annäherung an die Erdoberfläche ändert sich der Gradient und entspricht nicht mehr dem Wert, den man zwischen ca. 25 und 90 cm über dem Bezugspunkt bestimmt hat (Effekt der Nichtlinearität des vertikalen Schweregradienten). Im Bereich bis ca. 25 cm über dem Bezugspunkt werden deshalb die Messungsfehler aus der Gradientenmessung nicht mehr überwiegen, sondern von der Abweichung des wirklichen Gradienten zum Wert des gemessenen Gradienten überlagert. Man kann von einer Gradientenänderung von etwa $\pm 0,20 \mu\text{m/s}^2$ pro Meter in diesem Bereich als Maximalabschätzung ausgehen, damit wäre die Reduktion von ca. 25 cm bis 0 cm nochmals um $\pm 0,04 \mu\text{m/s}^2$ (systematisch, nicht zufällig) falsch.

Je nach Bestimmungsgenauigkeit des vertikalen Schweregradienten wird der Gesamtfehler des Absolutschwerewertes am Bezugspunkt also zwischen 0,10 bis $0,12 \mu\text{m/s}^2$ liegen.

Sonderfall: Unterirdische Vermarkung

Im Falle eines unterirdisch vermarkten Punktes kann sich dieser Fehler weiter verschlechtern, wenn die Relativmessung zur Gradientenbestimmung wie oben beschrieben in zwei Aufstellungsebenen über dem Bezugspunkt zwar möglich war, die Messung aber teilweise unterhalb der Geländeoberkante stattgefunden hat.

Besonders problematisch ist es, wenn die unterirdische Vermarkung als Bezugspunkt für direkte Absolut- oder Relativmessungen nicht zugänglich bzw. nicht geeignet ist, so dass man vertikal und/oder horizontal exzentrisch messen muss (beispielsweise auf der Abdeckung eines GGP). In einem solchen Fall vergrößert sich der Abstand für die Zentrierung vom gradientenunabhängigen Punkt aus ca. 70 cm Höhe über der Aufstellfläche des A-10 bis zum Bezugspunkt nochmals um die Höhendifferenz zwischen der Vermarkung und der A-10-Aufstellfläche, d. h. in Einzelfällen auf bis zu 2,5 m.

Eine Reduktion des (vom exzentrisch aufgestellten A-10) gemessenen Absolutschwerewertes bis auf Höhe der unterirdischen Vermarkung stellt sich als nicht sinnvoll dar. Eine Reduktion mit dem über der exzentrischen Aufstellfläche gemessenen vertikalen Schweregradienten von der Aufstellfläche bis zur Vermarkung entspricht dann deutlich nicht mehr dem Fehlerbudget der Absolutschweremessung. Eine Extrapolation des Schwereverlaufes zur unterirdischen Vermarkung mit dem oberhalb der Erdoberfläche gemessenem Gradienten kann eine Verfälschung des real dort vorliegenden Schwerewertes um bis zu $2,0 \mu\text{m/s}^2$ (bei einer angenommenen Vermarkung des Bezugspunktes von 2 m unter Erdoberfläche) bewirken.

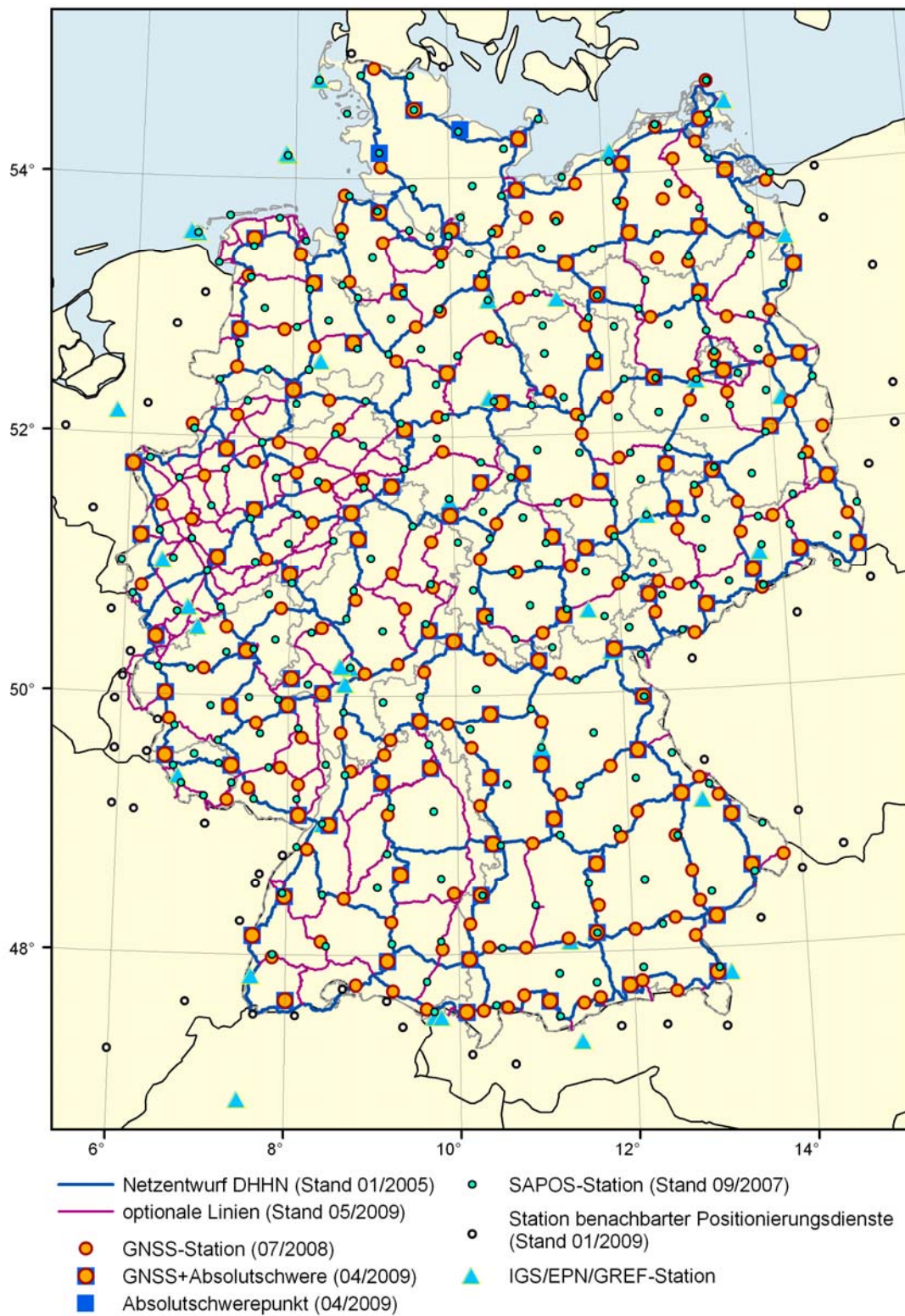


Da der reale Schwerewert für solche unterirdisch vermarkten Punkte nur durch Messungen erzielt werden kann, die mit den verwendeten Instrumenten nicht sinnvoll durchführbar sind, wird vorgeschlagen, den Schwerewert nur in Höhe des Exzentrums anzugeben oder das Fehlermaß entsprechend hochzusetzen. Im letzteren Fall sollten bei der Anwendung dieser Messergebnisse immer die Umgebungs- und Messungsbedingungen berücksichtigt werden – man sollte aber in keinem Fall den Absolutschwerewert durch Messungen mit Relativgravimetern am unterirdisch vermarkten Bezugspunkt abholen und erwarten, dass man so die höchste Übertragungsgenauigkeit erzielt. Dorthin ist der Schwerewert nur durch mit Hypothesen behafteten Korrekturen übertragen worden, eine direkte Messung wurde dort nicht ausgeführt!

7 Punktbeschreibung, Sicherung und Höhenbestimmung der Absolutschwerepunkte

Die Punktdokumentation erfolgt durch die Landesvermessungsbehörden. Für die Beschreibung, Sicherung und Höhenbestimmung der Absolutschwerepunkte gelten die Richtlinien der GNSS-Feldanweisung.

Netzentwurf des DHHN



Netzentwurf DHHN mit GNSS-Boden- und Referenzstationspunkten (IGS, EPN, GREF, SAPOS), Januar 2009

Vermarkung eines Absolutschwerpunktes (Beispiel Brandenburg)

Granitpfeiler 0,5 m · 0,5 m · 1,0 m

Sicherung der Messmarke durch Aluminiumdeckel (verschraubt)

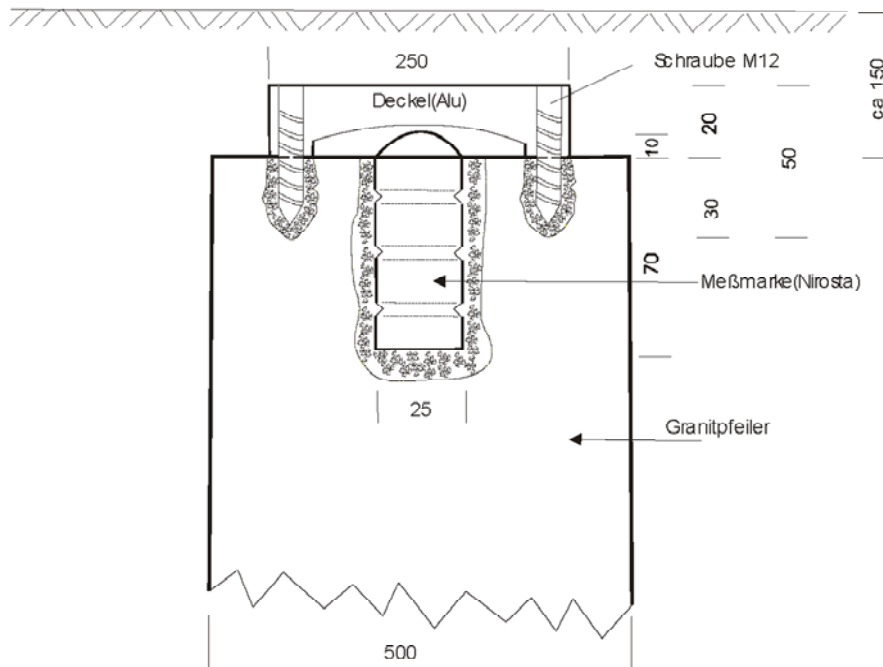


Abb. 1: Seitenansicht (Angaben in Millimeter ohne Maßstab)

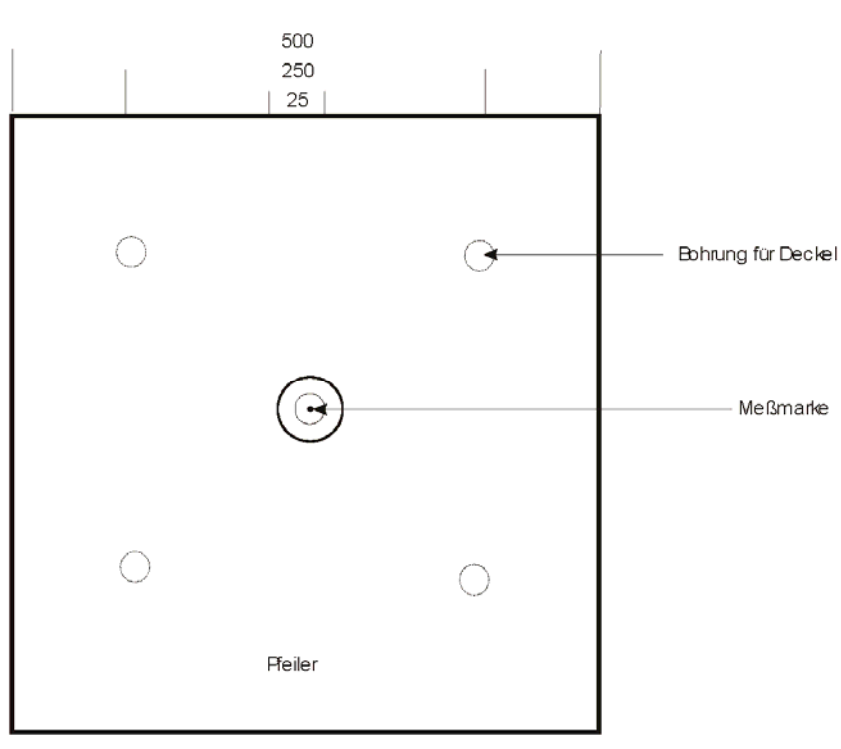


Abb. 2: Draufsicht ohne Deckel (Angaben in Millimeter ohne Maßstab)

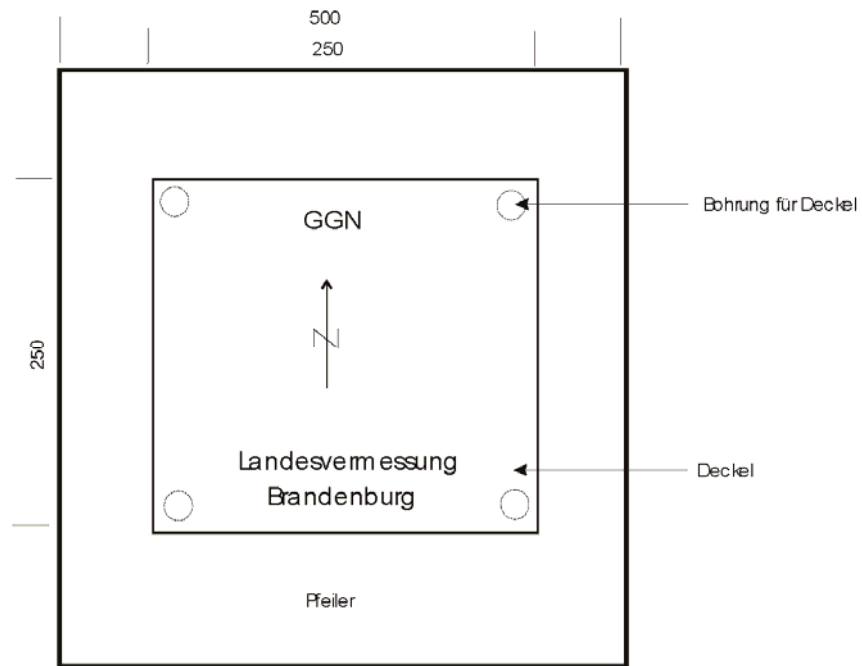


Abb. 3: Draufsicht mit Deckel (Angaben in Millimeter ohne Maßstab)



Abb. 4: Messmarke

Zusammenfassung der Kriterien für die Einrichtung der Absolutschwerpunkte

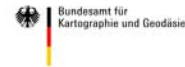
Kriterium	Anforderung
Punktlage	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Messpunkt muss mit dem Fahrzeug erreichbar sein. 2. Die Kabellänge zwischen Fahrzeug und Messinstrument beträgt max. 18 m. 3. Der Abstand zu stark befahrenen Straßen und Schienenwegen beträgt mindestens 200 m. 4. Bei der Standortauswahl sind Feuchtgebiete und Bergbaugebiete wegen zu erwartender Massen- und Höhenänderungen zu meiden. 5. Der unmittelbare Einfluss von Hochspannungsleitungen, Sendemasten oder Windenergieanlagen ist zu meiden. 6. Mindestens eine, besser mehrere Grundwassermessstellen sollen in der näheren Umgebung vorhanden sein. 7. Die Kriterien für die Punktfestlegung in der GNSS-Feldanweisung sind zu beachten.
Punktausgestaltung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ebenerdiger Pfeiler, Pfeilerdurchmesser 50 cm oder 50 cm x 50 cm nach Norden ausgerichtet, Pfeilerlänge 1 m; alternativ stabiles Fundament entsprechender Gründungstiefe 2. Abgerundeter Messbolzen aus Nirosta als Höhenbezug

Ansprechpartner im BKG: Dr. R. Falk, Dipl.-Ing. Jan Müller

E-Mail: reinhard.falk@bkg.bund.de, Tel: 069-6333-216, Fax: 069-6333-425

E-Mail: jan.mueller@bkg.bund.de, Tel: 069-6333-203, Fax: 069-6333-425

Datenabgabe-Protokoll Absolutschweremessung



Erstellt am 16.02.2010 durch Dipl.-Ing. Jan Müller

Seite 1/2

Allgemeine Punktinformationen	
Punktbezeichnung	13700 Cremlingen
Amtliche Punktnummer	3729013700
Bundesland	Niedersachsen
Länge (ETRS89)	10,6195823 ° (DHHN-GNSS-Vorauswertung)
Breite (ETRS89)	52,2599448 ° (DHHN-GNSS-Vorauswertung)
Ell. Höhe (ETRS89)	153,2967 m (DHHN-GNSS-Vorauswertung)
Normalhöhe (DHHN92)	110,311 m (Präzisionsnivelement)
Vermarkung (Bezugspunkt)	Pfeiler mit Bolzen

Messung	
Gemessen am	12.09.2009, 12:15 - 16:45 UTC
Gemessen von	Dipl.-Ing. Jan Müller, Daniel Georg
Instrumente	Absolutgravimeter A10 #012 Relativgravimeter Scintrex CG5 #40300044

Ergebnis der Absolutschweremessung	
Messung I (Nord)	9.812.442,46 $\mu\text{m}/\text{s}^2$ (80,7 cm über Bezugspunkt)
Messung II (Süd)	9.812.442,48 $\mu\text{m}/\text{s}^2$ (80,7 cm über Bezugspunkt)
Schwerewert am sensitiven Punkt:	9.812.442,47 \pm 0,09 $\mu\text{m}/\text{s}^2$ (80,7 cm über Bezugspunkt)

Ergebnis der Bestimmung des vertikalen Schweregradienten	
Gemessen/Gültig	von 28,0 cm bis 93,1 cm über Bezugspunkt
Vertikaler Schweregradient:	-3,093 \pm 0,06 $\mu\text{m}/\text{s}^2$ pro m

Endergebnis	
SCHWEREWERT AM BEZUGSPUNKT:	9.812.444,96 \pm 0,10 $\mu\text{m}/\text{s}^2$

Bemerkungen	
- Fotos von Pfeiler, Bezugspunkt, A10-Stativen (1), A10-Südmessung (2), A10-Nordmessung (3) und Relativmessung zur Gradientenbestimmung (4) auf Seite 2	

Datenabgabe-Protokoll Absolutschweremessung



Erstellt am 16.02.2010 durch Dipl.-Ing. Jan Müller

Seite 2/2

Punktbezeichnung	13700 Cremlingen
Amtliche Punktnummer	3729013700

