



Einführung

Das Hessische Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG) beabsichtigt, langfristig die Höhennetze 3. und 4. Ordnung zugunsten der GPS-Höhenbestimmung aufzugeben. Um die dabei erforderliche Transformation in das amtliche Höhensystem zu ermöglichen, wird in Hessen bereits seit einigen Jahren das Konzept der Digitalen Finite Element Höhenbezugsfläche (DFHBF) eingesetzt.

Das DFHBF-Konzept

Die DFHBF ist eine Entwicklung des DFHBF-Teams der FH Karlsruhe. Im Standardfall kombiniert die DFHBF Geoid- bzw. Quasigeoidmodelle sowie Stützpunkte (mit ellipsoidischer Höhe h und Landeshöhe H) zu einer stetigen und kontinuierlichen Höhenbezugsfläche. Die Höhenbezugsfläche wird dabei in einen Verbund vieler kleiner Teilflächen, die Maschen, zerlegt. Innerhalb jeder Masche wird die Höhenbezugsfläche durch bivariate Flächenpolynome repräsentiert. Durch entsprechende Bedingungen wird Stetigkeit an den Maschengrenzen gewährleistet. Zur Eliminierung mittel- und langwelliger Geoidverformungen wird auch das Geoidmodell in Teilflächen, die sog. Geoidpatches, unterteilt. Diese werden durch jeweils einen eigenen Datumsübergang (dNi) an das Niveau der Stützpunkte angepasst.

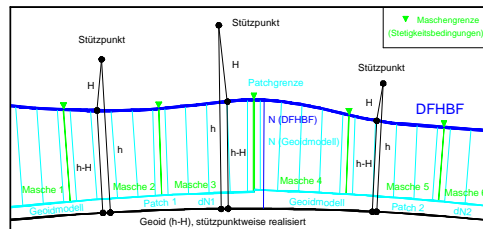


Abb. 1: DFHBF-Konzept der Maschen, Stetigkeitsbedingungen, Geoidpatches und ihrer Datumsübergänge

Beteiligte Referenzsysteme

ETRS89 im Datum der BKG-Diagnoseausgleichung 2003

Aufgrund einer Diagnoseausgleichung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) im Sommer 2003 erhielt die überwiegende Mehrheit aller SAPOS®-Stationen neue Koordinaten. In Hessen wurden die Punkte der ETRS89-Hierarchiestufe C (HREF-Punkte) ebenfalls in dieses neue Datum überführt.

Deutsches Haupthöhennetz 1992 (DHHN92)

Die Umstellung des amtlichen Höhensystems von NN-Höhen des DHHN12 auf NHN-Höhen des DHHN92 wurde in Hessen 2004 vollzogen.

Verdichtungspunkte

Bisher hatten nur die ca. 60 HREF-Punkte hochgenaue Höhen in den o.g. Referenzsystemen. Um die Stützpunktzahl dieser Güte deutlich zu steigern, fanden zwischen Januar 2002 und Juni 2005 in Hessen GPS-Messungen auf bzw. in unmittelbarer Nähe von Nivellementpunkten 1. und 2. Ordnung statt.

GPS-Messungen

Die Rovermessungen lassen sich folgendermaßen spezifizieren:

- Eine Session mit 6 bis 8 h oder zwei Sessions mit 3 bis 4 h
- Individuell kalibrierte GPS-Antennen für Rover und Referenz
- Aufstellung der GPS-Antenne über dem Nivellementpunkt bzw. dessen Exzentrum mittels kalibrierter Standrohre

Auswertung

Wesentliche Merkmale der Postprocessing-Auswertung mit der Berner Software, Version 5.0, sind:

- Verwendung der benachbarten SAPOS®-Referenzstationen
- Präzise Ephemeriden
- Elevationsmaske 10°
- Korrekte Beachtung der mathematischen Korrelationen im Netz
- Schätzung von zeitvariablen, relativen Troposphärenparametern
- Hierarchische Ausgleichung der Sessions, d.h. unter Anschlusszwang an die SAPOS®-Referenzstationen

Ergebnis

Die ca. 150 Verdichtungspunkte wurden im ETRS89 im Datum der BKG-Diagnoseausgleichung 2003 bestimmt. Die Genauigkeitsabschätzung aus Wiederholungsmessungen ergibt eine mittlere Standardabweichung für die Höhe von ca. 4 mm.

Quasigeoidmodelle EGG97 und SatNivGeoid

Das EGG97 des Instituts für Erdmessung (IfE) der Universität Hannover wurde gravimetrisch durch Anwendung der Stokes-Formel und einer Remove-Restore-Technik (RRT) bestimmt. Die Berechnung des SatNivGeoides vom BKG hingegen beruht auf einem RRT-Punktmassenansatz. Beim SatNivGeoid ist, im Gegensatz zum EGG97, eine Datumsanpassung über Stützpunkte implizit enthalten. Ansonsten sind die Eingangsdaten weitgehend identisch. Für beide Modelle wird die Genauigkeit (für Hessen) mit 1 bis 2 cm angegeben.

Da beide Modelle in die DFHBF eingeführt werden sollen, werden sie zunächst durch Differenzbildung verglichen. Die unterschiedliche Lagerung wird dabei vorab durch eine Schrägebene

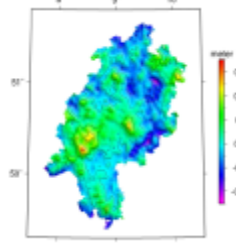


Abb. 2: Differenzen SatNivGeoid - EGG97 nach Datumsübergang durch eine Schrägebene

beseitigt. Die Differenzen, die in der Abbildung 2 für die Landesfläche dargestellt sind, betragen im Mittel 6 mm. Die Extremwerte erreichen die Größenordnung von 2 bis 3 cm. Deshalb ist es durchaus sinnvoll, beide Modelle zu verwenden. Die DFHBF ergibt dann eine mittlere Fläche.

Die neue, hochauflösende DFHBF für Hessen

Nach Auswertung der Verdichtungsmessungen war die Berechnung einer neuen, hochauflösenden DFHBF möglich.

Design und Eingangsdaten

- 22 Quasigeoidpatches
- 1819 Maschen der Größe 4 km x 4 km
- Kubische Polynomentwicklung
- C0-Stetigkeit
- 233 Stützpunkte mit ellipsoidischer Höhe und NHN-Höhe
- 45475 EGG97-Höhenanomalien
- 45475 SatNiv-Höhenanomalien
- 90950 EGG97-Lotabweichungskomponenten

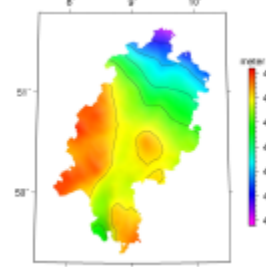


Abb. 3: Die neue, hochauflösende DFHBF für Hessen mit 0,5m-Isolinien



Abb. 4: Patches, Maschen und Stützpunkte der DFHBF

Quasigeoidpatching und Stützpunktzahl

Laut IfE ist beim EGG97 zur Tilgung der langwelligigen Quasigeoidfehler für die Ausdehnung Hessens eine Schrägebene ausreichend. Dem entspricht ein DFHBF-Design mit nur einem Patch. Ein Vergleich zum gewählten Design mit 22 Patches (Abb. 4) zeigt, dass letzteres tatsächlich nicht zu wesentlich geringeren Stützpunktverbesserungen führt.

Allerdings nehmen die Verbesserungen zwischen der DFHBF und den beiden beteiligten Quasigeoidmodellen durch das Patching spürbar ab. Darüber hinaus ermöglicht es eine bessere Anpassung an die beteiligten außerhessischen Stützpunkte. Diese sind zwar formal ebenfalls in den gleichen Referenzsystemen gegeben. Allerdings unterscheiden sie sich teilweise in Art und Qualität der Höhenbestimmung von den hessischen Stützpunkten. Deshalb sind systematische Abweichungen zwischen den beiden Stützpunktgruppen nicht auszuschließen. Diese Annahme wird

letztlich durch die i.d.R. systematischen Verbesserungen für die außerhessischen Stützpunkte auch belegt.

In jedem Patch sind mindestens 8 bzw. durchschnittlich 10 bis 11 Stützpunkte enthalten. Für die Stützpunkte wird bei der DFHBF-Berechnung u.a. der sog. Reprowert ermittelt. Er ist als Differenz zwischen der gegebenen nivellierten Landeshöhe und der aus der ellipsoidischen Höhe mittels der DFHBF-Höhenanomalie berechneten Landeshöhe definiert. Dabei nimmt allerdings der Stützpunkt, für den der Reprowert ausgegeben wird, nicht an der DFHBF-Berechnung teil. Er lässt sich deshalb für die DFHBF, die genau auf diesen Stützpunkt verzichtet, als unabhängige Soll-Ist-Differenz deuten. Der Vergleich zwischen den Reprowerten und den Verbesserungen in den Stützpunkt-Höhenanomalien zeigt kaum Differenzen. Der Einfluss eines jeden einzelnen Stützpunktes auf den Datumsübergang und somit auf die DFHBF ist also gering. Deshalb darf einerseits davon ausgegangen werden, dass die gewählte Stützpunktzahl für stabile Datumsübergänge ausreichend ist. Andererseits dürfen die Reprowerte zur Beurteilung der DFHBF-Qualität herangezogen werden.

Genauigkeit

Das Histogramm der Reprowerte (Abb. 5) sowie die Standardabweichung der DFHBF-Höhenanomalie (Abb. 6) zeigen, dass das Genauigkeitsniveau der neuen DFHBF mit 1 cm angegeben werden darf. Diese Einschätzung wird auch durch einen Vergleich mit dem kürzlich vom BKG herausgebrachten German Combined QuasiGeoid 2005 bestätigt. Er ergibt einen durchschnittlichen Fehler von 5 mm.

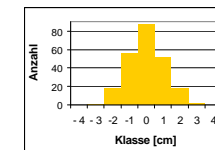


Abb. 5: Histogramm der Reprowerte der neuen DFHBF

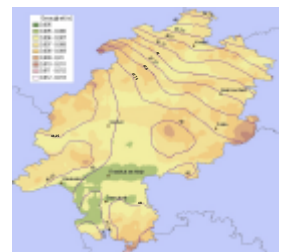


Abb. 6: Standardabweichung der Höhenanomalie (farbkodiert) und 0,25m-Isolinien der neuen DFHBF

Zusammenfassung

Das Institut für Physikalische Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt hat in Kooperation mit dem Hessischen Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation zunächst die GPS-Messungen von ca. 150 neuen Stützpunkten mit der Zielsetzung einer möglichst genauen Höhenkomponente ausgewertet. Anschließend wurde eine neue, hochauflösende Digitale Finite Element Höhenbezugsfläche berechnet. Ihr Genauigkeitsniveau kann mit 1 cm angegeben werden.