

Das Quasigeoid-Modell für das bayerische Höhenfestpunktfeld

zur Umrechnung von ellipsoidischen Höhen über dem GRS80-
Ellipsoid in normalorthometrische Höhen (NN, Status 100)
und
Normalhöhen (NHN, Status 160)

Version 2007

(Verfahrensbeschreibung)

Das Bundesamt für Kartografie und Geodäsie (BKG) stellte 2005 ein neues, gemeinsam mit dem Institut für Erdmessung (IfE) entwickeltes Quasigeoid-Modell, das GCG05-Geoid (German Combined Geoid 2005) zur Verfügung (Bild 1).

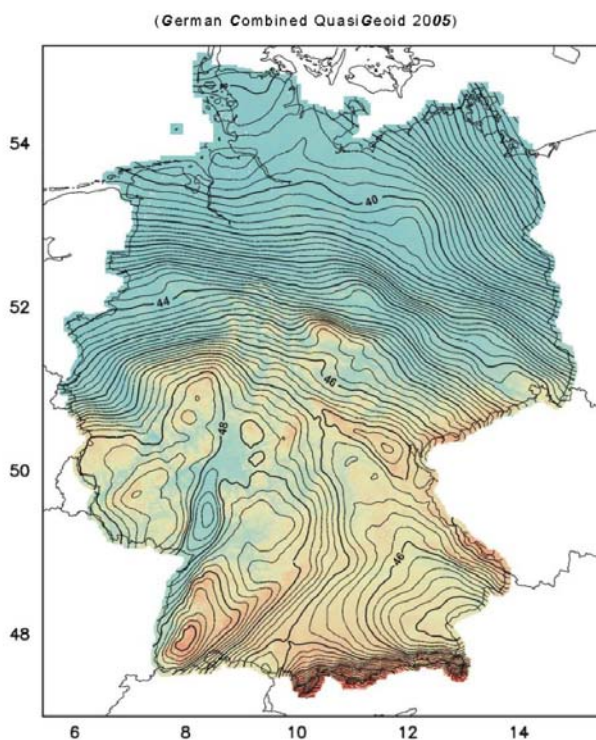


Bild 1:
Quasigeoid der Bundesrepublik Deutschland 2005.
Höhenreferenzfläche der Arbeitsgemeinschaft der
Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV)

Repräsentiert wird dieses Modell durch ein virtuelles, regelmäßiges Gittersystem, dessen Knotenpunkte in geografischen Koordinaten auf dem GRS80-Ellipsoid (Geodetic Reference System 1980) definiert sind. Die Maschenweite des Gitters beträgt eine nautische Meile, also 1,85 km oder 1 Bogenminute in der geografischen Breite und 1,85 km oder 1,5 Bogenminuten in der geografischen Länge. Jeder Knotenpunkt ist Träger eines Undulationswertes, der die ellipsoidischen Höhen über dem GRS80-Ellipsoid in Normalhöhen (NHN, Höhenstatus 160) überführt.

Dieses Geoid-Modell wurde durch das Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG) Bayern in drei Schritten an das bayerische Höhenfestpunktfeld angepasst.

Schritt 1

Begrenzung des Geoid-Modells auf das Gebiet Bayerns

Das für ganz Deutschland geltende Gitter wurde zunächst auf einen nur Bayern umfassenden, rechteckigen Bereich reduziert, um die Datenmenge zu verringern.

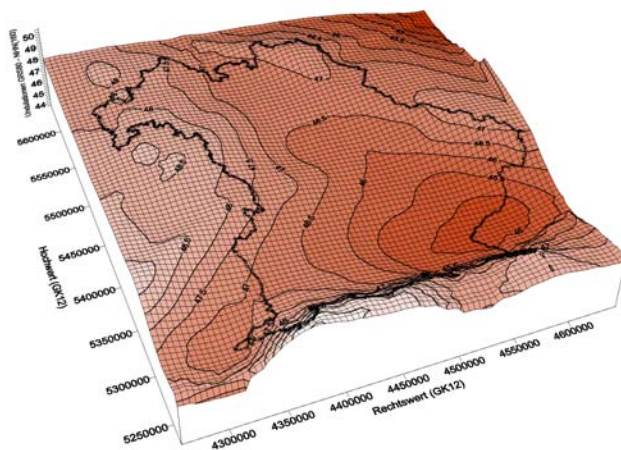


Bild 2:
Das GCG05-Geoid-Modell, reduziert auf das Gebiet Bayerns. Nach Süden und Osten sind die Werte in dieser Darstellung zunehmend extrapoliert.

Auch muss die Funktion des modifizierten Geoid-Modells auf das Gebiet Bayerns beschränkt bleiben, da vermieden werden soll, dass in Gebieten außerhalb Bayerns falsche oder unzuverlässige Undulationswerte durch Extrapolation ermittelt werden.

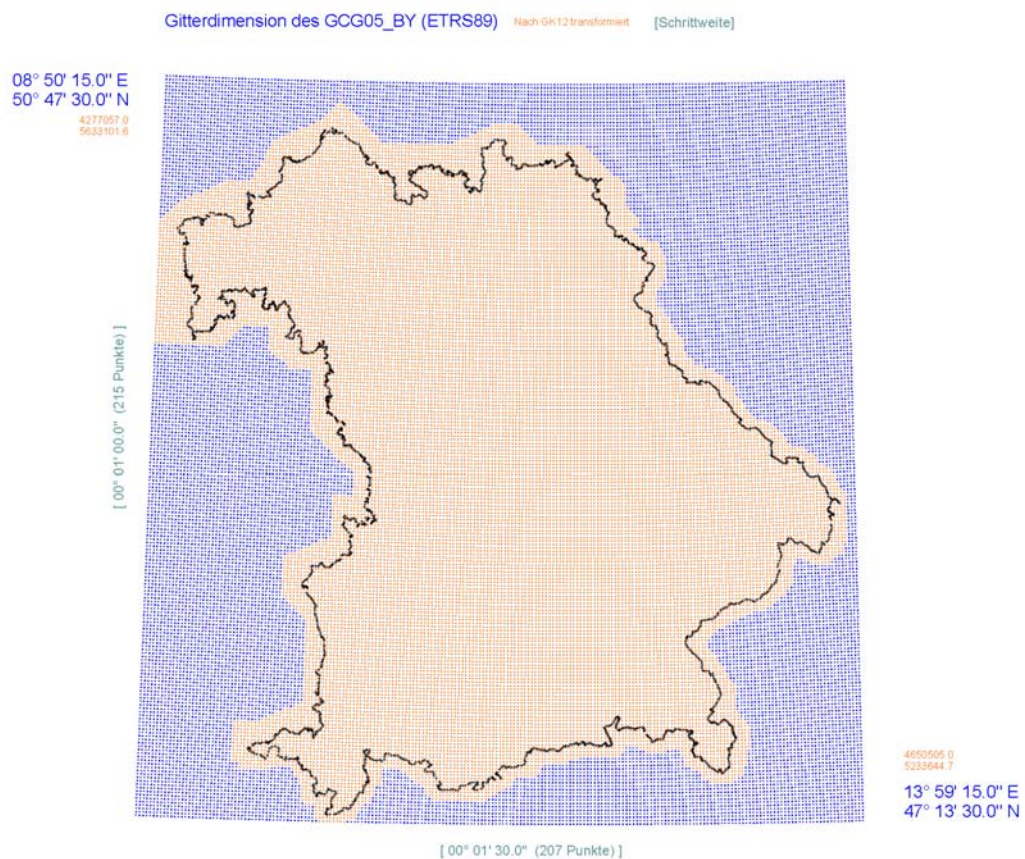


Bild 3:
Der für Bayern definierte Bereich des 1-Meilen-Gitters: Die roten Gitterpunkte beschreiben den funktionalen Bereich. Die blauen Punkte tragen „Dummy“-Werte, d.h. hier erfolgt keine Höhentransformation.
„Lieber kein Wert als ein falscher Wert“.

Dabei war darauf zu achten, dass das Gitter groß genug ist, damit auf der bayerischen Grenze noch keine Interpolationsprobleme durch fehlende Maschenpunkte auftreten können. Durch neue Anforderungen (Transformations-Message im RTCM 3.3) traten im bisherigen Geoidmodell (2004) kleinere Lücken im Bereich Miltenberg, an der Grenze zu Hessen und am Bodensee auf (Bild 2).



Bild 4:
In Bayern wirksamer Anteil des Gitter-Systems, **Stand 2005**: an drei Stellen erwies sich das Gitter zu eng begrenzt.

Die neue Begrenzung des Funktionsbereiches wurde deshalb ausgeweitet. Dies bedeutet aber auch, dass der Nutzer bei Überschreitung der Grenze Bayerns verantwortungsvoll vorgehen muss.

Schritt 2

Umrechnung des vom BKG bereitgestellten Geoid-Modells von Normalhöhen auf Normalorthometrische Höhen.

Inzwischen sind die Normalhöhen (NHN, Status 160) aller Nivellementpunkte (NivP) in Bayern berechnet und gelten neben den Normalorthometrischen Höhen (NN, Status 100) als amtliche Höhen im Sinne des NivP-Nachweises.

Somit existieren in Bayern derzeit zwei Höhensysteme gleichberechtigt nebeneinander.

Entsprechend werden zwei Geoid-Modelle berechnet:

1. das durch Stützpunkte für den bayerischen Bereich optimierte GCG05-Modell für NHN-Höhen und
2. ein nach NN transformiertes und durch Stützpunkte verbessertes Modell für NN-Höhen.

Um auch ein Ausgangsgitter für Fall 2 zur Verfügung zu haben, mussten die Undulationswerte des GCG05 vom Höhensystem 160 (NHN) nach 100 (NN) umgerechnet werden. Hierzu wurden die Höhen- und Schwereinformationen aller von NN nach NHN umgerechneten NivP 1. bis 3. Ordnung genutzt.

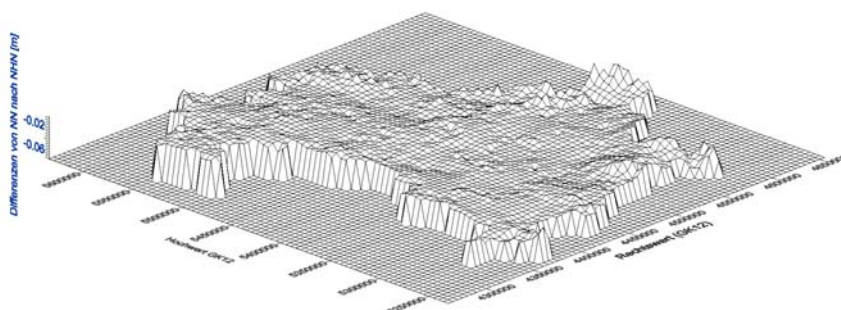


Bild 5:
Differenzwerte vom Höhenstatus 100
(NN) nach 160 (NHN)

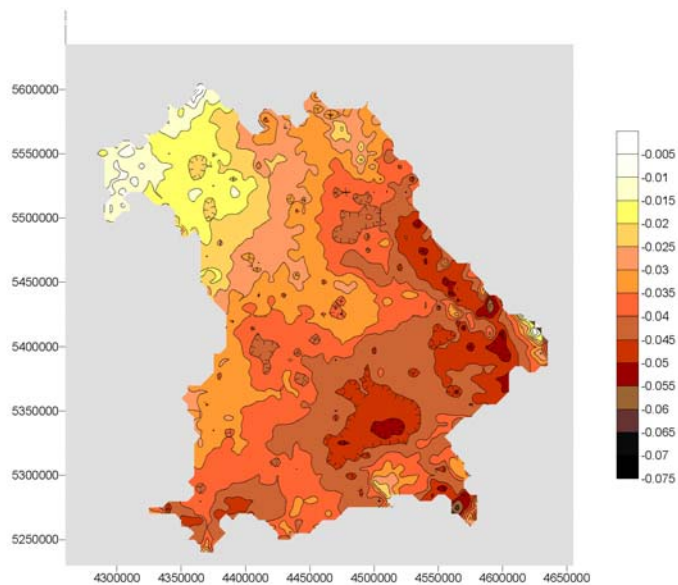


Bild 6:
Verlauf der Differenzen von NHN (Status
160) nach NN (Status 100) in Bayern

Diese beiden Geoid-Modelle, also das GCG05 (BKG & IfE) mit den Undulationen nach NHN und dessen nach NN modifizierte Variante, wurden im nächsten Schritt für das bayerische Höhennetz optimiert.

Schritt 3

Anpassung der Geoid-Modelle an das bayerische Höhenfestpunktfeld durch Höhenstützpunkte.

Zur Stützpunktauswahl:

Um durch die Geoid-Modelle die Verbindung zwischen ETRS89-Koordinaten (European Terrestrial System 1989) und den amtlichen Höhensystemen zuverlässig herstellen zu können, müssen die Stützpunkte sorgfältig ausgewählt werden. Insbesondere die Höhenkomponenten der ETRS-Koordinaten (ellipsoidische Höhen) müssen mit ausreichender Genauigkeit (mindestens 1 cm) bekannt sein, um das ohnehin sehr gute GCG05-Geoid (Angabe BKG: $\pm 1-2$ cm) noch wirklich verbessern zu können. „Verbessern“ ist hier im Sinne von „Anpassen an das amtliche bayerische Höhenfestpunktfeld“ zu verstehen.

In Bayern stehen inzwischen flächendeckend sowohl einnivellierte als auch mit GNSS (Global Navigation Satellite System) gemessene Punkte zur Verfügung, bei denen die Beobachtungsdauer nicht unter 2 x 6 Stunden beträgt und deren ellipsoidische Höhen daher mit guter Genauigkeit ermittelt wurden. Es handelt sich dabei vorwiegend um Lagefestpunkte (Trigonometrische Punkte, TP) der Hierarchiestufen A bis D und Versicherungsplatten der SAPOS-Stationen. Es steht auch eine wachsende Anzahl sog. Langzeit-GNSS-beobachteter NivP 1. und 2. Ordnung zur Verfügung (Beobachtungszeit 2 x 12 Stunden).

Bei der Bestimmung des Geoids für NHN-Höhen wurden auch C-Netz-Punkte aus Baden-Württemberg, Hessen und Thüringen verwendet, um einen stetigen Übergang zu den Nachbarländern zu gewährleisten.

Die NN- bzw. NHN-Höhen der Stützpunkte wurden ausschließlich mit nivellitischen Verfahren bestimmt (Höhenanschluss und Messverfahren mindestens durch Nivellement 3. Ordnung).

Bild 7 zeigt die Lage und die Art der verwendeten Stützpunkte.

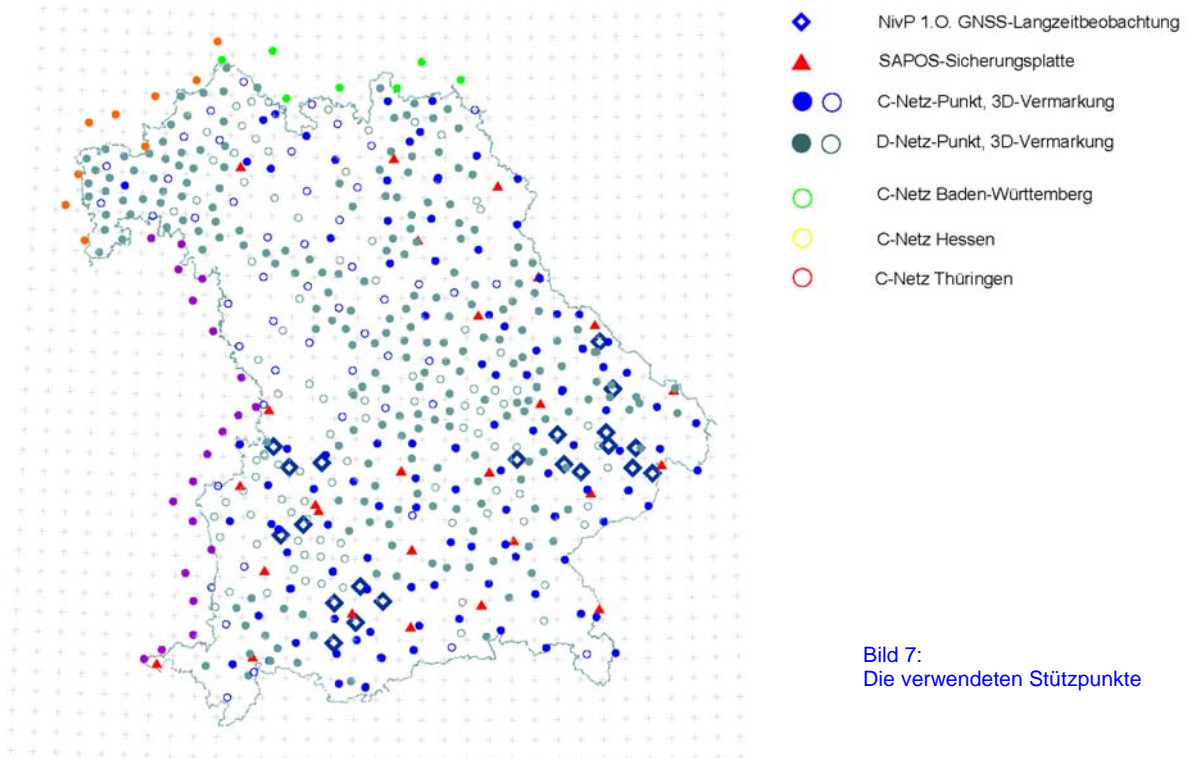


Bild 7:
Die verwendeten Stützpunkte

Die ellipsoidischen, aus GPS-Messungen bekannten Höhen der Stützpunkte wurden mit den Geoid-Modellen aus **Schritt 2** in NHN-, bzw. NN-Höhen überführt. Mit diesen „Ist“-Höhen (H_{geoid}) und den durch Nivellement bekannten „Soll“-Höhen ($H_{\text{nivelliert}}$) wurde jeweils eine 7-Parameter Helmert-Transformation (von „Soll“ nach „Ist“) gerechnet *). Die Bilder 8 und 9 zeigen die Restklaffungen der Höhen aus diesen Transformationen. **)

*) Hierzu wurden die Punkte jeweils mit fiktiven kartesischen Koordinaten dargestellt, wobei die Lagekomponenten in beiden Systemen identisch waren.

***) Also Lagerresiduen von Null



Bild 8:
Residuen der Stützpunkte
nach der 7-Parameter-
Transformation
Status 160 (NHN)

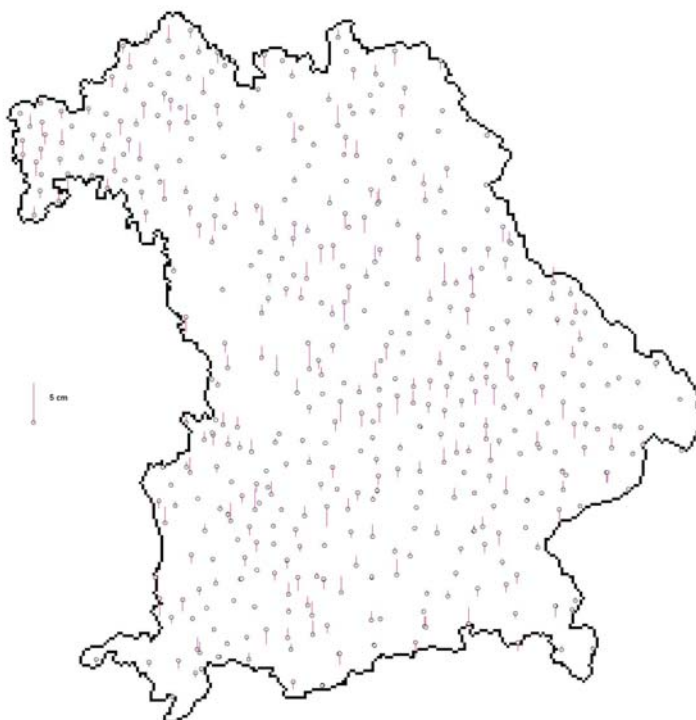


Bild 9:
Residuen der Stützpunkte
nach der 7-Parameter-
Transformation
Status 100 (NN)

Mit diesen Parametern wurden nun jeweils die Undulationen der beiden Ausgangs-Gittersysteme unter multiquadratischer Verteilung der Restklaffungen berechnet, so dass sich nun das vom BKG definierte Quasigeoid jetzt noch besser an das bayerische Höhenfestpunktfeld (NN und NHN) anschmiegt.

Zur Kontrolle wurden die ellipsoidischen Höhen der Stützpunkte mit diesem verbesserten Gitter nach NN überführt. Die geringen Differenzen - hier exemplarisch für das Geoid 160 - zur nivellierten (Soll-) Höhe zeigen, wie wirkungsvoll die Restklaffungen aus der 7-Parameter-Transformation verteilt worden sind (Bild 10).



Bild 10:
Zur Verbesserung des Geoid-Modells verwendete Stützpunkte mit den Restklaffungen nach der Transformation mit dem Gitter.

Einen praktischen Test dieses Geoid-Gitters (aktuelle Version 2005) zeigt Bild 11: die ellipsoidischen Höhen einnivellierter TP der Hierarchiestufen A bis D und von NivP mit bekannten ETRS89-Koordinaten wurden nach NN überführt und mit den Soll-Höhen verglichen. Es zeigen sich einzelne „Ausreißer“, die aber alle unter 5 cm bleiben. Ausreißer können auch auf eine schlechtere Qualität der ellipsoidischen Höhe (ETRS-Koordinate) schließen lassen.



Bild 11:
Test des Gitters Version 2005. Nivellierte Höhen minus mit Gitter gerechneten Höhen

Ein Vergleich mit dem Gitter der Version 2004 zeigt eine klare Verbesserung der Genauigkeit, die durch eine größere Zahl an Stützpunkten hoher Qualität ermöglicht wurde (Bild 12).

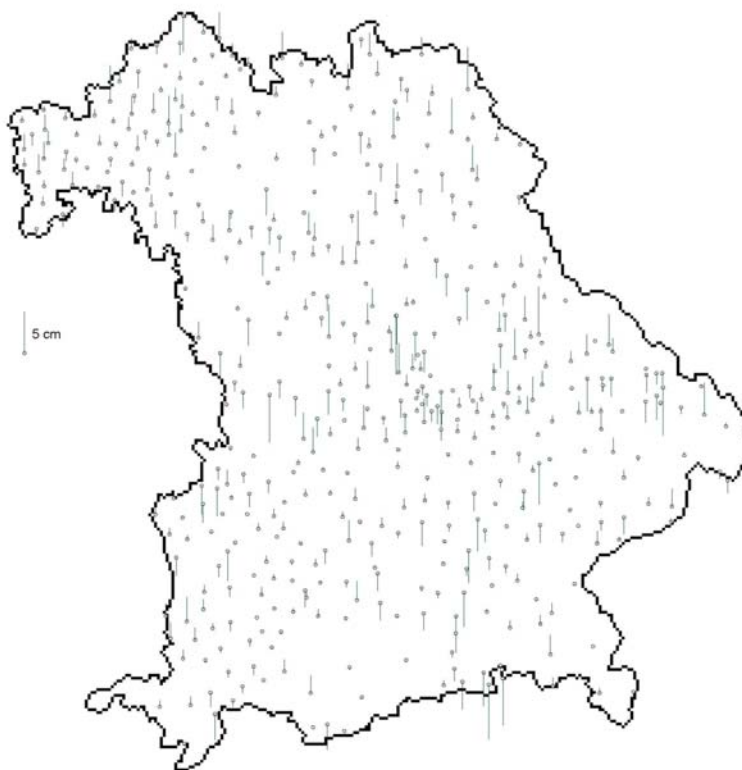


Bild 12:
Test des Gitters Version 2004. Nivellierte Höhen minus mit Gitter gerechneten Höhen

Einsatzmöglichkeit und Vorteile des Geoid-Systems:

Die interessantesten Anwendungen sind zweifelsohne im Betrieb von GPS-Rovern zu sehen, vor allem in Verbindung mit Echtzeit-Diensten wie SAPOS oder ASCOS.

Die Systeme können in die meistverwendeten geodätischen GPS-Rover eingebunden werden und liefern mit geringer Prozessorbelastung (bilineare oder bikubische Interpolation) NN- bzw. NHN-Höhen in Echtzeit – ideal für die Suche unterirdischer Punkte und GIS-Anwendungen.

Das neue RTCM 3.0 Protokoll erlaubt es, einen Ausschnitt des Geoidmodells für den Rover-Standort in der Zentrale des Echtzeitdienstes berechnen zu lassen und an den Rover zu übermitteln. Ein entsprechend ausgestatteter Rover kann daraus die Undulation für seinen Standort berechnen und muss nicht das gesamte Geoidmodell im Speicher führen.

Viele bekannte Postprocessing-Programme unterstützen Geoid-Modelle und erlauben es, berechnete ellipsoidische Höhen sofort als NN-Höhen anzuzeigen.

Es muss in diesem Zusammenhang aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass aus den Geoid-Modellen **keine amtlichen NN-Höhen** abgeleitet werden können.

Weiterentwicklung der Geoid-Modelle:

Das LVG Bayern entwickelt die Geoid-Modelle durch Bestimmung von mehr, genaueren und besser verteilten Stützpunkten kontinuierlich weiter. In variablen Abständen (Richtwert ca. ein bis zwei Jahre) erfolgt ein Update, das registrierten Nutzern kostengünstig zur Verfügung gestellt wird.