



## „Erneuerung des DHHN“ und Berliner Folgemessungen

Helmut Gehring

Das derzeitige amtliche Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN92) ist nach der Wiedervereinigung durch Verbindungsmessungen in den Jahren 1991 und 1992 zwischen dem Deutschen Haupthöhennetz 1985 (DHHN85) in den alten Bundesländern und dem staatlichen Nivellementnetz 1976 (SNN76) in den neuen Bundesländern entstanden. Hauptziele waren ein bundesweit einheitliches Höhen Bezugssystem und die Einführung von Normalhöhen in ganz Deutschland. Die Datengrundlagen des DHHN92 waren bereits zum Einführungszeitpunkt in 1994 teilweise über 20 Jahre alt. Wegen des damit verbundenen Qualitätsverlustes und der zunehmend eingeschränkten Nutzung für Folgemessungen Dritter bestand in vielen Bundesländern der Bedarf zur Erneuerung dieses Netzes. In 2002 beschloss die „Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland“ (AdV) auf Initiative Berlins die Einrichtung einer Projektgruppe, die als Auftrag die Grundlagenermittlung und die Planungsvorbereitungen für eine Erneuerung des DHHN erhielt.

Der Projektauftrag wurde vorrangig unter den Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit, der Wissenschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit definiert. Aus wirtschaftlich vertretbaren Erwägungen war zunächst eine Teilerneuerung des DHHN in Form von Großschleifen geplant. Diese Großschleifen, sogenannte „Pflichtlinien“, sollten sich als Minimalausstattung möglichst auf das vorhandene DHHN beziehen, aber nur noch 60 % des DHHN92 Ursprungsdatenbestandes umfassen. Nachteilig wirkte sich bei dieser Reduzierung der Verzicht von Linien an den Landesgrenzen aus. Hier fehlten durch die Punkteinbußen die Anschlussmöglichkeiten für nachgeordnete Verdichtungsstufen. Zur Problemlösung wurden zusätzliche „optionale Linien“ zugelassen, die ebenfalls in das Gesamtprojekt integriert werden sollen. Beispielhaft hierfür ist die bisherige Linie 1. Ordnung, die Berlin umschließt.

Unter Beachtung aller Hauptkriterien und nach einer ausführlichen Studie wurde in 2004 der Projektauftrag erweitert und neu definiert. Ziel des Projektes ist die Erneuerung des DHHN durch das Verfahren des geometrischen Präzisionsnivelements, verbunden mit epochengleichen GNSS- und Absolutschweremessungen zur:

- Überprüfung des amtlichen Höhen Bezugssystems zwecks Aufdeckung von Höhenänderungen und Spannungen im DHHN92 (Diagnose) mit der Option zur Einführung eines neuen amtlichen Höhenstatus,
- Einbindung des DHHN in ein zukünftiges, integriertes Raum Bezugssystem,
- Modellierung hochgenauer Geoidinformationen für die weitere Verbesserung der satellitengestützten Gebrauchshöhenbestimmung insbesondere mit SAPOS<sup>®</sup> durch die Verknüpfung von Nivellement mit epochengleichen GNSS-Messungen (Systeme GPS und Galileo) und neuen Erdschwerfeldmodellen (Missionen GRACE und GOCE) sowie

- Schaffung aktueller Grundlagen für wissenschaftliche Arbeiten im Sinne der Daseinsvorsorge.

Gründe für die Notwendigkeit der Erneuerung lieferten umfangreiche Datenerhebungen in allen Bundesländern. Hierdurch konnte festgestellt werden, dass die gesetzliche Aufgabe, die Bereitstellung eines bundeseinheitlichen, genauen Höhen Bezugssystems, ohne eine Netzerneuerung langfristig nicht anforderungsgerecht erfüllt werden kann. Dies gilt vor allem in geotektonisch und bergbaulich beeinflussten Regionen. [2], [3]

Mit der Einbindung des DHHN in ein integriertes, epochengleich geschaffenes Raum Bezugssystem sollen langfristig weitere deutliche Kosteneinsparungen erzielt werden. Anstelle aufwändiger nivellitische Wiederholungsmessungen innerhalb der üblichen Perioden soll ein Vergleich ellipsoidischer Höhen auf identischen Punkten zu verschiedenen Epochen Rückschlüsse auf Höhenveränderungen der Erdoberfläche zulassen. Gleichzeitig soll eine Höhen Bezugssfläche hochgenau modelliert werden, um Gebrauchshöhen zukünftig satellitengestützt wirtschaftlich und mit hoher Genauigkeit bestimmen zu können. Ein weiteres Argument für die Erneuerung ist, dass in den Nachbarstaaten entsprechende Aktivitäten existieren oder bereits abgeschlossen wurden.

Im Projektplan des AdV-Arbeitskreises Raumbezug (AK RB) wurde nach gründlichen Kostenanalysen festgelegt, dass die Erneuerung des DHHN92 nach einem integrierten Messverfahren notwendig ist. Außerdem sollen neben den Großschleifen auf bundesweit 250 besonders geeigneten Punkten GNSS-Messungen und auf 100 Punkten, die möglichst mit diesen GNSS-Punkten identisch sind, Absolutschweremessungen erfolgen. Hiermit sollen insbesondere die Forderungen zur Modellierung eines hochpräzisen Quasigeoidmodells erfüllt werden. (Abbildung 1).

Im Mai 2005 beschloss das zuständige Plenum der AdV die Umsetzung des Projektvorschlages für den Zeitraum 2006 bis 2011. Die Hauptaufgabe der neuen Projektgruppe „Koordination und Durchführung zur Erneuerung des DHHN“ bestand darin, dass sämtliche Arbeiten in allen Bundesländern nach einheitlichen Kriterien durchgeführt werden sollten. In Anlehnung an eine für die Erneuerung des DHHN85 genutzte Feldanweisung waren nunmehr drei Feldanweisungen, je eine für das Nivellement, eine für die Durchführung der GNSS-Kampagne und eine für die Absolutschweremessungen, zu erarbeiten. Während die GNSS-Feldanweisung und die Absolutschwerfeldanweisung gänzlich neu entwickelt werden mussten, war die vorhandene Nivellement-Feldanweisung sehr aufwändig fortzuschreiben. Hier war insbesondere der enorme Technologiefortschritt mit den erstmals in einer Großkampagne eingesetzten neuen Digitalnivellieren zu berücksichtigen. In den

Feldanweisungen wurden u.a. auch Festlegungen zu den in den Kampagnen zu verwendenden Instrumenten, zu den Kalibrierverfahren, den Kalibriergrenzwerten und den hierfür autorisierten Kalibrierstellen getroffen. Ringversuche zwischen den ausgewählten Kalibrierstellen gewährleisteten die Kompatibilität der eingesetzten Instrumente und der hiermit ermittelten Messwerte. In der Projektgruppe wurden Erkenntnisse über systematische Fehlfunktionen hochmoderner Präzisionsinstrumente intensiv bearbeitet. Hierdurch konnten Anregungen an die Hersteller zur Implementierung entsprechender Warnhinweise gegeben werden. Beispielhaft hierfür sind die „Kritischen Zielweiten“ bei den digitalen Nivellieren.

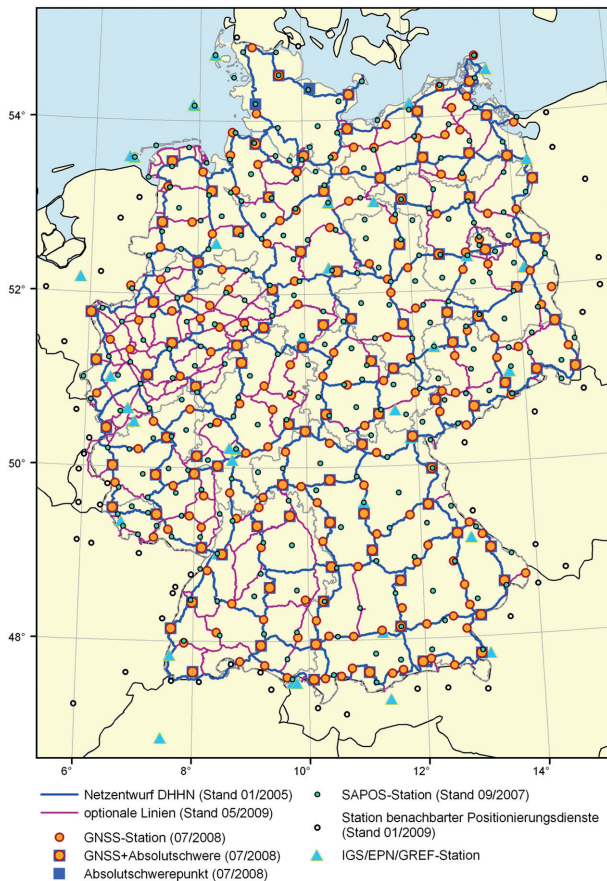


Abb. 1: Projektübersicht Erneuerung des DHHN 2006-2011

Die gemeinschaftliche Nutzung des bekannten Programmpaketes HOEHE führte ebenfalls zu einer starken Vereinheitlichung und insbesondere zu einem hohen Automatisierungsgrad. Um auch hier Systematiken auszuschließen, war die Festlegung auf jeweils zwei unterschiedliche „Rechenstellen“ zwangsläufig. Die Nivellementmesswerte der jeweiligen Bundesländer werden mit dem einheitlichen Programm HOEHE vorausgewertet (Fehlerbetrachtung, Kalibrierkorrekturen, Schwerekorrekturen) und dann von den Rechenstellen bei der Bezirksregierung Köln (ehemals Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen) und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) zu unabhängigen endgültigen bundesweiten Ergebnissen weiterverarbeitet und ausgeglichen. Die zwei Softwarevarianten wurden über repräsentative Groß- und Verdichtungsschleifen hinsichtlich Kompatibilität und systematischen Fehlern getestet und verglichen. Nach derzeitigem

Stand (Frühjahr 2010) liegen die Messergebnisse bundesweit innerhalb der erlaubten Genauigkeiten, wenngleich auch regionale Unterschiede zutage treten. Die Nivellementmessungen können wahrscheinlich termingemäß Ende 2011 beendet werden. Für die Auswertungen, Analysen und Schlussfolgerungen zur Nutzung dieser Resultate sind sicher zwei weitere Jahre einzuplanen. Diese Einschätzung rührt auch daher, dass nunmehr mit sechs oder sieben Datumpunkten ausgewertet wird.

Die 250 GNSS-Punkte wurden in der Zeit von Ende Mai 2008 bis Anfang Juli 2008 in einer 6 wöchigen deutschlandweiten Kampagne mit 34 Messtrupps aus fast allen Bundesländern mehrfach und in 24 Stundenzyklen simultan beobachtet. Die Festlegung auf das Messjahr 2008 erfolgte im Wesentlichen nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten. Dabei wurden Kriterien wie absolutes Sonnenfleckenminimum, Nutzung mehrerer Satellitensysteme, unsichere Perspektiven beim sich ständig verzögerndem System Galileo, die sich zunehmend verschlechternden finanziellen Rahmenbedingungen in den Ländern und der optimale Zeitpunkt zur Projektmitte besonders berücksichtigt. Auch hier sind zwei Rechenstellen für die Auswertung unabdingbar. Die GNSS-Messungen werden beim Landesamt für Geoinformation Niedersachsen in Hannover (LGN) und beim BKG ausgewertet. Die notwendigen und sehr aufwändig zu ermittelnden Kalibrierergebnisse für die einheitlich verwendeten Chokerringantennen bestimmten die Firma GEO++ in Garbsen und die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin auf den hochgenauen Kalibrierrobotern. Die bisher publizierten Zwischenresultate lassen das Erreichen der vordefinierten GNSS-Höhengenaugkeiten von deutlich < 5 mm realistisch erscheinen.

Die als Bestandteil des Gesamtprojektes vereinbarten 100 Absolutschwerepunkte wurden in 2009 etwa zur Hälfte vom BKG gemessen und ausgewertet. Hierfür wurde ein feldtaugliches A10 Absolutgravimeter eingesetzt, das in Deutschland lediglich beim BKG vorhanden ist. Die erreichbare Genauigkeit liegt nach der Reduzierung auf die Oberkante der Vermarkung bei 11  $\mu$ Gal. In 2010 ist hier der Abschluss geplant.

Durch das Gesamtprojekt DHHN 2006-2011 ergaben sich weitreichende Auswirkungen auf die Vorhaben der Landesvermessung in Berlin.

### Die Höhenfestpunktfelder der 1. - 3. Ordnung in Berlin

Wegen des teilungsbedingten Fehlens der 1. Ordnung in Berlin verständigten sich zunächst die Länder Berlin und Brandenburg auf eine Erweiterung des DHHN92 in Anlehnung an den historischen über 100 Jahre alten Linienverlauf der Königlich Preußischen Landesaufnahme (Abbildung 2). Da der Normalhöhenpunkt von der 1911 abgebrochenen Berliner Sternwarte nach Hoppegarten verlegt wurde, bestand die Notwendigkeit zur Festlegung eines neuen Knotenpunktes in Berlin. Hier bot sich der in 1985 im Zusammenhang mit der damaligen Bundesgartenschau (jetzt Britzer Garten) eingerichtete Landeshaupthöhenpunkt an (Abbildung 3). Konsequenzen hatte diese Entscheidung für den Ost-West-Verlauf der Linie entlang des Straßenzuges der heutigen Bundesstraßen 1 und 5. Die Nord-Süd-Linie wurde dagegen weitgehend dem historischen

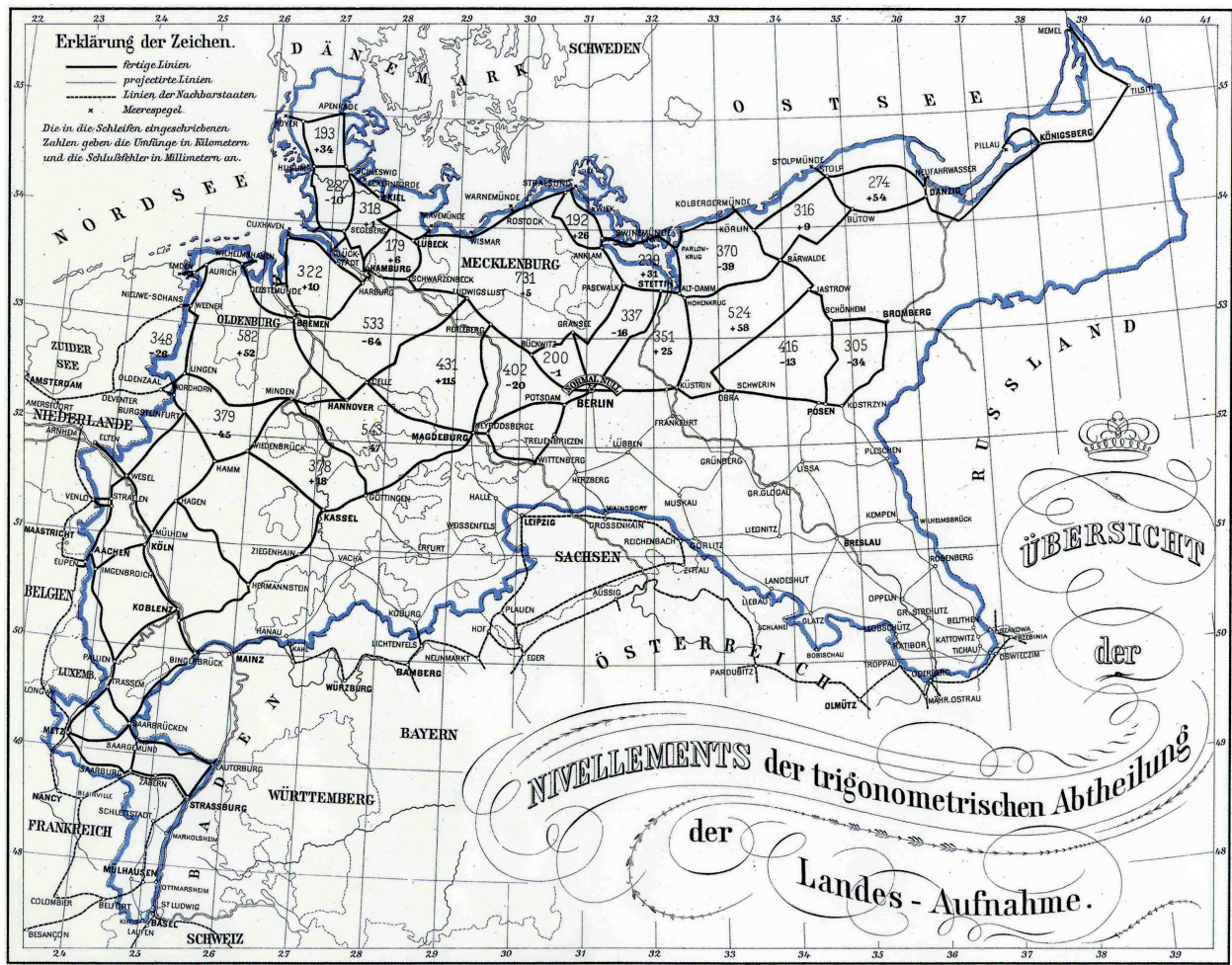


Abb. 2: Linienverlauf der Preußischen Landesaufnahme

Verlauf angepasst. Hierdurch sind in Berlin bisher knapp 200 neue Höhenfestpunkte der künftigen 1. Ordnung entstanden (Abbildung 5). Der durchschnittliche mittlere Fehler aus Hin- und Rückmessungen im Berliner Teil beträgt 0,26 mm. In 2010 wird das Teilstück der Linie Berlin-Lübben vom Knotenpunkt im Britzer Garten bis zur südlichen Stadtgrenze komplettiert. Zur Zeit werden die Höhen der Punkte 1. Ordnung im System des Übergeordneten Höhenfestpunktfeldes (ÜH) bestimmt. Diese Höhen haben einen vorläufigen amtlichen Charakter bis zur Fertigstellung des bundesweiten Gesamtnetzes in voraussichtlich 2012 / 2013.

Das ÜH wurde in der Zeit von 2003 bis 2006 auf 641 Doppelkilometer mit 1050 Punkten erneuert und in 2007 festgesetzt. Wie beim Netz 1. Ordnung waren auch hier die Daten für das ÜH teilweise über 20 Jahre alt. Wegen der zusätzlich hohen Zerstörungsraten mit jährlichen Punktverlusten bis zu 3 % war die Erneuerung unumgänglich. Die Einführung von überwiegend neuen Höhen bei identischen Punkten belegt die Notwendigkeit zur Erneuerung auch im Nachhinein.

Die Erkenntnisse in der 1. Ordnung und 2. Ordnung (ÜH) trafen auch für das Aufnahmehöhenfestpunktfeld (AH) der 3. Ordnung zu. Ein hohes Kundeninteresse an genauen aktuellen Höhen mit noch vertretbaren Nachbarschaftsabständen führten 2005 im Rahmen des Berliner Projektes „Amtliche Ver-



Abb. 3: Schweremessungen am Landeshaupthöhenpunkt im Britzer Garten



messung“ zu der Entscheidung, im Zeitfenster von 2005 bis 2010 auch das AH zu erneuern. Im Gegensatz zur 1. und 2. Ordnung konnten die Bezirke im AH darüber selbst entscheiden, ob geeignete, bereits vor diesem Projektzeitraum durchgeführte großräumige Erneuerungen in das Projekt einbezogen werden. Drei Bezirke entschieden sich, für die Hälfte der Bezirksfläche bis zu 15 Jahre alte Daten mit in das Projekt zu übernehmen. In der gemeinsamen zwischen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin und den 12 Bezirksvermessungsämtern geschlossenen Zielvereinbarung wurde zudem eine Reduzierung des Punkbestandes der ursprünglich 10.000 Höhenfestpunkte um 50 % festgelegt, was künftig deutlich größere Punktabstände von durchschnittlich 400 m zur Folge hat. Aktuelle Abfragen lassen erwarten, dass Ende 2010 die Außenarbeiten in allen Bezirken abgeschlossen sein werden. Insgesamt werden in der 1. - 3. Ordnung in Berlin ab 2012 ca. 6.500 Höhenfestpunkte zur Verfügung stehen.

### Die Schwerfestpunktfelder der 1. - 3. Ordnung in Berlin

Wegen der an der Technischen Universität Berlin (TUB) im Bereich der Schweremessung vorhandenen Instrumente und Auswerteprogramme wurden im Rahmen eines Kooperationsabkommens die Schwerewertbestimmungen im Deutschen Hauptschwerenetz 1996 (DHSN96) für die ca. 100 Schwerfest-

punkte der 3. Ordnung vom dortigen Institut durchgeführt. Für die 2. Ordnung wurden 14 Punkte vom BKG in 2003 bzw. 2009 gemessen und ausgewertet. Hiervon sollen wegen der herausragenden Qualität der Absolutschweremessungen u.U. noch vier mit dem A10 gemessene Punkte in Abstimmung mit der AdV in die 1. Ordnung des DHSN96 hoch gestuft werden. Bisher verfügt Berlin über einen Schwerfestpunkt 1. Ordnung im DHSN96. Alle drei Netze wurden in 2009 gemeinsam ausgeglichen. Die gleichmäßig über Berlin verteilten Schwerfestpunkte sind wegen der erforderlichen Schwerewertkorrekturen bei der Normalhöhenberechnung und für die Modellierung des Quasigeoids unverzichtbar (Abbildung 4).

### Das Geodätische Grundnetz in Berlin

Das Plenum der AdV legte in 2004 in einem Strategiepapier [4] den künftigen einheitlichen Raumbezug in Deutschland fest. Danach sollen die Höhenfestpunkte des DHHN92 der 1. Ordnung, die Schwerfestpunkte des Deutschen Schwergrundnetzes 1994 (DSG94) sowie die Punkte der 1. Ordnung des DHSN96, die SAPOS-Referenzstationen und die Geodätischen Grundnetzpunkte (GGP) den einheitlichen künftigen dreidimensionalen Raumbezug repräsentieren. Die GGP haben dabei die Aufgabe, das SAPOS-Referenzstationsnetz zu sichern. Dieses bedingt, dass die GGP-Bestimmung gemeinsam mit den

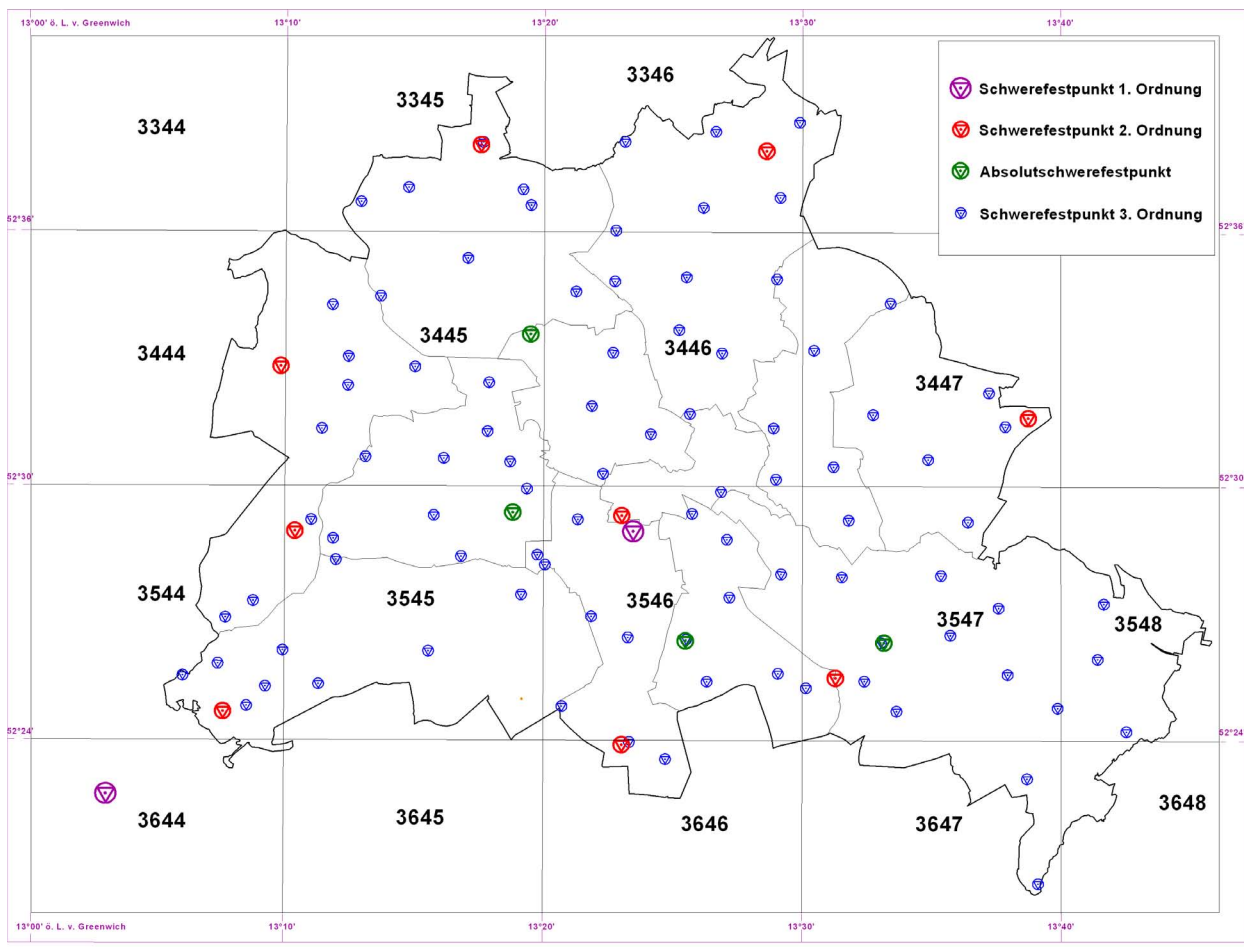


Abb. 4: Übersicht der Schwerfestpunkte in Berlin

umliegenden Referenzstationen und den benachbarten GGP auch über die Landesgrenzen hinaus erfolgen muss. Bestimmungskriterien für GGP sind Höhen im DHHN92, Schwerewerte im DHSN96 und Koordinaten im ETRS89 in jeweils hoher Genauigkeit bei einem maximalen Punktabstand von 30 km. Diese Hauptvoraussetzungen erfüllen die in der GNSS-Kampagne 2008 angemessenen Punkte uneingeschränkt. Daher hat der Arbeitskreis Raumbezug der AdV in 2008 beschlossen, die GNSS-Punkte als Bestandteil des GGP-Festpunktfeldes in Deutschland einzuführen. In Berlin soll neben einer qualitativ und quantitativ ausgewogenen GGP-Ausstattung wegen besonderer Infrastrukturanforderungen ein Festpunktfeld aus insgesamt 150 dreidimensionalen Festpunkten dauerhaft unterhalten werden. Hierbei sind neben den drei SAPOS-Referenzstationen, zwei von den 250 deutschlandweiten GNSS-Punkten der Kampagne 2008, vier weitere, besonders stabile Messpfiler und sieben Punkte aus der länderübergreifenden BREF/BRAREF-Kampagne als künftige GGP eingerichtet und gemessen worden (Abbildung 5). Die endgültige Bestimmung ist abhängig von der GNSS-2008-Kampagnenauswertung der beiden oben genannten Rechenstellen. Die Messungen auf den vier Pfeilern erfolgten simultan zu den bundesweiten Beobachtungen im Berliner Raum in zwei unabhängigen 24-stündigen Messzyklen. Unterstützt wurde die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abteilung Geoinformation hierbei von der überwiegenden Anzahl der Bezirksvermessungsämter. Die Berliner Referenzpunkte wurden im Februar 2008 durch die

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und im Herbst 2009 durch Vergabe der Messleistungen an fünf Berliner Öffentlich bestellte Vermessungsingenieure (ÖbVI) mit weiteren 40 Punkten des Raumbezugsnetzes im Rahmen eines durch die EU geförderten Projektes (EFRE) bestimmt. Von den insgesamt 150 dreidimensionalen Punkten wurden Anfang 2010 über ein Drittel in das Gesamtnetz integriert. Für die restlichen ca. 85 Punkte, die auch zur Ableitung lokaler Transformationsparameter vorgesehen sind, ist eine weitere, erheblich weniger aufwändige Kampagne in 2010 vorgesehen. Und zur Qualitätssicherung werden zukünftig neben den Überwachungstätigkeiten lediglich in größeren Zeitabständen für die länderübergreifende Einheitlichkeit des Raumbezuges deutschlandweite Überprüfungskampagnen notwendig sein.

### Quellenangaben

- [1] AdV - Arbeitskreis Raumbezug (2003): A 11-2.4.2
- [2] AdV - Arbeitskreis Raumbezug (2004): A 12-2.5.2
- [3] AdV - Arbeitskreis Raumbezug (2004): A 12-2.5.3
- [4] AdV - Plenum (2004): Beschluss 115/7
- [5] Richtlinie für den einheitlichen Raumbezug in der Bundesrepublik Deutschland

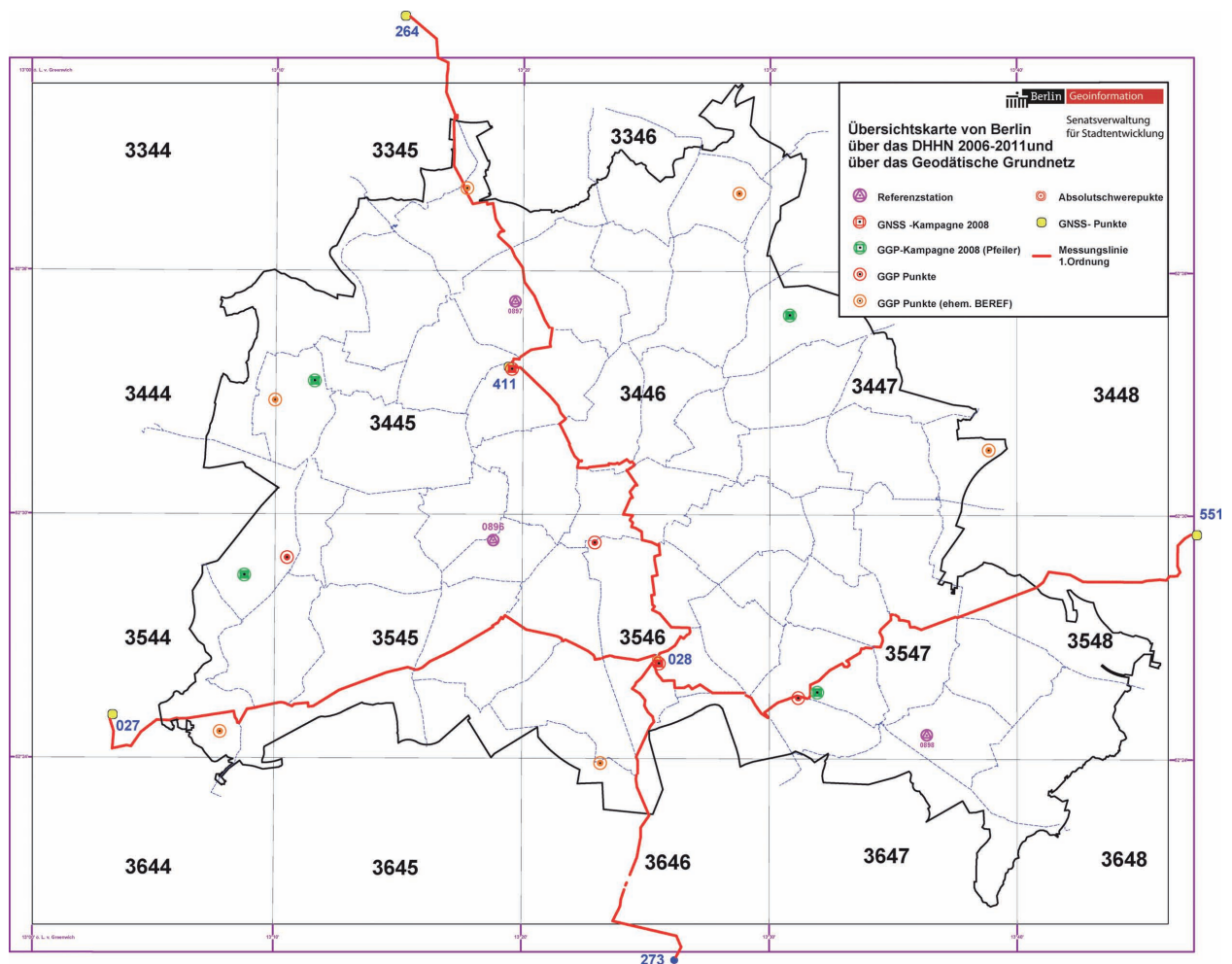


Abb. 5: Übersichtskarte von Berlin über das DHHN 2006-2011 und über das Geodätische Grundnetz