Richtlinie

für den

einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug

des amtlichen Vermessungswesens in der

Bundesrepublik Deutschland

(Rili-RB-AdV)

Version 4.0 – Stand 05.07.2024

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen 5

1 Allgemeine Grundlagen 7

1.1 Der geodätische Raumbezug 7
1.2 Geodätische Grundlagen – Bezugssysteme und ihre Realisierungen 9
1.3 Bestimmung der Festpunkte 13
1.4 Nachweis der Festpunkte 13
1.5 Erhaltung und Pflege der Festpunkte, Überwachung und Überprüfung 14
1.6 Zeitreihen 15

2 Geodätische Grundnetzpunkte 17

2.1 Definition 17
2.2 Netzaufbau 17
2.3 Vermarkung und Sicherung 17
2.4 Bestimmung 18
2.5 Genauigkeit 18
2.6 Überwachung und Überprüfung 19
2.7 Zeitreihen 20

3 Höhenfestpunkte 21

3.1 Definition 21
3.2 Netzaufbau 21
3.3 Vermarkung und Sicherung 21
3.4 Bestimmung 22
3.5 Genauigkeit 22
3.6 Überwachung und Überprüfung 23
3.7 Zeitreihen 23

4 Schwerefestpunkte 25

4.1 Definition 25
4.2 Netzaufbau 25
4.3 Vermarkung und Sicherung 25
4.4 Bestimmung 26
4.5 Genauigkeit 27
4.6 Überwachung und Überprüfung 28
4.7 Zeitreihen 28

5 Referenzstationspunkte 29
5.1 Definition 29
5.2 Netzaufbau 29
5.3 Vermarkung und Sicherung 29
5.4 Bestimmung 30
5.5 Genauigkeit 30
5.6 Überwachung und Überprüfung 31
5.7 Zeitreihen 31

6 Radar Passpunkte (RAPP) 33
6.1 Definition 33
6.2 Netzaufbau 33
6.3 Vermarkung und Sicherung 33
6.4 Bestimmung 34
6.5 Genauigkeit 34
6.6 Überwachung und Überprüfung 35
6.7 Zeitreihen 35

7. Höhenbezugsfläche / AdV-Quasigeoidmodell 36

Glossar 37

Anlagen

1 Beschluss 115/7 des Plenums der AdV
2 Relevante Beschlüsse des Plenums der AdV
3 EUREF Permanent Network (EPN)
4 GGP-Rahmennetz
5 DHHN2016 mit 72 Datumspunkten
6 DSGN2016
7 SA*POS*®-Referenzstationsnetz
8 Netz DREF-Online
9 Erläuterungen zum Referenzstationspunkt (RSP)
10 Übersicht Sentinel-1 Orbits

Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
AK Niv	ehem. Arbeitskreis „Präzisionsnivellement“ der AdV
ARP	Antennenreferenzpunkt
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
CIPM	Comité International des Poids et Mesures
DGK	Deutsche Geodätische Kommission
DHHN	Deutsches Haupthöhennetz
DHSN	Deutsches Hauptschwerenetz
DREF	Deutsches Referenznetz
DREF-Online	Zusammengesetztes Netz aus GREF-Stationen und ausgewählten SA*POS*®-Referenzstationen
DSGN	Deutsches Schweregrundnetz
EPN	EUREF Permanent Network
ESA	Europäische Weltraumorganisation
ETRF	European Terrestrial Reference Frame
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EU	Europäische Union
EUREF	European Reference Frame (Subkommission der IAG)
EVRF	European Vertical Reference Frame
EVRS	European Vertical Reference System
GCG	German Combined Quasigeoid
GGN	Geodätisches Grundnetz
GGP	Geodätischer Grundnetzpunkt
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GREF	Integriertes geodätisches Referenznetz des Bundes
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HFP	Höhenfestpunkt
HOETRA	Höhentransformationsmodell
IAG	International Association of Geodesy
IGS	International GNSS Service
ITGRS	International Terrestrial Gravity Reference System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
LNH	Landesnivellementhauptpunkt
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NHN	Normalhöhennull
RAPP	Radar Passpunkt
RSN	Referenzstationsnetz
RSP	Referenzstationspunkt
SA*POS*®	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SFP	Schwerefestpunkt
SNN	Staatliches Nivellementsnetz
UELN	Unified European Levelling Network
UF	Unterirdische Festlegung im Höhenfestpunktfeld
UTM	Universale Transversale Mercator-Abbildung
VSG	Vertikaler Schweregradient
WGS84	World Geodetic System 1984
zfv	Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement

Vorbemerkungen

Unsere Gesellschaft benötigt raumbezogene Informationen in vielfältiger und verlässlicher Weise. Diese Informationen müssen zum Zweck der universellen Anwendung mit einem eindeutigen Bezug zur Position auf der Erde ausgestattet sein. Um diese Forderung zu erfüllen, ist eine ganzheitliche Infrastruktur zur praxisgerechten Georeferenzierung nach Lage, Höhe und Schwere unter Berücksichtigung zeitlicher Veränderungen vorzuhalten. Erst durch den einheitlichen geodätischen Raumbezug wird der Aufbau einer Geodateninfrastruktur beim Bund, bei den Bundesländern und bei den Kommunen ermöglicht, die auch den Anforderungen des Geoinformationswesens der Europäischen Union (EU) gerecht wird. Er ist somit die Voraussetzung für die Zusammenführung, Analyse und Darstellung von georeferenzierten Daten verschiedener Fachdisziplinen.

Der einheitliche geodätische Raumbezug wird durch die an der Erdoberfläche dauerhaft vermarkten Festpunkte und durch den Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SA*POS*®) realisiert, gesichert und bereitgestellt. Die Basis dafür ist das bundeseinheitliche Festpunktfeld, welches als öffentliche Infrastruktur zu erhalten und zu pflegen ist. Die Festpunktdaten werden im Amtlichen Festpunktinformationssystem (AFIS) nachgewiesen.

Die SA*POS*®-Dienste ermöglichen auf wirtschaftliche Weise den Anschluss von Vermessungen an die amtliche Realisierung des Europäischen Terrestrischen Referenzsystems 1989 (ETRS89). Die in der Örtlichkeit vermarkten Festpunkte dienen insbesondere dort als Anschlusspunkte, wo die SA*POS*®-Dienste nicht verfügbar sind oder wo die Positionierungsergebnisse nicht die geforderte Genauigkeit liefern (zum Beispiel in der Höhenkomponente). Darüber hinaus bilden die Festpunkte eine unabhängige Referenz zur Überprüfung dieser Positionierungsergebnisse in der Örtlichkeit.

Aus den mit SA*POS*® erhaltenen räumlichen Positionen lassen sich mit Hilfe des AdV-Quasigeoides physikalisch definierte Höhen im amtlichen Bezugsrahmen ableiten. Das Quasigeoid stellt dabei das Bindeglied zwischen dem geometrisch definierten Bereich Lage/3D-Position und den schwerkraftorientierten physikalischen Komponenten Höhe/Schwere im ganzheitlich konzipierten „integrierten geodätischen Raumbezug“ dar.

Aufgrund geodynamischer Prozesse und anthropogener Ursachen ist die Erdoberfläche Veränderungen unterworfen. Die dauerhaft vermarkten Festpunkte nehmen dabei an Bewegungen der Erdoberfläche teil. Durch das hohe Genauigkeitspotential der modernen Vermessungsverfahren lassen sich diese Bewegungen auch großräumig zuverlässig nachweisen; die vermarkten Festpunkte fungieren insofern auch als Geosensoren. Zur Qualitätssicherung des amtlichen geodätischen Bezugsrahmens sind Überwachungs- und Erhaltungsmaßnahmen sowie Wiederholungsmessungen erforderlich. Dabei festgestellte Bewegungen in den Festpunkten können zum einen dazu führen, dass die amtliche Realisierung des geodätischen Raumbezuges aktualisiert werden muss. Zum anderen sind signifikante vertikale und horizontale Bewegungen der Erdoberfläche auch für Zwecke des Umweltmonitorings und weiterer Geowissenschaften zu erfassen und entsprechend zu dokumentieren. Die Darstellung erfolgt dabei über Zeitreihen für Lage-, Höhen- und Schwerewerte. Die Produkte des geodätischen Raumbezugs leisten insofern einen Beitrag zur Beantwortung gesellschaftlich relevanter Fragestellungen, wobei Informationen über instabile Bereiche der Erdoberfläche oder Vektoren zu vertikalen oder horizontalen Bodenbewegungen durch kartographische Visualisierungen veranschaulicht werden können, beispielsweise im Küstenbereich zur Quantifizierung der Meeresspiegeländerung.

Unter Verwendung der satellitengestützten Radarinterferometrie lassen sich Veränderungen der Erdoberfläche auch außerhalb der terrestrischen Festpunktfelder mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung erfassen. Die hypothesenfreie Verknüpfung zwischen dem amtlichen geodätischen Raumbezug und den Daten des Fernerkundungsverfahrens kann über Radar Passpunkte (RAPP) hergestellt werden. Sie sind in den Aufnahmen des Radarsatelliten eindeutig identifizierbar und lassen sich mit terrestrischen Messungen an die klassischen Festpunktfelder anschließen. Bewegungen der RAPP können also mithilfe unterschiedlicher Messverfahren erfasst werden, wodurch sich insbesondere die Möglichkeit zur Validierung der Radardaten verbessert.

Um eine einheitliche Vorgehensweise der Bundesländer bei der Ausgestaltung der zukünftigen Festpunktfelder sicherzustellen, wurde eine Strategie für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland beschlossen, welche die Anforderungen an ein modernes, einheitliches und qualitativ homogenes Festpunktfeld für die Lage, Höhe und Schwere formuliert (Beschluss 115/7 des Plenums der AdV am 6. und 7. Oktober 2004 in Wismar – Anlage 1). Dazu wurden die zuvor getrennt dokumentierten Empfehlungen zu den Lage-, Höhen- und Schwerefestpunktfeldern in einer gemeinsamen Richtlinie vom 26.01.2006 zusammengeführt. Mit Blick auf die Belange des integrierten geodätischen Raumbezugs wurde diese Richtlinie fachlich weiterentwickelt und ist nun in der vorliegenden Fassung für das bundeseinheitliche Festpunktfeld anzuwenden. Sie dient gleichzeitig als Rahmen zum Erlass von Ländervorschriften sowie ggf. von technischen Vorschriften der tangierten Bundesbehörden.

Historie der Rili-RB-AdV

Version 1.0	vom 26.01.2006
Version 2.0	vom 25.04.2014 (Redaktionsstand: 30.06.2014)
Version 3.0	vom 16.05.2017 (Redaktionsstand: 25.07.2017) am 27.06.2022: Einarbeitung von Änderungen wegen der geänderten Feldanweisung Präzisionsnivellement 4. Fassung
Version 4.0	am 30.03.2023: Einführung der neuen Festpunktart Radar Passpunkt am 15.05.2023 Redaktionelle Änderungen (RAPP) am 29.02.2024 Radaktionelle Änderungen (RSN-Monitoring) am 29.05.2024 Redaktionelle Änderungen (Reviewergebnisse) am 07.06.2024 Redaktionelle Änderungen (Aktualisierung Anlagen)

1 Allgemeine Grundlagen

1.1 Der geodätische Raumbezug

1.1.1 (1) Ein geodätisches Bezugs- oder Referenzsystem ist eine theoretische Konzeption, auf deren Grundlage die eindeutige Bestimmung der Positionen von Punkten im Raum (Georeferenzierung) möglich ist. Diese Konzeption beinhaltet alle Definitionen, Vereinbarungen, Parameter und Algorithmen, die zur Berechnung von Positionen notwendig sind. Darin eingeschlossen sind die Festlegungen zur Lagerung und Orientierung des Koordinatensystems (geodätisches Datum), die physikalischen Konstanten und Parameter sowie die Vorschriften und Algorithmen zur Berechnung von Korrektionen bzw. Reduktionen geodätischer Beobachtungsgrößen.

(2) Ein geodätischer Bezugsrahmen ist die Realisierung eines Bezugssystems durch die Zuordnung von Koordinaten, Höhen und Schwerewerten zu Festpunkten.

(3) Der einheitliche geodätische Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens umfasst die Komponenten 3D-Position (Lage und ellipsoidische Höhe), physikalische Höhe und Schwere. Er wird als amtlicher geodätischer Bezugsrahmen durch dauerhaft vermarkte Festpunkte realisiert und durch regelmäßige Überwachungs- und Überprüfungsmaßnahmen nachhaltig gesichert.

(4) Für die Festpunkte werden je nach Zweckbestimmung folgende geodätische Bezugsgrößen ermittelt:
- 3D-Koordinaten für die räumliche Position,
- 2D-Koordinaten für die Lage,
- physikalische Höhen (Normalhöhen) und ellipsoidische Höhen,
- Schwerewerte,
- geopotentielle Koten,
- vertikale Schweregradienten.

(5) Die geometrisch definierte 3D-Position und die damit verknüpften Komponenten „physikalische Höhe" sowie "Schwere“ bilden den integrierten geodätischen Raumbezug. Das AdV-Quasigeoidmodell stellt in dieser Konzeption das zentrale verbindende Element dar. Einrichtung, Ausgestaltung und Pflege der Festpunkte sind auf die Belange des integrierten geodätischen Raumbezugs auszurichten.

(6) Das bundeseinheitliche Festpunktfeld besteht aus
- den Geodätischen Grundnetzpunkten (GGP), die das Geodätische Grundnetz (GGN) bilden,
- den Höhenfestpunkten erster Ordnung (HFP 1.O.), die das Deutsche Haupthöhennetz (DHHN) bilden,
- den Schwerefestpunkten erster Ordnung (SFP 1.O.), die das Deutsche Hauptschwerenetz (DHSN) bilden und
- den Referenzstationspunkten (RSP), die das Referenzstationsnetz (RSN) bilden.

GGP können zugleich Bestandteil des DHHN, des DHSN und des RSN sein, sofern sie die jeweiligen Anforderungen an HFP 1.O., SFP 1.O. und RSP erfüllen.

(7) Als Datumspunkte werden langzeitstabile Repräsentanten des GGN, des DHHN und des RSN (nur bodenvermarkte Referenzstationen) festgelegt (siehe Anlagen 4 bis 7). Diesen werden amtliche Werte für die geodätischen Bezugsgrößen zugeordnet. Das Datum des DHSN wird durch die Punkte des Deutschen Schweregrundnetzes (DSGN) festgelegt. Die Datumspunkte bilden die Grundlage für die Realisierung und Sicherung des bundeseinheitlichen Festpunktfeldes und können zur Festlegung der Datumsparameter für künftige Aktualisierungen dienen.

(8) Das bundeseinheitliche Festpunktfeld ist als öffentliche Infrastruktur dauerhaft zu erhalten und zu pflegen (siehe Abschnitt 1.5). Zur Qualitätssicherung und Aktualisierung sind für die geodätischen Bezugsgrößen des integrierten geodätischen Raumbezugs epochengleiche Wiederholungsmessungen durchzuführen.

(9) Neben dem bundeseinheitlichen Festpunktfeld wird der amtliche geodätische Raumbezug länderspezifisch durch weitere nachgeordnete Festpunktfelder realisiert. Die dazu erforderlichen Regelungen obliegen den Ländern.

1.1.2 (1) Die Festpunktfelder bilden direkt oder indirekt die Grundlage u.a. für

- Liegenschaftsvermessungen,
- die topographische Landesaufnahme,
- sonstige Lage-, Höhen- und Schweremessungen,
- Satellitenpositionierungsdienste,
- Ingenieurvermessungen,
- die Georeferenzierung von Daten, die über Geodateninfrastrukturen bereitgestellt werden,
- Ortung und Navigation,
- die Analyse von vertikalen und horizontalen Erdkrustenbewegungen als Beitrag zum Geo- bzw. Umweltmonitoring,
- Deformationsanalysen,
- Belange des Katastrophenschutzes,
- die Erforschung der Figur der Erde, der Gestalt von Teilen der Erdoberfläche und des äußeren Erdschwerefeldes,
- die Hydrologie,
- die Geophysik,
- die Geodynamik.

Darüber hinaus liefern sie Ausgangsinformationen für geowissenschaftliche Untersuchungen und deren Anwendung in Technik, Wirtschaft und Verwaltung.

(2) Die Festpunkte dienen als Geosensoren zur Ermittlung, Analyse und Dokumentation der Stabilität bzw. großräumiger Veränderungen der Erdoberfläche über Zeitreihen (siehe Abschnitt 1.6).

1.1.3 Die Verbindung des bundeseinheitlichen Festpunktfeldes zu den europäischen und internationalen geodätischen Referenzrahmen wird durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) über identische Punkte sichergestellt. Die betreffenden Punkte werden vom BKG und den Ländern gemeinsam festgelegt.

1.1.4 Das bundeseinheitliche Festpunktfeld wird von den Ländern in Kooperation mit dem BKG eingerichtet und gepflegt.

1.2 Geodätische Grundlagen – Bezugssysteme und ihre Realisierungen

1.2.1 (1) Das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS89) ist ein dreidimensionales geozentrisches, erdfestes Bezugssystem. Es bildet die kontinentale Fixierung des Internationalen Terrestrischen Referenzsystems (ITRS) zur Epoche 01.01.1989. Als Referenzellipsoid wird das von der International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) 1979 empfohlene Geodätische Referenzsystem 1980 (GRS80) verwendet.

(2) Das Geodätische Datum des ETRS89 ist an die Lage des stabilen Teils der eurasischen Platte im International Terrestrial Reference Frame 1989 (ITRF89) gebunden. Die ursprüngliche europaweite Realisierung bestand aus den Koordinaten der ITRF-Stationen auf dieser Platte. Dieses Stationsnetz wurde 1989 und 1993 in der EUREF-GPS-Kampagne europaweit verdichtet.

(3) Die Subkommission EUREF der International Association of Geodesy (IAG) für Europa realisiert das ETRS89 derzeit über das EUREF Permanent Network (EPN) (Anlage 3). Als nationale Verdichtung des EPN betreibt das BKG das integrierte geodätische Referenznetz des Bundes (GREF, siehe Abschnitt 1.2.5). Einige GREF-Stationen sind zudem Bestandteil des Internationalen GNSS-Dienstes (IGS), der das ITRF kontinuierlich überwacht und maßgeblich zu dessen Aktualisierung beiträgt.

(4) Koordinaten im ETRS89 können als dreidimensionale kartesische Koordinaten (X, Y, Z), als ellipsoidische Koordinaten (Breite, Länge, ellipsoidische Höhe) und als UTM-Koordinaten (East, North) bereitgestellt werden.

(5) UTM-Koordinaten werden in der Bundesrepublik Deutschland in den Zonen 32 (Mittelmeridian 9° östlich Greenwich) oder 33 (Mittelmeridian 15° östlich Greenwich) angegeben.

(6) Die amtliche Realisierung des ETRS89 in Deutschland weist folgende Entwicklungsstufen auf:

a) ETRS89/DREF91 (Realisierung 1994)
Diese ursprüngliche (erste) Realisierung beruht auf den 1994 festgesetzten räumlichen Koordinaten der Punkte des Deutschen Referenznetzes 1991 (DREF91), welche mit Anschluss an die Punkte des EUREF-Netzes bestimmt wurden. Datumspunkte sind die damaligen EUREF-Punkte von 1989/1993 (siehe Abs. 2).[1]

b) ETRS89/DREF91 (Realisierung 2002)
Diese zweite Realisierung beruht auf der in DREF91 (Realisierung 1994) gelagerten Neuausgleichung des SA*POS*®-Referenzstationsnetzes mit Beobachtungsdaten der 1188. GPS-Woche (Oktober 2002).[2] Als Datumspunkte dieser nationalen Realisierung werden weiterhin die EUREF-Punkte von 1989/1993 betrachtet. Bei der Einführung dieser Realisierung wurden die Koordinaten länderspezifisch angepasst.

c) ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016)
Diese dritte Realisierung beruht auf der 2008 durchgeführten bundesweiten GNSS-Kampagne über 250 GGP, die im Sinne des integrierten geodätischen Raumbezugs unmittelbar mit HFP 1.O., SFP 1.O. und RSP verknüpft sind (GGP-Rahmennetz). Die dabei entstandenen hochgenauen 3D-Koordinaten (siehe Abschnitt 2.5 Abs. 1) wurden unter Minimierung der Lagerestklaffungen in das ETRS89/DREF91(Realisierung 2002) transformiert. Dabei entstand eine in der Lage erneut verbesserte amtliche Realisierung des ETRS89/DREF91. In der ellipsoidischen Höhe wurde eine bestmögliche Anpassung an den Europäischen Terrestrischen Referenzrahmen 2000 (ETRF2000) vorgenommen, um den Übergang zu den europäischen Nachbarländern zu verbessern. Dieser neue Bezugsrahmen wird mit ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016) bezeichnet. Er wurde zum 1. Dezember 2016 im Kontext mit den anderen Komponenten des integrierten geodätischen Raumbezugs bundesweit eingeführt. Alle 250 GGP des GGP-Rahmennetzes (siehe Anlage 4) sind 3D-Datumspunkte des ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016).

Die AdV veröffentlicht Transformationsparameter zwischen der amtlichen ETRS89/DREF91-Realisierung und der jeweiligen aktuellen europaweiten ETRS89-Realisierung der EUREF-Subkommission (siehe Abs. 3), insbesondere zur Verwendung beim Koordinatenmonitoring der RSP (siehe Abschnitt 5.6) sowie zur Verknüpfung mit den ETRS89-Realisierungen der europäischen Nachbarstaaten.

[1] Das Deutsche Referenznetz 1991 (DREF91) – zusammengestellt von Walter Lindstrot. Mitteilungen des BKG Band 9, Verlag des BKG Frankfurt am Main 1999
[2] Beckers et al. in zfv 4/2005 S. 203 ff.

1.2.2 (1) Das bundesweit einheitliche Höhenbezugssystem ist physikalisch definiert. Für die Höhenfestpunkte werden Normalhöhen nach der Theorie von Molodenski berechnet. Hierbei werden die physikalischen Parameter des GRS80 und Punktkoordinaten im ETRS89 verwendet. Die Höhenwerte beziehen sich auf ein Quasigeoid, das durch den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels (Normaal Amsterdams Peil – NAP) verläuft. Diese Höhenbezugsfläche der amtlichen Normalhöhenwerte wird auch als Normalhöhennull (NHN) bezeichnet.

(2) Das bundesweit einheitliche Höhenbezugssystem Deutschlands wird durch die Normalhöhen der HFP 1.O. im DHHN realisiert. Dieser Bezugsrahmen ist über identische Punkte mit der jeweils aktuellen Realisierung des europäischen Höhenreferenzrahmens (European Vertical Reference Systeme, EVRS) verknüpft.

(3) Bis zum 1. Dezember 2016 war das DHHN92 die amtliche Realisierung des bundesweit einheitlichen Höhenbezugssystem.[3] Die Ausgleichung erfolgte 1994 zwangsfrei in geopotentiellen Koten unter Einbeziehung einiger Nivellementlinien benachbarter Staaten. Höhenanschlusspunkt war der Knotenpunkt Kirche Wallenhorst mit der geopotentiellen Kote 926,816 m^2/s^2 des United European Levelling Network (UELN) aus der Ausgleichung von 1986. Das Datum des UELN bezieht sich auf den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels (NAP). Die Beobachtungen des DHHN92 stammen im Wesentlichen aus folgenden Messepochen:
a) 1974 – 1976 für das Staatliche Nivellementsnetz 1976 (SNN76) der ehemaligen DDR,
b) 1980 – 1985 für das Deutsche Haupthöhennetz 1985 (DHHN85) in Westdeutschland, und
c) 1990 bis 1992 für das Verbindungsnivellement zwischen beiden Netzen.

(4) Nach der Auswertung des Wiederholungsnivellements 2006 – 2012 im DHHN92 wurden die Ergebnisse zum 1. Dezember 2016 als neuer bundesweit einheitlicher amtlicher Höhenbezugsrahmen in Deutschland eingeführt. Dieser Rahmen trägt die Bezeichnung „Deutsches Haupthöhennetz 2016 (DHHN2016)“[4] und ist konsistent zu den anderen Komponenten des integrierten geodätischen Raumbezugs. Die Datumspunkte des DHHN2016 sind 72 ausgewählte HFP 1.O. des DHHN92, auf deren bisherigen Höhen im DHHN92 das DHHN2016 zwangsfrei vermittelnd gelagert wurde (siehe Anlage 5). Von diesen Datumspunkten sind 62 mit Punkten des GGP-Rahmennetzes identisch. Für den Übergang zwischen DHHN92 und DHHN2016 kann bundesweit das Höhentransformationsmodell HOETRA2016 bidirektional genutzt werden.

1.2.3 (1) Das DHSN2016 realisiert den internationalen Schwerestandard durch moderne Messmethoden und –geräte, Berücksichtigung höherer metrologischer Genauigkeit der Absolutgravimeter, Verknüpfung von Absolut- und Relativschweremes-

[3] DHHN92; beschrieben in: Deutsches Haupthöhennetz 1992 – Publikation der AdV (AK Niv), Bayerisches Landesvermessungsamt München 1995
[4] DHHN2016; beschrieben in

sung, Nutzung aktueller und einheitlicher Korrekturmodelle sowie der messtechnisch bestimmten vertikalen Schweregradienten zur Reduktion des gemessenen Schwerewertes auf den Schwerebezugspunkt.

(2) Das bundesweit einheitliche Schwerebezugssystem wird durch die Schwerewerte der Schwerefestpunkte 1. Ordnung im DHSN realisiert. Das DHSN2016 besteht aus ausgewählten SFP 1.O. des früheren DHSN96, aus ausgewählten GGP sowie neu festgelegten SFP 1.O., die die besonderen Anforderungen gemäß Abschnitt 4 erfüllen.

(3) Das DSGN2016 bildet den übergeordneten Bezugsrahmen für das DHSN2016. Die Festpunkte des DSGN2016 (siehe Anlage 6) sind die Datumspunkte des DHSN2016 (siehe Abschnitt 1.1.1 Abs. 7) und legen mit ihren Schwerewerten Niveau und Maßstab des DHSN2016 fest.

(4) Das DSGN2016 besteht aus den Stationen des früheren Deutschen Schweregrundnetzes 1994 (DSGN94)[5] und aus Schwerefestpunkten ausgewählter Stationen des integrierten geodätischen Referenznetzes (GREF) des Bundes (siehe Abschnitt 1.2.5). Die im DSGN2016 verwendeten Absolutgravimeter repräsentieren mit ihren Messungen die Realisierung des internationalen Schwerebezugssystems und somit den internationalen Schwerestandard mit hoher Genauigkeit. Dies wird über entsprechende Vergleichsmessungen unter Anleitung des Internationalen Komitees für Maße und Gewichte (CIPM) gewährleistet. Das Schwereniveau und der Schweremaßstab des DSGN2016 stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit mit dem früheren DSGN94 überein.

1.2.4 (1) In den GGP (siehe Abschnitt 2) wird das ETRS89/DREF91 (siehe Abschnitt 1.2.1) mit dem DHHN (siehe Abschnitt 1.2.2) und dem DHSN (siehe Abschnitt 1.2.3) unmittelbar verknüpft. Damit bilden die GGP die maßgebliche Grundlage für die Realisierung des integrierten geodätischen Raumbezugs einschließlich des AdV-Quasigeoidmodells.

(2) Zur Überführung der ellipsoidischen Höhen im ETRS89 in physikalische Höhen im DHHN (Normalhöhen über NHN) wird das AdV-Quasigeoidmodell in der zu dem entsprechenden Bezugsrahmen korrespondierenden Version verwendet.

1.2.5 (1) Das integrierte geodätische Referenznetz des Bundes (GREF) realisiert die Lage-, Höhen- und Schwerereferenzsysteme der Bundesrepublik Deutschland weitmaschig in besonders ausgestalteten Festpunkten (GREF-Stationen).

(2) Die GREF-Stationen bilden gemeinsam mit ausgewählten SA*POS*®-Referenzstationen der Länder das Netz DREF-Online (siehe Anlage 8), welches die amtliche Realisierung des ETRS89 über identische Stationen mit dem europäischen EPN und dem internationalen geodätischen Referenznetz des IGS verknüpft (siehe Abschnitt 1.2.1 Abs. 3).

[5] Torge et al. in DGK – Reihe B – Heft Nr. 309, München 1999

1.3 Bestimmung der Festpunkte

(1) Die Festpunkte sind vor ihrer erstmaligen geodätischen Bestimmung dauerhaft zu vermarken und ggf. durch exzentrische Festlegungen zu sichern. Die Vermarkung soll mit der Erdoberfläche so verbunden sein, dass sie diese gleichsam als Geosensor repräsentiert, über den etwaige Bewegungen aus Wiederholungsmessungen abgeleitet werden können.

(2) Die zur Bestimmung der geodätischen Bezugsgrößen der Festpunkte verwendeten Verfahren und Instrumente müssen gewährleisten, dass die erhaltenen Messergebnisse eine hinreichende Genauigkeit und Zuverlässigkeit aufweisen.

(3) Sowohl die eingesetzten Messverfahren als auch die zur Bestimmung der geodätischen Bezugsgrößen (siehe Abschnitt 1.1.1 Abs. 4) eingesetzten Rechenprogramme sollen dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Die in dieser Richtlinie vereinbarten Genauigkeitsanforderungen für die geodätischen Bezugsgrößen werden grundsätzlich als Standardabweichung (1 Sigma) festgelegt.

1.4 Nachweis der Festpunkte

(1) Der Nachweis der Festpunkte mit ihren geodätischen Bezugsgrößen erfolgt durch die Länder im Amtlichen Festpunktinformationssystem (AFIS).

(2) Der amtliche Nachweis eines Festpunktes wird von dem Bundesland geführt, welches für seine Bearbeitung zuständig ist. Der amtliche Nachweis der Punkte des GREF und des DSGN wird beim BKG geführt. Die Länder können Punkte des GREF als GGP oder RSP sowie Punkte des DSGN als SFP für interne Zwecke in ihre Nachweise übernehmen.

(3) Die Koordinaten und Höhen der Festpunkte sind grundsätzlich in Meter mit mindestens drei Nachkommastellen, die Schwerewerte auf 10^{-8} m × s^{-2} (1 □Gal) nachzuweisen. Ellipsoidische Lagekoordinaten, geopotentielle Koten und Schweregradienten sind mit dazu korrespondierender Anzahl an Nachkommastellen darzustellen.

(4) Neben den amtlichen Werten der geodätischen Bezugsgrößen können im Festpunktnachweis auch technische Koordinaten, Höhen und Schwerewerte geführt werden, z.B. für Zeitreihen (siehe Abschnitt 1.6 Abs. 4)

(5) Für das bundeseinheitliche Festpunktfeld sollen in AFIS auch die historischen Versionen (z.B. zur Ableitung von Zeitreihen) sowie die untergegangenen Punktobjekte nachgewiesen werden.

1.5 Erhaltung und Pflege der Festpunkte, Überwachung und Überprüfung

(1) Die Punkte des bundeseinheitlichen Festpunktfeldes sind zur Qualitätssicherung des geodätischen Raumbezugs grundsätzlich örtlich zu erhalten. Sie werden dazu überwacht sowie lokal, regional oder bundesweit überprüft. Diese Arbeiten sind zu dokumentieren.

(2) Die Überwachung der Festpunkte umfasst die Sichtkontrolle der Punktvermarkung und die Aktualisierung relevanter Punktinformationen.

(3) Die lokale Überprüfung umfasst die messtechnische Kontrolle der geodätischen Bezugsgrößen eines Festpunktes in Bezug auf seine Sicherungspunkte (sofern vorhanden) und im Bedarfsfall Kontrollmessungen zu benachbarten Festpunkten mit mindestens derselben Wertigkeit.

(4) Zur großräumigen Überprüfung des einheitlichen geodätischen Raumbezugs und zur Ableitung von möglichen Bewegungen der Erdoberfläche sind regionale und bundesweite Wiederholungsmessungen durchzuführen. Regionale Wiederholungsmessungen sollen in Abstimmung der betroffenen Länder erfolgen. Bundesweite Wiederholungsmessungen werden durch die AdV beschlossen und koordiniert.

(5) Für Wiederholungsmessungen gelten mindestens dieselben Qualitätsstandards wie für die erstmalige Bestimmung von Festpunkten (siehe Abschnitt 1.3). Die erforderlichen Arbeiten sind den technisch-wissenschaftlichen Weiterentwicklungen der Mess- und Auswerteverfahren anzupassen.

(6) Die Zyklen für regionale Überprüfungen sind so festzulegen, dass für den betrachteten Bereich die Stabilität bzw. relative Veränderungen der Erdoberfläche in horizontaler und vertikaler Richtung sowie bezüglich der Schwere signifikant nachgewiesen werden können. Abhängig vom jeweiligen Maß der regionalen Veränderungen können die Zyklen zeitlich variieren.

(7) Bundesweite Überprüfungen sollen durch epochengleiche Wiederholungsmessungen der geodätischen Bezugsgrößen (siehe Abschnitt 1.1.1 Abs. 4) im bundeseinheitlichen Festpunktfeld (siehe Abschnitt 1.1.1 Abs. 6) erfolgen. Die AdV prüft die Notwendigkeit bundesweiter Wiederholungsmessungen des DHHN und des DHSN jeweils im Zusammenhang mit der Wiederholungsmessung des GGP-Rahmennetzes (siehe Abschnitt 2.6.4). Ergibt sich aus den Wiederholungsmessungen der Bedarf an einer neuen Realisierung des jeweiligen bisherigen Bezugsrahmens, soll dieser bundesweit einheitlich und zeitgleich eingeführt werden.

(8) Die Überprüfung der Koordinaten der Referenzstationspunkte (RSP) erfolgt im Zusammenhang mit dem Regelbetrieb des SA*POS*® länderweise und für die RSP des DREF-Online-Netzes (siehe Abschnitt 1.2.5 Abs. 2) durch ein permanentes Koordinatenmonitoring des Referenzstationsnetzes (RSN-Monitoring siehe Abschnitt 5.6).

(9) Erweisen sich bei der Überwachung bzw. Überprüfung nach Abs. 1 bis 8 einzelne Festpunkte als örtlich instabil, d.h. als nicht repräsentativ für das Verhalten der umgebenden Erdoberfläche (z.B. locker sitzende Vermarkung oder Vermarkungsträger), sind sie im Bedarfsfall durch besser geeignete Punkte in stabiler Umgebung zu ersetzen.

(10) Gefährdete Festpunkte sollen verlegt, zerstörte Festpunkte ersetzt werden.

1.6 Zeitreihen

(1) Zur Qualitätssicherung des geodätischen Bezugsrahmens werden die Resultate aus der Überprüfung des bundeseinheitlichen Festpunktfeldes in Zeitreihen nachgewiesen. Daraus können Aussagen zur Stabilität der Erdoberfläche und zu möglichen Bodenbewegungen abgeleitet werden. Die Zeitreihen bilden die Grundlage für weitere interdisziplinär angelegte Untersuchungen und Analysen zu geowissenschaftlichen Fragestellungen.

(2) Eine Zeitreihe beinhaltet die aus der Erstbestimmung (Nullmessung) sowie die aus Wiederholungsmessungen ermittelten geodätischen Bezugsgrößen eines Festpunktes, die im amtlichen geodätischen Bezugsrahmen oder in einem anderen vereinbarten Bezugsrahmen dargestellt werden.

(3) Die in Zeitreihen geführten geodätischen Bezugsgrößen werden im Amtlichen Festpunktinformationssystem AFIS durch einen besonderen Status als „technische Koordinaten“ gekennzeichnet.

(4) Aus Zeitreihenanalysen sollen für die betreffenden Festpunkte vertikale und horizontale Bodenbewegungen sowie langperiodische Schwerevariationen abgeleitet werden. Daraus lassen sich Darstellungen von Gebieten mit Bodenbewegungen generieren. Des Weiteren können auch Bewegungsvektoren und Geschwindigkeiten abgeleitet und dargestellt werden. Die Ergebnisse sind fachlich interessierten Stellen zugänglich zu machen und bei Bedarf zu veröffentlichen.

(5) Die Realisierungen 2016 des ETRS89/DREF91, des DHHN und des DHSN bilden die Nullmessung des integrierten geodätischen Raumbezugs. Sie sind die Referenz für die Darstellung von zeitlichen Veränderungen aufgrund von künftigen Wiederholungsmessungen. Vorhandene Zeitreihen, denen andere geodätische Bezugsrahmen zugrunde liegen, können bei Bedarf in diese neuen Realisierungen 2016 umgerechnet werden.

(6) In den Zeitreihen sind die Ergebnisse aller Wiederholungsmessungen mit der jeweiligen Messepoche, den erreichten Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsangaben sowie weiteren Metadaten (z.B. Informationen zur Bodenstabilität) zu dokumentieren. Dies gilt auch, wenn keine Veränderungen festgestellt worden sind.

(7) Die Messdaten der Wiederholungsmessungen sollen in der Weise gespeichert werden, dass sie für künftige Auswertungen, Reprozessierungen und Zeitreihenanalysen weiterverwendet werden können.

2 Geodätische Grundnetzpunkte

2.1 Definition

(1) Die Geodätischen Grundnetzpunkte (GGP) dienen der physischen Realisierung und Sicherung des ETRS89 in Deutschland (vgl. Abschnitt 1.2.1 Abs. 6 Buchstabe c) sowie dessen Verknüpfung mit dem Höhen- und Schwerebezugsrahmen. Sie realisieren damit bundesweit einheitlich den amtlichen integrierten geodätischen Raumbezug (siehe Abschnitt 1.2.4 Abs. 1). Sind die jeweiligen Anforderungen der Kapitel 3 bis 5 erfüllt, können GGP zugleich das DHHN2016 und das DHSN2016 physisch realisieren oder Punkte im lokalen Sicherungsnetz eines RSP sein.

(2) GGP können folgende besondere Funktionen aufweisen:
   a) Punkt des GGP-Rahmennetzes (siehe Abschnitt 2.2 Abs. 1 Buchstabe a),
   b) Lagerungspunkt für das bundeseinheitliche Quasigeoidmodell,
   c) Datumspunkt für das DHHN2016,
   d) Datumspunkt des amtlichen geodätischen Raumbezugs.

(3) Ein GGP kann mehrere der in Abs. 2 genannten Funktionen gleichzeitig besitzen. Die Funktion „Datumspunkt“ ist den Punkten des GGP-Rahmennetzes vorbehalten; sie kann mehrere Komponenten des integrierten geodätischen Raumbezugs umfassen, wenigstens die 3D-Position.

2.2 Netzaufbau

(1) Das Geodätischen Grundnetz (GGN) gliedert sich in
   a) das GGP-Rahmennetz, welches erstmals in der GNSS-Kampagne 2008 der AdV bestimmt wurde (siehe Anlage 4), sowie
   b) weitere GGP, die in dieses Rahmennetz eingefügt werden.

(2) Die bodenvermarkten Referenzstationspunkte des GREF (siehe Abschnitt 1.2.5) und des SA*POS*® können Bestandteil des GGN sein, sofern sie die Anforderungen der Abschnitte 2.3 bis 2.5 erfüllen.

(3) Die Punktabstände im GGN sollen 30 km nicht überschreiten.

2.3 Vermarkung und Sicherung

(1) Die GGP sollen an Standorten festgelegt werden, deren Untergrund lokal eine hohe Lage- und Höhenstabilität aufweist. Für die Standortauswahl wird die Hinzuziehung von bodenkundlichen und geologischen Gutachten empfohlen. Es sind solche Standorte anzustreben, an denen die Anforderungen für die hochpräzise Bestimmung und langfristige Realisierung der räumlichen Position, der physikalischen Höhe (siehe Abschnitt 3.3) und der Schwere (siehe Abschnitt 4.3) gleichermaßen gegeben sind.

(2) GGP sind am Erdboden mittels dauerhafter, positionsstabiler 3D-Vermarkungen festzulegen. Sie sind jeweils durch mindestens zwei exzentrische Punkte in unmittelbarer Nähe (< 100 m) nach Lage und Höhe zu sichern. Die relative Lage eines Sicherungspunktes zum GGP-Zentrum ist mit einer Standardabweichung ≤ 2 mm, die relative Höhe mit einer Standardabweichung ≤ 0,5 mm zu bestimmen. Die Vermarkung ist vor äußeren, mechanischen Einflüssen zu schützen.

(3) Unterirdische Festlegungen (UF) des Höhennetzes können bei der Einrichtung von GGP als zusätzliche Sicherungspunkte integriert werden.

2.4 Bestimmung

(1) Die 3D-Positionen der GGP im ETRS89 sind mit GNSS-gestützten Positionierungsverfahren im Anschluss an das GGP-Rahmennetz und im Verbund mit den umliegenden Referenzstationspunkten (RSP) zu bestimmen. Die Messungen sollen nach den Grundsätzen der AdV-Feldanweisung zur GNSS-Kampagne 2008[6] durchgeführt werden.

(2) Die 3D-Position ist von mindestens zwei benachbarten Punkten des GGP-Rahmennetzes abzuleiten (siehe Abschnitt 2.2 Abs. 1 Buchstabe a).

(3) Die physikalischen Höhen der GGP sollen mit Anschluss an die HFP 1.O. bestimmt werden.

(4) Die Schwerewerte der GGP sind entweder durch absolute Schweremessungen oder durch Messung von Schwereunterschieden zu SFP 1.O. zu bestimmen.

(5) GGP, die Bestandteil des lokalen Sicherungsnetzes eines RSP sind, sind mit dem RSP durch geeignete Messverfahren zu verknüpfen. Dabei ist die in Abschnitt 2.3 Abs. 2 geforderte Genauigkeit einzuhalten. Befindet sich der RSP an oder auf einem Gebäude, ist für die relative Höhe zwischen GGP und RSP abweichend von Abschnitt 2.3 Abs. 2 eine Standardabweichung < 2 mm ausreichend (siehe Abschnitt 5.3 Abs. 3).

2.5 Genauigkeit

(1) Die Punkte des GGP-Rahmennetzes wurden in der Nullmessung im Jahr 2008 mit folgenden Standardabweichungen bestimmt:
- Lage: 1 mm
- ellipsoidische Höhe: 2 mm

Diese Werte sollen auch bei künftigen bundesweiten Wiederholungsmessungen (siehe Abschnitt 2.6 Abs. 4) nicht überschritten werden.

[6] Feldanweisung für GNSS-Messungen zur Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes 1992 (DHHN92) – Stand 14.06.2006

(2) Bei der Bestimmung der 3D-Position der GGP im ETRS89 sollen folgende Standardabweichungen bezüglich des Rahmennetzes nicht überschritten werden:
- Lage: 5 mm
- ellipsoidische Höhe: 8 mm

(3) Für die Bestimmung der physikalischen Höhen der GGP gelten die Anforderungen nach Abschnitt 3.5.

(4) Die Standardabweichung des Schwerewertes soll 12×10^{-8} m × s^{-2} (12 □Gal) nicht überschreiten. Damit kann der GGP – sofern die besonderen Anforderungen nach Abschnitt 4.3 erfüllt sind – auch das DHSN2016 physisch realisieren.

(5) Die amtlichen Werte der geodätischen Bezugsgrößen der GGP sollen spätestens geändert werden, wenn der jeweilige Änderungsbetrag gegenüber dem amtlichen Nachweis folgende Abweichungen überschreitet:
- Lage: 10 mm
- ellipsoidische Höhe: 15 mm
- physikalische Höhe: 3 mm
- Schwerewert: 25×10^{-8} m × s^{-2} (25 □Gal)

Unabhängig davon können auch kleinere Änderungen übernommen werden, wenn eine tatsächliche Veränderung der Lage, der Höhe oder der Schwere nachgewiesen wurde. Ebenso können Punkte des GGP-Rahmennetzes bereits bei geringeren Änderungsbeträgen aktualisiert werden. Die Dokumentation der Ergebnisse in Zeitreihen (Abschnitt 2.7) bleibt unberührt.

2.6 Überwachung und Überprüfung

(1) Die Überwachung soll insbesondere bei den Punkten des GGP-Rahmennetzes (siehe Abschnitt 2.2 Abs. 2 Buchstabe a) alle drei Jahre erfolgen.

(2) Die Überprüfung eines GGP bezüglich seines lokalen Sicherungsnetzes nach Lage und Höhe soll insbesondere bei den Punkten des Rahmennetzes (siehe Abschnitt 2.2 Abs. 2 Buchstabe a) spätestens alle sechs Jahre erfolgen. Ergeben sich dabei signifikante Abweichungen (d.h. mehr als die zweifache Standardabweichung) zum bestehenden Nachweis, sind die Ursachen zu klären. Erforderlichenfalls ist eine Überprüfung bezüglich der benachbarten GGP vorzunehmen.

(3) Regionale Wiederholungsmessungen sind bedarfsorientiert mit Anschluss an das GGP-Rahmennetz und ggf. an das Höhen- und Schwerenetz durchzuführen. Ergeben sich dabei Zweifel an der Stabilität einzelner Punkte des GGP-Rahmennetzes, ist die regionale Wiederholungsmessung bis an die nächsten Datumspunkte auszuweiten. Die Ergebnisse der regionalen Wiederholungsmessungen, die das GGP-Rahmennetz betreffen, sind dem AK Raumbezug zu berichten.

(4) Eine bundesweite GNSS-Wiederholungsmessung für das GGP-Rahmennetz ist erstmals nach dem vollständigen Aufbau des europäischen Satellitensystems Galileo vorzunehmen (spätestens jedoch im Jahr 2020) und danach in einem Rhythmus von 12 Jahren erneut durchzuführen (siehe auch Abschnitt 5.6 Abs. 5). Neben den obligatorischen Arbeiten nach Abs. 2 sind dabei auch Überschlagsnivellements zum DHHN durchzuführen.

2.7 Zeitreihen

(1) Für die Punkte des GGP-Rahmennetzes werden die 3D-Koordinaten im ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016), die physikalischen Höhen im DHHN2016 und die Schwerewerte im DHSN2016 als amtliche Werte eingeführt. Dieser Satz geodätischer Bezugsgrößen dient gleichzeitig als Nullmessung des integrierten geodätischen Raumbezugs und somit als Referenz für die Darstellung von zeitlichen Veränderungen im GGN.

(2) Regionale Wiederholungsmessungen von GGP mittels GNSS-gestützten Positionierungsverfahren sind nach den Grundsätzen des Abschnittes 2.4 durchzuführen. Als vorläufige Ergebnisse entstehen kartesische 3D-Koordinatensätze in einer Realisierung des ITRS zur jeweiligen mittleren Messepoche. Vor der Übernahme der kartesischen 3D-Koordinaten in die Zeitreihen müssen diese vorläufigen Ergebnisse nach ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016) transformiert werden.

(3) Die Zeitreihen der GGP sind für folgende geodätische Bezugsgrößen zu führen:
- 3D-Position, zusätzlich getrennt dargestellt nach
  - Lage und
  - ellipsoidischer Höhe,
- physikalische Höhe und
- Schwere.

Die geodätischen Bezugsgrößen sind mit Messdatum, Standardabweichung und ggf. weiteren Metadaten zu dokumentieren.

(4) Zur Qualitätssicherung des amtlichen geodätischen Bezugsrahmens sind aus den Zeitreihen der GGP Stabilitätsanalysen vorzunehmen. Überprüfungs- und Wiederholungsmessungen gemäß Abschnitt 1.5 haben in zeitlichen Abständen zu erfolgen, die den ermittelten Bewegungsraten angepasst sind.

(5) Die Zeitreihen für das GGP-Rahmennetz, die insbesondere aufgrund der bundesweiten Wiederholungsmessungen (siehe Abschnitt 2.6 Abs. 4) entstehen, werden vom AK Raumbezug der AdV nach einheitlichen Regelungen aufgebaut und geführt. Werden GGP des Rahmennetzes als nicht hinreichend stabil identifiziert, verlieren sie ihre Funktion als Rahmennetzpunkt und als Datumspunkt (Abschnitt 2.1 Abs. 2. Buchstaben a und d).

3 Höhenfestpunkte

3.1 Definition

Die Höhenfestpunkte 1. Ordnung (HFP 1.O.) dienen der physischen Realisierung und Sicherung des bundesweit einheitlichen Höhenbezugssystems. Sie stellen als DHHN den amtlichen Höhenbezugsrahmen gemäß Abschnitt 1.2.2 Abs. 4 dar.

3.2 Netzaufbau

(1) Das DHHN2016 besteht aus den Linien des Wiederholungsnivellements 2006 – bis 2012 sowie aus weiteren Nivellementlinien 1. Ordnung.

(2) Das DHHN ist mit dem Geodätischen Grundnetz (GGN) gemäß Abschnitt 2.4 Abs. 3 verknüpft. Mit dem GGP-Rahmennetz (siehe Anlage 4) sowie mit anderen GGP bestehen darüber hinaus Punktidentitäten (siehe Abschnitt 2.1 Abs. 1). Diese GGP realisieren das DHHN2016 ebenfalls physisch.

(3) Die Schleifendurchmesser im DHHN betragen 30 – 80 km. Der Schleifenumfang sollte dabei 300 km nicht überschreiten.

(4) Der Abstand zwischen den HFP 1.O. in einer Nivellementlinie soll in Ortslagen höchstens 500 m und außerhalb von Ortslagen höchstens 1500 m betragen. In jeder Ortslage entlang einer Nivellementlinie 1. Ordnung soll mindestens ein HFP 1.O. festgelegt werden.

3.3 Vermarkung und Sicherung

(1) Die HFP 1.O. sind an standfesten Bauwerken, in Fels oder anderen geeigneten Punktträgern höhenstabil zu vermarken. Die Höhe bezieht sich grundsätzlich auf die höchste Stelle der Vermessungsmarke.

(2) Die Nivellementlinien 1. Ordnung sollen über besonders höhenstabile Gebiete geführt werden.

(3) Alte Linienverläufe sollen bei Wiederholungsmessungen möglichst beibehalten werden, um etwaige Höhenänderungen bzw. vertikale Bodenbewegungen nachvollziehen zu können.

(4) Das DHHN ist durch Unterirdische Festlegungen (UF), die als Einzelpunkte oder als Punktgruppen ausgeprägt sein können, zu sichern. Hierzu gehören auch die Landesnivellementhauptpunkte (LNH). Die Abstände zwischen den UF sollen 100 km nicht überschreiten. In geeigneten Fällen sollen UF oder Knotenpunkte als GGP (siehe Abschnitt 2) ausgestaltet werden.

3.4 Bestimmung

(1) Die physikalischen Höhen der HFP 1.O. werden grundsätzlich durch Präzisionsnivellement gemäß Feldanweisung für Präzisionsnivellements im DHHN in der jeweils geltenden Fassung bestimmt.

(2) Werden andere Messverfahren (z.B. Trigonometrisches Nivellement, GNSS-Nivellement, Tal- und Stromübergangsmessungen mit Sonderausrüstung oder Schlauchwaage) angewandt, gelten bezüglich der Genauigkeitsanforderungen die Vorgaben nach Abschnitt 3.5 entsprechend.

(3) Die Lagekoordinaten der HFP 1.O. sind im ETRS89 auf mindestens 1 m genau zu bestimmen. Für eine multifunktionale Nutzung ist anzustreben, dass die Lagekoordinaten eine bedarfsgerecht höhere Genauigkeit besitzen.

3.5 Genauigkeit

(1) Die geforderte Genauigkeit der Nivellements zur Bestimmung von bundeseinheitlichen Höhenfestpunkten richtet sich nach den Maßgaben der Feldanweisung für die Präzisionsnivellements im DHHN in der jeweils geltenden Fassung.

(2) Die Standardabweichung der Gewichtseinheit S_0 für einen Kilometer Doppelnivellement, berechnet aus einer freien Ausgleichung, soll 0,8 mm nicht überschreiten.

(3) Die Standardabweichung S_H der Höhe eines HFP 1.O. wird aus der Ausgleichung des an seine Datumspunkte angeschlossenen DHHN2016 erhalten. Dabei werden die für geopotentielle Koten ermittelten Werte äquivalent in metrische Werte umgerechnet.

(4) Die amtliche physikalische Höhe ist zu ändern, wenn der Änderungsbetrag zur nachgewiesenen Höhe 3 mm überschreitet. Dabei ist das Prinzip der Nachbarschaft zu berücksichtigen. Unabhängig davon können auch kleinere Änderungen übernommen werden, wenn eine tatsächliche Veränderung der Höhe nachgewiesen wurde. Die Dokumentation der Ergebnisse in Zeitreihen (siehe Abschnitt 3.7) bleibt unberührt.

(5) Die Ergebnisse von bundesweiten Wiederholungsmessungen des DHHN (siehe Abschnitt 3.6 Abs. 6) sind unabhängig von der Größe der Differenzen zu den bestehenden Höhen stets als neue Realisierung des bundesweit einheitlichen Bezugsrahmens einzuführen.

(6) Zur Bestimmung der Normalhöhen werden für die HFP 1.O. Schwerewerte mit einer Genauigkeit von mindestens 1×10^{-5} m × s^{-2} (1 mGal) benötigt. Sofern keine flächenhaften Schwerewerte ausreichender Qualität als Interpolationsgrundlage vorliegen, sind für ausgewählte HFP 1.O. Schwerewerte örtlich zu bestimmen. Da-

bei soll eine Standardabweichung von 1×10^{-6} m × s^{-2} (100 µGal) nicht überschritten werden. Die Auswahl dieser HFP hat so zu erfolgen, dass für alle anderen HFP 1.O. Schwerewerte mit der geforderten Genauigkeit interpoliert werden können.

(7) Wird die physikalische Höhe eines HFP 1.O. geändert (siehe Abs. 7), so ist ggf. auch die geopotentielle Kote entsprechend fortzuführen.

3.6 Überwachung und Überprüfung

(1) Die Höhenfestpunkte des DHHN sollen zum Nachweis großräumiger (geogen oder anthropogen verursachter) Höhenbewegungen der Erdoberfläche in geeigneten Zeitabständen neu gemessen werden. Dazu werden die instabilen Bereiche des DHHN unter Einbeziehung des Wiederholungsnivellements 2006 – 2012 bundesweit identifiziert und in Übersichten dargestellt. Diese Erkenntnisse dienen als Grundlage für großräumige, regionale und ggf. lokale Überprüfungsmessungen.

(2) Die Überwachung eines HFP 1.O. soll alle 6 Jahre erfolgen.

(3) Lokale Überprüfungen von HFP erfolgen durch Überschlagsnivellements zu den benachbarten HFP (siehe dazu auch Abschnitt 1.5 Abs. 3) und sind bedarfsorientiert vorzunehmen.

(4) Regionale Wiederholungsmessungen von HFP 1.O. sind ebenfalls bedarfsorientiert vorzunehmen. Für als instabil erkannte Gebiete sind – ausgehend von als hinreichend höhenstabil angenommenen Bereichen – Wiederholungsmessungen in einem Turnus vorzunehmen, der eine ausreichende Aktualisierung der amtlichen Höhenwerte gewährleistet.

(5) Bundesweite Wiederholungsmessungen werden bedarfsorientiert nach Prüfung durch die AdV durchgeführt (siehe Abschnitt 1.5 Abs. 7).

(6) Für Höhenüberprüfungen können GNSS-gestützte Positionierungsverfahren eingesetzt werden, sofern der zu überprüfende ellipsoidische Höhenunterschied hinreichend genau bekannt ist (z.B. bei den Punkten des GGP-Rahmennetzes, siehe Abschnitt 2.5 Abs. 1). Neubestimmungen erfolgen nach Abschnitt 3.4.

3.7 Zeitreihen

(1) Die Zeitreihen für die Höhenwerte der HFP 1.O. beziehen sich auf die bundesweit einheitliche amtliche Realisierung des DHHN2016 und dessen von der AdV festgelegte Datumspunkte als Nullmessung.

(2) Jede für einen HFP 1.O. durch Wiederholungsmessung ermittelte Höhe ist in der Zeitreihe mit Messdatum, Genauigkeitsangaben und ggf. weiteren Metadaten zu dokumentieren, auch wenn keine signifikante Änderung erkennbar ist. Die Option,

einen neu ermittelten Höhenwert auch als aktualisierte amtliche Höhe zu übernehmen (siehe Abschnitt 3.5 Abs. 4), bleibt vom Nachweis in der Zeitreihe unberührt.

(3) Die Zeitreihen für die HFP 1.O. sind für folgende geodätische Bezugsgrößen zu führen:
- physikalische Höhe,
- ggf. geopotentielle Kote,
- ggf. ellipsoidische Höhe,
- ggf. Schwerewert.

4 Schwerefestpunkte

4.1 Definition

Die Schwerefestpunkte 1. Ordnung (SFP 1.O.) dienen der physischen Realisierung und Sicherung des bundesweit einheitlichen Schwerebezugssystems. Sie stellen als DHSN den amtlichen Schwerebezugsrahmen gemäß Abschnitt 1.2.3 Abs. 3 dar.

4.2 Netzaufbau

(1) Das DSGN2016 besteht aus
- den Festpunkten des bisherigen Deutschen Schweregrundnetzes 1994 (DSGN94) sowie aus
- ausgewählten Festpunkten des Integrierten Geodätischen Referenznetzes (GREF), für die Absolutschwerewerte hoher Genauigkeit und Stabilität vorliegen.

(2) Die Festpunkte des DSGN2016 legen als Datumspunkte mit ihren Schwerewerten das Bezugsniveau und den Maßstab des DHSN2016 fest.

(3) Das DHSN2016 besteht aus
- den Festpunkten des DSGN2016,
- ausgewählten Festpunkten des Deutschen Hauptschwerenetzes 1996 (DHSN96),
- ausgewählten Festpunkten des Geodätischen Grundnetzes (GGN) sowie
- neu festgelegten SFP 1.O.,

welche jeweils die Kriterien der Abschnitte 4.3 bis 4.5 erfüllen.

(4) Die Punktdichte im DHSN2016 beträgt mindestens 1 SFP pro 1000 km^2.

4.3 Vermarkung und Sicherung

(1) Bei der Standortauswahl der SFP 1.O. sollen folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt werden:
- geologisch sichere und stabile Lage,
- voraussichtlich gegen Zerstörung geschützte Lage,
- möglichst geringe Mikroseismik (verursacht z.B. durch Verkehr oder Baumbestand),
- Keine zu erwartenden Massenänderungen in der Punktumgebung (z.B. verursacht durch Bergbau, Stauseen, nahegelegene Bebauung),
- möglichst geringe Variationen des Grundwasserspiegels und der Bodenfeuchtigkeit,
- Abstand zu Hochspannungsleitungen, Sendemasten, Windenergieanlagen,
- gute und schnelle Anfahrbarkeit, Parkmöglichkeit sowie leichte Zugänglichkeit,
- räumliche Nähe zu Grundwassermessstellen,

- möglichst geringer Aufwand zur Lage- und Höhenbestimmung.

(2) Die Festpunkte des DSGN2016 sind in geschlossenen Gebäuden durch Vermessungsmarken in besonders stabilen horizontalen Flächen zu vermarken. Sie sollen jeweils um einen leicht zugänglichen Außenpunkt ergänzt werden, der als Anschlusspunkt für die Relativgravimetrie genutzt werden kann.

(3) Die Festpunkte des DHSN2016 sind in der Örtlichkeit durch langlebige, stabile Marken auf möglichst ebenerdigen Pfeilern, Platten oder sicheren horizontalen Flächen festzulegen. Die Vermarkung muss einen eindeutig definierten Höhen- und Schwerebezugspunkt aufweisen und soll eine zentrische Aufstellung des Gravimeters ermöglichen. Eine Festlegung gemäß Abs. 2 ist ebenfalls möglich.

(4) Die Festpunkte des DHSN2016 können exzentrisch gesichert werden. In diesem Fall soll der Schwerewert durch Relativgravimetrie auf mindestens zwei exzentrische Punkte übertragen werden. Für die Exzentren gelten die gleichen Anforderungen an die Vermarkung wie für das Zentrum. Die Abstände der Exzentren zum Zentrum sollen nicht mehr als 5 km und die Schwereunterschiede nicht mehr als 20×10^{-5} m × s^{-2} (20 mGal) betragen.

4.4 Bestimmung

(1) Die Bestimmung der Schwerewerte erfolgt durch Messungen mit Absolut- oder Relativgravimetern entsprechend der Feldanweisung für terrestrische Gravimetrie[8].

(2) Die Schwerewerte der Zentren der Festpunkte des DSGN2016 sind durch absolute Schweremessungen höchster Genauigkeit zu bestimmen. Die Außenpunkte der Festpunkte des DSGN2016 (siehe Abschnitt 4.3 Abs. 2) können absolut- oder relativgravimetrisch bestimmt werden.

(3) Die Schwerewerte der Festpunkte des DHSN2016 können mit absoluten oder relativen Verfahren bestimmt werden. Bei Anwendung der Relativgravimetrie sind mindestens zwei SFP des DSGN2016 oder drei SFP des DHSN2016 oder entsprechende Kombinationen als Anschlusspunkte zu verwenden. Es dürfen nur solche SFP als Anschlusspunkte verwendet werden, die absolutgravimetrisch bestimmt sind oder relativgravimetrisch an das DSGN2016 angeschlossen wurden. Die Messungen sind mit mindestens zwei verschiedenen Gravimetern durchzuführen.
Für SFP, die durch Absolutgravimetrie bestimmt worden sind, soll zusätzlich der Schwereunterschied zu mindestens einem benachbarten SFP des DHSN2016 durch Relativgravimetrie gemessen werden. Alternativ kann auch eine zeitlich unabhängige Zweitmessung mit einem Absolutgravimeter erfolgen.

[8] Diese Feldanweisung befindet sich zurzeit in Entwicklung und soll 2018 fertiggestellt sein. Sie beinhaltet die Feldanweisung für Absolutschweremessungen im Rahmen der Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN) im Zeitraum 2006 – 2011, 3. Überarbeitete Fassung vom 01.08.2009.

(4) Die Höhenexzentrizität zwischen dem sensitiven Punkt des Gravimeters und dem Schwerebezugspunkt (Marke des Festpunktes) ist bei der Schwerebestimmung auf 2 mm genau zu ermitteln und bei der Schwereberechnung über den lokalen vertikalen Schweregradienten (VSG) zu berücksichtigen. Bei größeren Höhenunterschieden soll der lokale VSG zur Vermeidung von Genauigkeitsverlusten messtechnisch ermittelt werden, wenn die Umgebung des SFP (z.B. die Geländeform oder die Bebauung) vermuten lässt, dass der lokale VSG vom theoretischen Freiluftgradienten deutlich abweicht. Der lokale VSG soll mit einer Genauigkeit $< 5 \times 10^{-8}\ s^{-2}$ (5 µGal/m) bestimmt werden und ist bei den betreffenden SFP 1.O. als weitere geodätische Bezugsgröße nachzuweisen.

(5) Die physikalischen Höhen der SFP des DHSN2016 sollen bezüglich des DHHN2016 mit einer Genauigkeit von ≤ 15 mm bestimmt werden.

(6) Die Lagekoordinaten der SFP des DHSN2016 sind im ETRS89 auf mindestens 1 m genau zu bestimmen. Für eine multifunktionale Nutzung ist anzustreben, dass die Lagekoordinaten eine bedarfsgerecht höhere Genauigkeit besitzen.

4.5 Genauigkeit

(1) Bei der Bestimmung der Schwerewerte sollen im Bezugspunkt (Marke des Festpunktes) folgende Standardabweichungen nicht überschritten werden:
- $5 \times 10^{-8}\ m \times s^{-2}$ (5 µGal) für die Schwerefestpunkte des DSGN2016,
- $12 \times 10^{-8}\ m \times s^{-2}$ (12 µGal) für die Schwerefestpunkte des DHSN2016.
- Der Schwereunterschied zwischen einem SFP 1.O. und seinen Sicherungspunkten ist mit einer Standardabweichung von $\leq 5 \times 10^{-8}\ m \times s^{-2}$ (5 µGal) zu bestimmen. Gleiches gilt für den Schwereunterschied zwischen einem Festpunkt des DSGN2016 und dem dazugehörigen Außenpunkt (siehe Abschnitt 4.3 Abs. 2).

(2) Der amtliche Schwerewert der SFP 1.O. ist zu ändern, wenn der Änderungsbetrag folgende Werte überschreitet:
- $10 \times 10^{-8}\ m \times s^{-2}$ (10 µGal) für die Schwerefestpunkte des DSGN2016,
- $25 \times 10^{-8}\ m \times s^{-2}$ (25 µGal) für die Schwerefestpunkte des DHSN2016.

(3) Die amtliche physikalische Höhe eines SFP 1.O. oder eines Sicherungspunktes soll geändert werden, wenn der neu bestimmte Wert genauer und zuverlässiger bestimmt ist als der bestehende.

(4) Ist die Höhenwertänderung auf vertikale Bodenbewegungen zurückzuführen, ist zu prüfen, ob auch der Schwerewert geändert werden muss. Abschnitt 4.7 bleibt unberührt.

4.6 Überwachung und Überprüfung

(1) Die Überwachung eines SFP 1.O. soll alle 6 Jahre erfolgen.

(2) Die lokale Überprüfung eines SFP 1.O. soll bedarfsorientiert vorgenommen werden. Dabei ist seine physikalische Höhe nach Möglichkeit lokal mit der in Abschnitt 4.4 Abs. 5 angegebenen Genauigkeit zu kontrollieren.

(3) Regionale Wiederholungsmessungen auf den SFP 1.O. sind bedarfsorientiert in dem Maße durchzuführen, dass die Anforderungen nach Abschnitt 4.5 erfüllt werden können. Als Ursachen für Änderungen im Schwerewert kommen im Wesentlichen geogen oder anthropogen bedingte Höhen- und/oder Massenveränderungen in Betracht.

(4) Bundesweite Wiederholungsmessungen werden bedarfsorientiert nach Prüfung durch die AdV durchgeführt (siehe Abschnitt 1.5 Abs. 7).

(5) Wiederholungsmessungen im DSGN2016 werden seitens des BKG alle 10 Jahre durchgeführt.

4.7 Zeitreihen

(1) Die Zeitreihen für die Schwerewerte der SFP 1.O. beziehen sich auf die bundesweit einheitliche amtliche Realisierung des DHSN2016. Darauf basierend sind alle Zeitreihen darzustellen.

(2) Jeder für einen SFP 1.O. 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.

(3) Verändert sich infolge einer lageidentischen Umvermarkung eines SFP 1.O. die bisherige Bezugshöhe des Schwerewertes, so kann unter Verwendung des lokalen vertikalen Schweregradienten die Zeitreihe dennoch fortgesetzt werden. Die Höhenänderung ist zu dokumentieren, die früheren Schwerewerte können auf die neue lokale Bezugshöhe umgerechnet werden.

5 Referenzstationspunkte

5.1 Definition

(1) Die Referenzstationspunkte (RSP) dienen - ergänzend zu den GGP - der physischen Realisierung des ETRS89 in Deutschland. Sie bilden die Grundlage zur Bereitstellung des amtlichen geodätischen Raumbezugs über die Positionierungsdienste des SA*POS*®.

(2) Der RSP ist eine eindeutig definierte Stelle des Antennenträgers, auf welche die 3D-Position bezogen ist. Der RSP ist weder identisch mit dem Antennenreferenzpunkt (ARP) noch mit dem Antennenphasenzentrum (siehe Anlage 9).

5.2 Netzaufbau

(1) Das Referenzstationsnetz (RSN) besteht bundesweit aus den Stationen des SA*POS*® und aus den Stationen des GREF (siehe Abschnitt 1.2.5).

(2) Die Punktabstände im RSN sollen 60 km nicht überschreiten.

5.3 Vermarkung und Sicherung

(1) Die Festlegung der RSP erfolgt so, dass möglichst ideale Bedingungen für GNSS-Messungen herrschen, insbesondere eine hinreichende Horizontfreiheit zum ungestörten Empfang der Satellitensignale sowie geringe Mehrwegeeinflüsse. Die Vermarkung der RSP erfolgt idealerweise auf standsicher im Erdboden gegründeten Pfeilern, darüber hinaus auch an oder auf geeigneten Gebäuden.

(2) Die Antennenträger sind so auszuwählen und auszugestalten, dass Eigenbewegungen (z.B. Tagesgang, Jahreszeitengang) minimiert werden.

(3) RSP auf bzw. an Gebäuden sollen lokal über mindestens drei, RSP auf Pfeilern am Boden über mindestens zwei dauerhaft vermarkte Bodenpunkte gesichert werden. Für diese Bodenpunkte gelten die relativen Lage- und Höhengenauigkeiten des Abschnitts 2.3 Abs. 2 (GGP-Sicherungsnetz) unmittelbar. Für RSP an bzw. auf Gebäuden ist die Lage und die Höhe innerhalb dieses lokalen Sicherungsnetzes mit einer Standardabweichung von jeweils ≤ 2 mm zu bestimmen.

(4) RSP, die auf Pfeilern im Erdboden vermarkt sind und die Kriterien der Abschnitte 2.3 bis 2.5 erfüllen, können zugleich die Funktion eines GGP übernehmen. Gleiches gilt für bodenvermarkte Sicherungspunkte von RSP.

(5) Bei der Planung und Installation neuer bodengebundener RSP ist die Kombination mit einem RAPP (siehe Abschnitt 6) zu prüfen.

5.4 Bestimmung

(1) Für die Bestimmung der 3D-Positionen der RSP im ETRS89 sind GNSS-gestützte Positionierungsverfahren anzuwenden. Dabei ist die Nachbarschaftstreue zum GGN und zum RSN sowohl mess- als auch rechentechnisch zu wahren.

(2) Die Regelungen in Abschnitt 2.4 Abs. 1 und 2 sind in entsprechender Weise anzuwenden.

5.5 Genauigkeit

(1) Bei der Bestimmung der 3D-Positionen der RSP im ETRS89 sollen die folgenden Standardabweichungen nicht überschritten werden:
- Lage: 5 mm
- ellipsoidische Höhe: 8 mm

(2) Veränderungen von Koordinaten und Höhen eines RSP, die im Regelfall über das RSN-Monitoring (siehe Abschnitt 5.6 Abs. 2) angezeigt werden, sollen einer genauen Ursachenüberprüfung (z.B. Änderungen in der Umgebung des RSP) unterzogen werden, ggf. unter Einbeziehung des GGN und der Rahmennetzpunkte. Die amtlichen Koordinaten und Höhen sind zu ändern, wenn der Änderungsbetrag gegenüber dem Nachweis die folgenden Werte überschreitet:
- Lage: 10 mm
- ellipsoidische Höhe: 15 mm

(3) Unabhängig davon können Änderungen vorgenommen werden, wenn eine tatsächliche Veränderung der Lage oder der Höhe zweifelsfrei nachgewiesen wurde, z.B. im lokalen Sicherungsnetz des RSP.

(4) Ist die Lageänderung eines RSP nicht im lokalen Sicherungsnetz nachweisbar, so kann sie durch eine horizontale Bewegung eines begrenzten Teils der Erdoberfläche verursacht sein. Weisen anschließende regionale Überprüfungen (siehe Abschnitt 5.6 Abs. 4) auf eine Fortsetzung dieser horizontalen Bewegung hin, sollte der RSP an einen lagestabileren Standort verlegt werden. Gleichzeitig wäre das lokale Sicherungsnetz des bisherigen RSP nur noch als Geosensor für das weitere Geomonitoring der dortigen Erdoberfläche zu nutzen.

(5) Neben tatsächlichen Veränderungen der Lage oder der Höhe nach Abs. 3 und 4 können auch scheinbare Veränderungen der RSP-Position auftreten, z.B. nach Antennenwechseln. In derartigen Fällen ist Abs. 2 in der Weise anzuwenden, dass die Auswirkungen auf die über die SA*POS*®-Dienste bereitgestellte Position die genannten Grenzwerte nicht überschreiten. Näheres dazu wird im Zusammenhang mit dem Betrieb von SA*POS*® geregelt und ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

5.6 Überwachung und Überprüfung

(1) Die Überwachung eines RSP soll möglichst einmal jährlich, mindestens aber alle zwei Jahre, durch örtliche Stationskontrollen erfolgen. Diese Arbeiten beinhalten die technische Überprüfung der installierten Referenzstations-Hardware (Antennenhalterung, Antenne, Radom, Kabelverbindungen, zusätzliche Sensorik) mit Sicht- und Funktionskontrolle sowie die Belange der allgemeinen Verkehrssicherungspflicht der Station. Die Arbeiten und die Ergebnisse sind in geeigneter Weise zu dokumentieren.

(2) Die Koordinaten der RSP werden permanent in einem mehrstufigen Monitoringprozess nach einheitlichen Grundsätzen überprüft. Dieser besteht aus:
- einem Online-Monitoring im Rahmen der Vernetzung der Referenzstationen (Vernetzungsmonitoring) als Vorstufe zur raschen Aufdeckung eventueller Bewegungen des Festpunktes und
- einem Postprocessing-Monitoring – aufbauend auf das Netz DREF-Online (siehe Abschnitt 1.2.5 Abs. 2) – zur Kontrolle der amtlichen Koordinaten im ETRS89/DREF91 entsprechend den Vorgaben des SA*POS*®-Qualitätsmanagements (RSN-Monitoring). Die Kriterien nach Abschnitt 5.5 gelten entsprechend.

(3) Die RSP des Netzes DREF-Online (siehe Abschnitt 1.2.5 Abs. 2) werden jährlich einer Diagnoseausgleichung unterzogen. Die dabei erhaltenen Ergebnisse werden mit den 3D-Koordinaten der amtlichen Realisierung ETRS89/DREF91 verglichen. Die Kriterien nach Abschnitt 5.5 gelten entsprechend.

(4) Die Überprüfung eines RSP aus dem lokalen Sicherungsnetz soll bei jedem Antennenwechsel oder bei Auffälligkeiten im RSN-Monitoring (siehe Abs. 2) erfolgen. Ergeben sich dabei Lage- und Höhenabweichungen > 4 mm, sind die Ursachen zu klären. Bei Auffälligkeiten im RSN-Monitoring, die sich durch eine Wiederholungsmessung des lokalen Sicherungsnetzes nicht klären lassen, ist eine regionale Überprüfung bezüglich des GGP-Rahmennetzes sowie des RSN vorzunehmen.

(5) Eine bundesweite Diagnoseausgleichung des RSN erfolgt bedarfsorientiert. Sie soll durchgeführt werden, wenn sich der Stand der Technik und Wissenschaft in diesem Bereich signifikant weiterentwickelt hat, beispielsweise durch neu verfügbare GNSS, zusätzliche Signale oder grundlegend geänderte Auswertealgorithmen und –strategien. Eine bundesweite Diagnoseausgleichung erfolgt stets im Zusammenhang mit einer Wiederholungsmessung des GGP-Rahmennetzes (siehe Abschnitt 2.6 Abs. 4).

5.7 Zeitreihen

(1) Die Zeitreihen für die RSP werden aus den Ergebnissen des RSN-Monitorings abgeleitet.

(2) Die Darstellung der Ergebnisse soll im amtlichen bundesweit einheitlichen Bezugsrahmen ETRS89/DREF91 in seiner aktuellen Realisierung erfolgen.

(3) Die Ergebnisse des RSN-Monitorings werden für die RSP grundsätzlich außerhalb des AFIS nachgewiesen. Erfolgt jedoch im Zusammenhang mit einer lokalen RSP-Überprüfung gemäß Abschnitt 5.6 Abs. 4 eine Übertragung der Ergebnisse auf einen GGP, ist Abschnitt 2.7 anzuwenden.

6 Radar Passpunkte (RAPP)

6.1 Definition

(1) Die Radar Passpunkte (RAPP) dienen der Lagerung von Produkten der satellitengestützten Radarinterferometrie im amtlichen geodätischen Raumbezug. Dies erfolgt beispielsweise durch Zuordnung von Referenzgeschwindigkeiten und Koordinaten mit einem eindeutig definierten Geschwindigkeitsdatum.

(2) Ein RAPP besteht aus zwei Komponenten:
- mindestens einem Radarreflektor sowie
- einer bodengebundenen permanenten GNSS-Station (z.B. RSP).

(3) Der Radarreflektor kann ein passiv reflektierender Winkelreflektor (z.B. Corner Reflektor) oder ein aktiv zurückstrahlender Transponder sein. Diese sollten sowohl aus Ascending (aufsteigende) als auch Descending (absteigende) Orbits der Radarsatelliten stabile Reflektionen liefern. Hierbei ist vorrangig ein ausreichend starkes Rückstreusignal für die gebräuchlichen Frequenzbereiche im X- und C-Band sicherzustellen. Darüber hinaus ist auch eine Gewährleistung im Frequenzbereich L-Band für zukünftige Missionen des Europäischen Copernicus Programms zu empfehlen

6.2 Netzaufbau

(1) Die Passpunktabstände sollten möglichst, nach den Ausleuchtungszonen (Footprints) der Satellitenorbits des Europäischen Copernicus Programm (Sentinel-1 Mission) so konzipiert werden, dass mindestens ein RAPP pro Radaraufnahme signalisiert ist. Eine Radaraufnahme hat hierbei eine Größe von ca. 250 km x 200 km (siehe Anlage 10).

(2) Standorte können ergänzend eingerichtet werden, so dass unter anderem spezielle regionale bodenkundliche und tektonische Regionen Deutschlands mit zu erwartenden oder bekannten Geschwindigkeitsänderungen im Netzaufbau berücksichtigt werden.

6.3 Vermarkung und Sicherung

(1) RAPP sollen am Boden auf einem frostfrei gegründeten Fundament errichtet werden. Es ist eine Errichtung aller Komponenten auf einem Fundament zu empfehlen.

(2) Für die Komponente der GNSS-Station sollen die Anforderungen eines RSP aus Abschnitt 5.3 entsprochen werden.

(3) Für die Komponente des Radarreflektors ist auf eine Vermeidung zusätzlicher Reflektionen in unmittelbarer Nähe zu achten. Dies sollte individuell nach Standort anhand eines entsprechenden Radarintensitätsbildes vorab geprüft werden.

(4) Bei der Verwendung getrennter Fundamente müssen diese so nahe errichtet werden, dass sie die gleiche Bewegungscharakteristik zeigen. Sie sollten in derselben geologischen Schicht gegründet sein, sodass keine relativen Bewegungsänderungen zu einander erfolgen. Es wird die Hinzuziehung von bodenkundlichen Gutachten empfohlen.

(5) Die Fundamente sind mit Höhenbolzen zu versehen, um Höhenänderungen der Fundamente feststellen zu können.

6.4 Bestimmung

(1) Die Bestimmung der 3D-Position der GNSS-Antenne erfolgt gemäß den Anforderungen aus Abschnitt 5.4.

(2) Für die Bestimmung des Radarreflektors ist ein eindeutig definierter Referenzpunkt am Reflektor oder dessen Fundament festzulegen. Dieser muss durch wiederholte geodätische Messungen bestimmbar sein. Es wird empfohlen den Referenzpunkt möglichst nahe auf das Phasenrückstreuzentrum des Radarreflektors zu beziehen. Die 3D-Position des Radarreflektors ist in der aktuellen Realisierung des ETRS89/DREF91 mit geeigneten geodätischen Verfahren zu bestimmen.

(3) Die physikalischen Höhen der RAPP können nivellitisch mit Anschluss an das aktuelle DHHN oder GNSS gestützt unter Nutzung des aktuellen Quasigeoidsmodells bestimmt werden.

6.5 Genauigkeit

(1) Bei der Bestimmung der 3D Position der GNSS-Antenne gelten die Anforderungen eines RSP aus Abschnitt 5.5.

(2) Die Bestimmung der 3D Position des Radarreflektors dient der Identifizierung im Radarbild und soll mit einer Standardabweichung von 3 cm erfolgen.

(3) Zwischen den Referenzpunkten der GNSS-Antenne und der Radarreflektoren ist mindestens der Höhenunterschied mittels Präzisionsnivellement zu bestimmen. Die Genauigkeit sollte hier 0,5 mm betragen. Es wird empfohlen auch den Lageunterschied mit einer Standardabweichung von 3 mm zu bestimmen (z.B. Tachymetrie, terrestrisches Laserscanning).

6.6 Überwachung und Überprüfung

(1) Die Überwachung der GNSS-Station ist nach den Anforderungen eines RSP (siehe Abschnitt 5.6 Abs. 1) durchzuführen.

(2) Die Überwachung des Radarreflektors erfolgt im selben Turnus. Diese Arbeiten beinhalten:
- Sichtkontrolle (auf offensichtliche Beschädigungen und das Festsitzen aller Schraubverbindungen)
- Säuberung der Reflektorflächen von grobem Schmutz, Laub etc.
- Kontrolle zur Einhaltung der allgemeinen Verkehrssicherungspflicht
- Sichtbarkeit des Reflektors anhand eines Radarintensitätsbildes

(3) Die Überprüfung der Koordinatenunterschiede zwischen den Komponenten eines RAPP erfolgt in einem lokalen Sicherungsnetz. Die Höhenunterschiede sollen mindestens im Abstand von 5 Jahren überprüft werden. Die Überprüfung der Lagekomponente im gleichen Turnus wird empfohlen.

(4) Bei der Nutzung getrennter Fundamente der Radarreflektoren ist die Überprüfung halbjährlich in den ersten zwei Jahren nach der Installation bzw. mindestens solange durchzuführen, bis keine Veränderungen mehr nachgewiesen werden.

6.7 Zeitreihen

(1) Die Zeitreihen der GNSS-Komponente müssen nach Vorgabe eines RSP (siehe Abschnitt 5.7 Abs.1 u. 2) bestimmt werden. Die Bestimmung soll im Rahmen des RSN-Monitorings erfolgen.

(2) Die Höhenunterschiede der Referenzpunkte der Radarreflektoren und der GNSS-Antenne sind als Zeitreihe zu führen. Die Führung der Zeitreihe für die Lageunterschiede der Referenzpunkte wird empfohlen.

7. Höhenbezugsfläche / AdV-Quasigeoidmodell

(1) Das AdV-Quasigeoidmodell repräsentiert die Höhenbezugsfläche des amtlichen bundesweit einheitlichen Höhenbezugsrahmens. Es ermöglicht die Überführung von geometrisch definierten ellipsoidischen Höhen im ETRS89 (die z.B. mit SA*POS*® bestimmt werden) in physikalisch definierte Normalhöhen.

(2) Das AdV-Quasigeoidmodell erhält seine Lagerung aus dem GGP-Rahmennetz und den in diesen Punkten unmittelbar bestimmten Höhenanomalien, die auf das GRS80 bezogen sind. Die Form des Quasigeoids wird aus geometrischen und gravimetrischen Daten ermittelt. Die dazu erforderliche Datenerhebung soll gewährleisten, dass das AdV-Quasigeoidmodell in Abhängigkeit der Geländehöhe folgende Standardabweichungen nicht überschreitet

a) bis 1.000 m:	10 mm
b) über 1.000 m:	25 mm.

(3) Mit der Einführung der amtlichen bundesweit einheitlichen Bezugsrahmen ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016), DHHN2016 und DHSN2016 wurde das dazu konsistente AdV-Quasigeoidmodell „German Combined Quasigeoid 2016 (GCG2016)“ als notwendiges Verbindungselement im integrierten geodätischen Raumbezug bereitgestellt.

(4) Die gravimetrische Datenbasis für das AdV-Quasigeoidmodell in Form von georeferenzierten Schweremesswerten an der Erdoberfläche soll folgende Mindeststandards aufweisen:

- 1 gemessener Schwerewert auf 16 km², in Gebieten mit stärkeren horizontalen Schwerevariationen 1 Schwerewert auf 4 km²,
- Höhe besser als 10 cm,
- Lage besser als 10 m,
- Schwerewert besser als 1×10^{-6} m × s^{-2} (100 µGal).

Die Messpunkte sollen nicht mehr als 20 cm unterhalb und nicht mehr als 1 m oberhalb der repräsentativen Geländeoberfläche liegen. Der Abstand zur Geländeoberfläche ist stets anzugeben, damit für die Modellierung des Quasigeoids der Schwerewert mittels Freiluftgradient auf die Geländeoberfläche reduziert werden kann.

(5) Das AdV-Quasigeoidmodell ist zu aktualisieren, wenn sich die Realisierung des integrierten geodätischen Raumbezugs großräumig verändert hat oder wenn die zugrundeliegende geometrische oder gravimetrische Datenbasis verbessert wurde. Eine Aktualisierung ist stets nach bundesweiten Wiederholungsmessungen gemäß Abschnitt 2.6 Abs. 4 bzw. Abschnitt 5.6 Abs. 5 vorzunehmen.

Glossar

Amtlicher geodätischer Bezugsrahmen
Der amtliche geodätische Bezugsrahmen entsteht durch die Festlegung von Koordinaten im amtlichen geodätischen Raumbezugssystem in der vereinbarten Realisierung durch die für das öffentliche Vermessungswesen zuständige Behörde des Bundeslandes.

Amtliches geodätisches Raumbezugssystem
Das von den Vermessungsverwaltungen der Länder aufgrund ihres gesetzlichen Auftrages vorgegebene bzw. vorgehaltene geodätische Bezugssystem.

Amtliche Koordinaten
Die derzeit gültige Repräsentation des amtlichen geodätischen Bezugsrahmens nach Lage und Höhe. Dies sind die Koordinaten, welche die für das öffentliche Vermessungswesen zuständige Behörde des Bundeslandes für Festpunkte im amtlichen Nachweis führt und bereitstellt.

Amtliches Schwerebezugssystem
Das von den Vermessungsverwaltungen der Länder aufgrund ihres gesetzlichen Auftrages vorgegebene bzw. vorgehaltene Bezugssystem für die Schwerewerte.

Amtliche Schwerewerte
Die derzeit gültige Repräsentation des amtlichen Schwerebezugssystems. Dies sind die Schwerewerte, welche die für das öffentliche Vermessungswesen zuständige Behörde des Bundeslandes als solche für Festpunkte im amtlichen Nachweis führt und bereitstellt.

Diagnoseausgleichung des Referenzstationsnetzes
Gemeinsame 3D-Ausgleichung aller SA*POS*®- und GREF Stationen (plus Lagerungspunkte des IGS) im aktuellen ITRF mit den GNSS-Daten einer ausgewählten Epoche. Im Regelfall werden dazu die Daten einer GPS-Woche verwendet. Ziel ist die Ableitung eines aktuellen homogenen Satzes spannungsfreier 3D-Koordinaten der SA*POS*®-Referenzstationen. Dieser wird mittels 7-Parameter-Transformation bestmöglich auf die amtlichen Koordinaten im ETRS89/DREF91 (Realisierung 2016) eingepasst und bezüglich Lage und Höhe verglichen.

Festpunkt
An der Erdoberfläche, an Bauwerken oder unterirdisch dauerhaft vermarkter Vermessungspunkt zur physischen Realisierung, Sicherung und Bereitstellung des geodätischen Raumbezugs. Die Marke ist Bezugspunkt für die geodätischen Bezugsgrößen. Der bodenvermarkte Festpunkt ist mit seiner unmittelbaren Umgebung im Erdreich stabil verbunden und vollzieht eventuelle Bewegungen der Erdoberfläche mit. Er kann deshalb auch als „passiver Geosensor“ zur Überwachung der Stabilität der Erdoberfläche (als Komponente des Geomonitorings) genutzt werden.

Geodätisches Bezugssystem, geodätisches Referenzsystem
Theoretische Konzeption, auf deren Grundlage die eindeutige Bestimmung der Koordinaten von Punkten im Raum möglich ist. Es umfasst alle Definitionen, Vereinbarungen, Parameter und Algorithmen, die zur Berechnung von Koordinaten notwendig sind. Es schließt u.a. die Definitionen und Festlegungen zur Lagerung und Orientierung des Koordinatensystems (geodätischen Datum), physikalische Konstanten und Parameter sowie Vorschriften und Algorithmen zur Berechnung von Korrektionen bzw. Reduktionen geodätischer Beobachtungsgrößen ein.

Die Begriffe „geodätisches Bezugssystem“ und „geodätisches Referenzsystem“ sind hinsichtlich des Wortsinns identisch. Der Begriff „geodätisches Referenzsystem“ wird darüber hinaus auch für einen Satz von vier Parametern verwendet, mit dem eine rotationsellipsoidische Näherung der Figur und des Schwerefeldes der Erde (Normalerde) definiert wird. Beispiele hierfür sind das „Geodätische Referenzsystem 1980 (GRS80)“ und das „World Geodetic System 1984 (WGS84)“, die vielen aktuellen Koordinatenreferenzsystemen zugrunde liegen.

Geodätische Bezugsgrößen
Oberbegriff für Lage- und 3D-Koordinaten, Höhen und Schwerewerte sowie geopotentielle Koten und Schweregradienten.

Geodätischer Bezugsrahmen, geodätischer Referenzrahmen
Realisierung eines vereinbarten Referenzsystems durch die Zuordnung von Koordinaten zu ausgewählten Bezugspunkten. Die Koordinaten werden auf der Grundlage geodätischer Messungen und der Festlegungen und Vereinbarungen des zugrunde liegenden geodätischen Bezugssystems bestimmt. Sie werden in gewissen Abständen unter Verwendung der jeweils neusten Messergebnisse neu berechnet. Die entsprechenden Bezugsrahmen werden durch die Angabe einer Jahreszahl unterschieden, z.B. International Terrestrial Reference Frame 2008 (ITRF2008). Die Festlegung der Jahreszahl kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen.

Die inhaltliche Unterscheidung zwischen Bezugssystem und Bezugsrahmen ist insbesondere vom wissenschaftlichen Standpunkt sinnvoll und notwendig. Ohne die Festlegungen des geodätischen Bezugssystems können keine eindeutigen Koordinaten berechnet werden. Die Verwendung von unterschiedlichen Parametern, Korrektionsalgorithmen usw. kann zu mehr oder minder großen systematischen Unterschieden in den Koordinaten führen. Für die Interpretation zeitlicher Koordinatenänderungen von Bezugspunkten muss die Koordinatenbestimmung deshalb im identischen Bezugssystem erfolgen.

Geodätisches Datum, Datumsparameter, Datumsbedingung, Datumsdefekt, Datumspunkte
Satz von Parametern, der die Lage des Ursprungs, die Orientierung der Koordinatenachsen und den Maßstab eines **Koordinatensystems** in Bezug auf ein Objekt (die Erde) festlegt.

Mit Hilfe geodätischer Beobachtungen (Messungen) kann i.d.R. nur die innere Geometrie (Form und Größe) eines geodätischen Netzes festgelegt werden. Der Bezug des Netzes zu einem Koordinatenreferenzsystem ist in den Beobachtungen nicht oder nur unvollständig enthalten. Für die Koordinatenbestimmung von Punkten des geodätischen Netzes sind deshalb eine Anzahl von Zusatzinformationen (**Datumsparameter**) bzw. Bedingungen (**Datumsbedingungen**) notwendig, mit denen das geodätische Netz in Bezug auf dieses Koordinatenreferenzsystem gelagert und orientiert wird. Der Begriff des **geodätischen Datums** umfasst alle Parameter, Konstanten bzw. Bedingungen, die zur eindeutigen Lagerung und Orientierung eines geodätischen Netzes notwendig sind. **Datumspunkte** sind diejenigen Festpunkte des geodätischen Netzes, für die diese zusätzlichen Parameter bzw. Bedingungen festgelegt werden. Die Anzahl der für die eindeutige Lagerung und Orientierung eines Netzes notwendigen Datumsparameter (**Datumsdefekt**) hängt von der Art und Dimension des geodätischen Netzes und der Art der geodätischen Beobachtungen ab.

Geoidmodell
Das Geoid ist die Äquipotentialfläche (Niveaufläche) des Erdschwerefeldes in Höhe des mittleren Meeresniveaus. Das Geoidmodell ist eine bestmögliche mathematische Annäherung an diese Fläche.

Geomonitoring
Überwachung der Stabilität der Erdoberfläche anhand von Wiederholungsmessungen über dauerhaft vermarkte Festpunkte.

Geopotentielle Kote
Differenz des Schwerepotentials in einem Punkt zum Schwerepotential des Geoids. Der Potentialunterschied zwischen zwei Punkten lässt sich in der Praxis näherungsweise durch Multiplikation des nivellierten (metrischen) Höhenunterschiedes mit dem Mittelwert der Oberflächenschwere in beiden Punkten bestimmen.

GNSS-Nivellement
Bestimmung ellipsoidischer Höhenunterschiede aus GNSS-Messungen, die mit Hilfe gravimetrischer Messungen bzw. eines lokalen gravimetrischen Geoidmodells in physikalische Höhenunterschiede überführt werden.

Höhenbezugsfläche
Digitales Modell einer unregelmäßig geformten Bezugsfläche für physikalische Höhen im Kontext zum geometrisch definierten Referenzellipsoid. Im besonderen Fall der Normalhöhen ist es das Quasigeoidmodell.

Integrierter geodätischer Raumbezug
Fachliche Konzeption, welche die geometrisch definierte 3D-Position und die schwerefeldbasierten physikalischen Komponenten „Höhe" und "Schwere“ ganzheitlich betrachtet. Das zentrale verbindende Element ist des Geoid- bzw. Quasigeoidmodell. Die Realisierung des integrierten geodätischen Raumbezugs erfolgt über die Geodätischen Grundnetzpunkte (GGP).

Koordinate
Eine von mehreren Zahlen, die der Beschreibung der räumlichen Position eines Punktes in einem Koordinatensystem dient (z.B. kartesische Koordinaten oder Polarkoordinaten). Für jede Dimension des Raumes ist eine Koordinate notwendig (3 Koordinaten für die Position, 2 Koordinaten für die Lage und 1 Koordinate für die Höhe). Schwerewerte sind in diesem Sinne keine Koordinaten, sondern physikalische Größen, die messtechnisch absolut ermittelbar sind und insofern kein Koordinatensystem als Bezug benötigen.

Koordinatenmonitoring
Systematische Erfassung und Auswertung der Koordinaten der Punkte eines geodätischen Netzes über einen gewissen Zeitraum. Die Bestimmung der Koordinaten erfolgt mit Anschluss an einen übergeordneten und als stabil angenommenen geodätischen Bezugsrahmen zur Bewertung und Dokumentation von zeitlichen Veränderungen der betrachteten Punkte. Koordinatenmonitoring ist eine wesentliche Maßnahme zur Qualitätssicherung des amtlichen geodätischen Bezugsrahmens. Beispiele sind das RSN-Monitoring sowie das Monitoring der Koordinaten der Geodätischen Grundnetzpunkte (GGP).

Koordinatenreferenzsystem
Koordinatensystem, das sich in definierter Weise auf ein Objekt (die Erde) bezieht. Die Beziehung zwischen dem Koordinatensystem und dem Objekt (der Erde) wird durch das Datum (geodätisches Datum) beschrieben.

Nach EU-Richtlinie 2007/02 vom 14.03.2007 (INSPIRE-Richtlinie) Anhang 1 Nr. 1:
System zur eindeutigen räumlichen Referenzierung von Geodaten anhand eines Koordinatensatzes (x, y, z) und/oder Angaben zu Breite, Länge und Höhe auf der Grundlage eines geodätischen horizontalen und vertikalen Datums.

Nach DIN EN ISO 19111 sind neben dem Koordinatensystem und dem geodätischen Datum auch die Reihenfolge der Koordinaten und deren Maßeinheit Teil der Definition des Koordinatenreferenzsystems. Dabei werden die Koordinaten als zeitlich nicht veränderlich angesehen. Für die Darstellung zeitlicher Veränderungen sollen unterschiedliche Koordinatenreferenzsysteme genutzt werden. Der Begriff wird insbesondere im Zusammenhang mit einer standardisierten Beschreibung von Koordinaten in Geoinformationssystemen verwendet. Das Konzept wird als eindimensionales Koordinatenreferenzsystem auch für Höhen angewendet.

Koordinatensystem
Ein mathematisches Modell, das der eindeutigen Beschreibung der Position von Punkten im Raum dient. Die Position eines Punktes ist gegeben durch eine Menge von Zahlen (Koordinaten). Es schließt die Menge von mathematischen Regeln ein, welche die Zuordnung von Koordinaten zu Punkten beschreiben.

Koordinatenursprung
Punkt des Koordinatensystems, an dem alle Koordinaten den Wert Null annehmen. Zur Vermeidung negativer Koordinaten kann der Ursprung auch mit von Null verschiedenen Werten festgesetzt werden („Default-Werte“).

Lokaler vertikaler Schweregradient
Vertikaler Schweregradient oberhalb des Schwerefestpunktes bzw. der Punktvermarkung. Dient zur exakten Umrechnung von Schwerewerten zwischen dem sensitiven Punkt des Gravimeters und dem Schwerebezugspunkt (Punktmarke) in beide Richtungen. Aus dem Normalschwerefeld ergibt sich der vertikale Schweregradient oberhalb der Erdoberfläche theoretisch zu - 0,3086 µGal/m. Diesen Wert bezeichnet man als „Freiluftgradienten“. Bei vermuteten größeren Abweichungen des tatsächlichen vertikalen Schweregradienten vom Freiluftgradienten, die insbesondere durch die Geländeform oder durch nahegelegene bauliche Störmassen bedingt sein können, soll der lokale vertikale Schweregradient örtlich messtechnisch bestimmt werden.

Nullmessung
Bestimmung geodätischer Bezugsgrößen mit dem Ziel, diese als Referenz für künftige Wiederholungsmessungen oder für in der Vergangenheit liegende Bestimmungen zu verwenden, um zeitliche Veränderungen zu ermitteln und darzustellen.

Phasenzentrum (passiver Radarreflektor)
Das Phasenzentrum eines passiven Radarreflektors ist der physikalische Ort, der dem im Rückstreusignal dargestellten Ort entspricht. Bei einem dreiflächigen Corner Reflektor liegt das Phasenzentrum in seinem Scheitel (ist durch den Ursprung, des Schnittpunkts der drei Seitenflächen gegeben).

Quasigeoidmodell
Das Quasigeoid ist die Bezugsfläche der Normalhöhen. Es ergibt sich durch Abtragen der Normalhöhe von der Erdoberfläche nach unten. Im Bereich der Meere stimmt das Quasigeoid mit dem Geoid überein. Das Quasigeoidmodell ist eine bestmögliche mathematische Annäherung an diese Fläche.

Standardabweichung
Die Genauigkeiten für geodätische Bezugsgrößen werden in dieser Richtlinie generell als Standardabweichungen angegeben. Die Standardabweichung ist ein Kennwert zur Bezeichnung eines Wertebereiches für den wahren Wert einer geodätischen Bezugsgröße. Sie kann ebenso als quantitatives Maß für die Messunsicherheit einer Messgröße verwendet werden.

In dieser Richtlinie ist die Standardabweichung als eine realistische Abschätzung der tatsächlichen Genauigkeit für die betreffende Messgröße oder geodätische Bezugsgröße zu verstehen. Bei ihrer Ermittlung sind auch Einflüsse wie z.B. Zentrier-, Justier- und Kalibrierunsicherheiten explizit zu berücksichtigen.

Technische Koordinaten
Koordinaten von Festpunkten in einem vereinbarten geodätischen Bezugsrahmen, die von der für das öffentliche Vermessungswesen zuständigen Behörde intern geführt und für die Qualitätssicherung der amtlichen Koordinaten sowie für verschiedene geowissenschaftliche Belange (z.B. für Geomonitoring und Zeitreihen) benötigt werden.

Überprüfung von Festpunkten
Die Überprüfung umfasst die messtechnische Kontrolle der Lage, Höhe und Schwere eines Festpunktes in Bezug auf seine Sicherungspunkte (lokale Überprüfung) oder in Bezug auf benachbarte Festpunkte mit mindestens derselben Wertigkeit (regionale Überprüfung).

Überwachung von Festpunkten
Die Überwachung der Festpunkte umfasst die Sichtkontrolle der Punktvermarkung und die Aktualisierung relevanter Punktinformationen (Punktattribute, Punktskizze).

Vernetzungsmonitoring
Online-Monitoring der Referenzstationspunkte (RSP) aus der Vernetzung. Maßnahme zur Qualitätssicherung der aktuell über SA*POS*®bereitgestellten amtlichen Positionierungsdienste.

Wiederholungsmessung
Erneute lokale, regionale oder bundesweite Bestimmung von geodätischen Messungselementen (z.B. mittels GNSS-gestützten Positionierungsverfahren, 3D-Tachymetrie, Präzisionsnivellement und Schweremessverfahren), die der Überprüfung des bundeseinheitlichen geodätischen Festpunktfeldes dient und aus der ggf. zeitliche Veränderungen der Erdoberfläche abgeleitet werden können. Wiederholungsmessungen werden periodisch oder anlassbezogen durchgeführt.

Zeitreihe
Zeitliche Folge von Koordinaten, Höhen oder Schwerewerten eines Festpunktes, die aus Wiederholungsmessungen ermittelt wurde und im selben geodätischen Bezugsrahmen dargestellt wird. Die Zeitreihe dient dem Monitoring der zeitlichen Stabilität des Festpunktes innerhalb dieses geodätischen Bezugsrahmens. Die zeitlichen Veränderungen werden auf eine vereinbarte Referenz (Nullmessung) bezogen.

Anlage 1

Beschluss 115/7 gemäß Nr. 5.1 der GO-AdV der 115. Tagung des Plenums der AdV

Strategie für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens

in der Bundesrepublik Deutschland

1. Der Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens wird realisiert durch ein bundeseinheitliches, homogenes Festpunktfeld, das länderspezifisch verdichtet werden kann.

2. Das bundeseinheitliche Festpunktfeld besteht aus:

2.1 Geodätischen Grundnetzpunkten

- Punktabstand bis 30 km
- 3-D-Vermarkung
- mindestens 2-Punkt-Sicherung
- satellitengeodätisch hochgenau bestimmte ETRS89-Koordinaten
- Anschluss an das amtliche Höhenfestpunktfeld mittels Präzisionsnivellement im System DHHN92
- periodische Überwachung
- Erhaltungsmaßnahmen und Ersatzpunktbestimmung bei Zerstörung
- Anschluss an das amtliche Schwerefestpunktfeld

2.2 Höhenfestpunkten 1. Ordnung im Bezugssystem DHHN92

2.3 Schwerefestpunkten des Schweregrundnetzes und des Schwerenetzes 1. Ordnung im Bezugssystem DHSN96

2.4 Referenzstationspunkten im Bezugssystem ETRS89

3. Neben der Bereitstellung und Unterhaltung eines bundesweit einheitlichen Festpunktfeldes wird der Raumbezug aufgrund von länderspezifischen Gegebenheiten durch weitere Festpunkte ergänzt. Die Anforderungen, der Umfang und die Dichte sind nicht bundeseinheitlich festgelegt; die Ausgestaltung der länderspezifischen Festpunktfelder obliegt den Vorgaben der einzelnen Bundesländer und sind nicht Gegenstand eines bundesweit einheitlichen Festpunktfeldes.

Anlage 2

Relevante Beschlüsse des Plenums der AdV

Plenumstagung der AdV	Jahr	Inhalt
88. Tagung	1991	Einführung des Bezugssystems WGS84 in der EUREF-Version
96. Tagung	1995	Einführung des European Terrestrial Reference Systems (ETRS89) und der Universalen Transversalen Mercator-projektion (UTM)
96. Tagung	1995	Einrichtung des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SA*POS*®)
103. Tagung 103/5	1998	Standards für SA*POS*®-Referenzstationen
105. Tagung 105/7	1999	Zeitpunkt für die Einführung des Deutschen Haupthöhen-netzes 1992 (DHHN92)
105. Tagung 105/8	1999	Berechnung des Deutschen Hauptschwerenetzes 1996 (DHSN96)
106. Tagung 106/16	2000	Einbeziehung der Festpunkte der Landesvermessung in das ALKIS-ATKIS®-Datenmodell: Amtliches Festpunkt-In-formationssystem AFIS®
108. Tagung 108/12	2001	satellitengeodätisch-nivellitisches Quasigeoid für die Bun-desrepublik Deutschland
Sondertagung S2001/3	2001	Einheitlichkeit SA*POS*® - Deutschland
110. Tagung 110/5	2002	Kalibrierung von Antennen auf den SA*POS*®-Referenzsta-tionen
110. Tagung 110/8	2002	AFIS Objektartenkatalog; AFIS-Modellierung gemäß „Do-kumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok)"
112. Tagung 112/14	2003	Neufestsetzung der amtlichen Koordinaten der SA*POS*®-Stationen
112. Tagung 112/16	2003	Einführung der Schwerewerte im System DHSN96
115. Tagung 115/7	2004	Strategie für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland
115. Tagung 115/8 und 116. Tagung 116/14	2004 2005	Erneuerung des DHHN
118. Tagung 118/6	2006	Monitoring und übergeordneter Bezugsrahmen für SA*POS*®-Referenzstationen
121. Tagung 121/3	2009	Monitoring der SA*POS*®-Referenzstationen der Länder
121. Tagung 121/4	2009	Dauerhafte Führung und Bereitstellung bundesweit ein-heitlicher SA*POS*® -Qualitätsinformationen
123. Tagung 123/6	2011	Finanzierung der DHHN-Rechenstellen Nivellement im Jahr 2012
125. Tagung 125/3	2013	Stufenplan zur Einführung der Ergebnisse des Erneue-rungsprojektes DHHN
128. Tagung 128/4	2016	Einführung der Ergebnisse des Projektes „Erneuerung des DHHN“

Anlage 3

EUREF Permanent Network (EPN)

Stand: Mai 2024

Anlage 4

GGP-Rahmennetz

Stand: Mai 2024

Anlage 5

Deutsches Haupthöhennetz 2016 (DHHN2016) mit 72 Datumspunkten

Anlage 6

Deutsches Schweregrundnetz 2016 (DSGN2016)

Stand: Januar 2024

Anlage 7

SA*POS*® - Referenzstationsnetz

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland

SAPOS®
Satellitenpositionierungsdienst
der deutschen Landesvermessung

GNSS-Referenzstationen

AMTLICHES DEUTSCHES VERMESSUNGSWESEN

Copyright: Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung

Anlage 8

Netz DREF-Online

Stand: Juni 2024

Anlage 9

Erläuterungen zum Referenzstationspunkt (RSP)

Der Referenzstationspunkt (RSP) ist eine eindeutig definierte Stelle des Antennenträgers, auf welche sich die 3D-Position bezieht. Die Lage des RSP wird dabei im Regelfall durch die Mittelachse des Befestigungsgewindes für den Antennenuntersatz / Dreifuß festgelegt, die Höhe durch eine eindeutige Auflagefläche.

Der Antennenreferenzpunkt (ARP) ist in der Regel der Durchstoßpunkt der Zentrierachse durch die Unterseite der Antenne. Die Position des ARP wird von den meisten Herstellern eindeutig dokumentiert.

Die geometrische Beziehung zwischen dem RSP und dem ARP (Antennenhöhe) ist exakt zu bestimmen (≤ 1 mm).

Die Exzentrizität des elektronischen Antennenphasenzentrums zum ARP wird durch absolute individuelle Kalibrierung ermittelt und beim SA*POS*®-Betrieb berücksichtigt. Die Exzentrizität setzt sich aus dem festen Phasenzentrumsoffset (PCO) und der von Elevation und Azimut abhängigen und damit variablen Antennenphasenzentrumsvariation (PCV) zusammen. Außerdem ist zu beachten, dass sowohl PCO als auch PCV frequenzabhängig sind.

Die Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt.

Anlage 10

Übersichten Sentinel-1 Orbits

Für radarinterferometrische Auswertungen können die im Rahmen des europäischen Copernicus Programm kostenfrei erhältlichen Daten der Sentinel-1 Mission genutzt werden. Die Erdoberfläche wird bei diesem Sensor im sogenannten Interferometric Wide Swath Mode (IW) in einem Streifen von etwa 250 km Breite abgetastet. Eine komplette Radarszene besteht dabei aus drei Teilstreifen (Subswaths), welche wiederum in einzelne Burst (Aufzeichnungspakete der jeweiligen Antennenauslenkung in Azimut, d.h. der Flugrichtung) unterteilt sind. Jedes Sub-Swath-Bild besteht in der Regel aus etwa 9 Burst, sodass eine Gesamtradarszene eine Länge von etwa 200 km umfasst.

Abbildung 1: Aufbau der Sentinel-1 Daten in Subswath und Burst mit minimaler Überlappung (Bildquelle: ESA2023 Sentinel-1 User Guide)

Die Aufnahmestrategie der Europäischen Weltraumagentur (ESA) sieht eine möglichst lückenlose sowie vollflächige Aufzeichnung in Europa vor und das sowohl für den aufsteigenden Orbit (Ascending, von Süden nach Norden) als auch für den absteigenden Orbit (Descending, von Norden nach Süden). Die Orbitumrundungen der Satelliten (Tracks) überlappen sich in unseren Breiten auf etwa 2/3 ihrer Fläche, so dass sich in der Regel für jedes Untersuchungsgebiet die Auswahlmöglichkeit aus zwei Satellitentracks (mit unterschiedlichen Einfallswinkeln) ergibt. Die Tracks lassen sich anhand ihrer relativen durchnummerierten Orbitnummer unterscheiden. Diese Orbitkonstellation soll auch für zukünftige Copernicus Radarsatellitenmissionen fortbestehen.

Tabelle 1: Eigenschaften des Radarsatelliten Sentinel-1

Produkt	**Interferometric Wide Swath (IW)**	
Flugrichtung	Ascending	Descending
Rel. Orbit-Nr.	88, 15, 117, 44, 146, 73	37, 139, 66, 168, 95
Einfallswinkel	29° - 41°	
Aufösung **Slant-Range** **Azimut**	 ≈ 5 m ≈ 20 m	
Wiederholzyklus	12 Tage (6 Tage mit Sentinel-1A/B)	
Frequenzband	C-Band (5,405 GHz)	

N
RO077
RO146
RO117
RO044
RO015
RO088
Hamburg
Bremen
Hannover
Berlin
Leipzig
Dresden
Dortmund
Essen
Köln
Düsseldorf
Frankfurt am Main
Stuttgart
München
Legende (Stand: 03/2023)
CR Standorte Länder (aktuell)
Blickrichtung
Descending
Ascending + Descending
CR Standorte BKG (aktuell)
Blickrichtung
Descending
Ascending + Descending

N
RO037
RO139
RO066
RO168
RO095
Hamburg
Bremen
Hannover
Berlin
Dortmund
Essen
Düsseldorf
Köln
Leipzig
Dresden
Frankfurt am Main
Stuttgart
München
Legende (Stand: 03/2023)
CR Standorte Länder (aktuell)
Blickrichtung
Descending
Ascending + Descending
CR Standorte BKG (aktuell)
Blickrichtung
Descending
Ascending + Descending