

Überprüfung der Genauigkeit des Digitalen Geländemodell ATKIS®-DGM50

Andreas Gerschwitz

Zusammenfassung

Das Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein hat nach einer Möglichkeit gesucht, die es erlaubt, die Genauigkeit des ATKIS®-DGM50 großflächig abzuschätzen. Hierzu hat es ein Verfahren unter Verwendung von Höhenangaben seines Festpunktfeldes entwickelt.

Summary

The office for land surveying Schleswig-Holstein has been looking for a possibility, which permits it to measure the accuracy of ATKIS®-DGM50. For this purpose, a procedure using elevation data of its fixed point field has been developed.

1 Ursache der Überprüfung

Die Länder bauen zur Zeit in Zusammenarbeit mit dem Bund relativ kurzfristig ein bundesweites Digitales Ge-

ländemodell, das DGMDeutschland, auf. Das DGM Deutschland soll eine Höhengenauigkeit von 1–3 m und eine Gitterweite von 50 m oder kleiner aufweisen. Vor diesem Hintergrund sollte geprüft werden, ob das für Schleswig-Holstein flächendeckend vorliegende DGM50 mit einer Gitterweite von 50 m und einer geschätzten Genauigkeit von 3–5 m für das DGMDeutschland mit herangezogen werden kann. Hierzu soll die Genauigkeit des DGM50 anhand von Festpunktthöhen überprüft werden.

Des Weiteren will man eine Aussage erhalten, ob mit dem gewählten Modellansatz die Qualität des DGM50 mit Hilfe der Festpunktthöhen gesteigert werden kann.

2 Erfassung des DGM50

Das Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein erstellte 1995 das DGM50. Da seine Genauigkeit für viele Anwen-

dungszwecke nicht ausreicht, werden seit 1999 ein DGM25 und ein DGM5 erstellt. Diese Arbeiten gehen stetig, doch aufgrund ihrer hohen Genauigkeitsanforderungen von 1–1,5 m für das DGM25 und 0,5–1 m für das DGM5 nur langsam voran. Zur Zeit liegt das DGM25 für ein Drittel der Landesfläche Schleswig-Holsteins vor.

Das DGM50 wurde auf der Grundlage der Höhenlinienfolien der Topographischen Karten 1:25000 und 1:50000 erfasst. Für die hügeligen Bereiche wurden die TK25-Höhenlinien und in flachen Bereichen die TK50-Höhenlinien zugrunde gelegt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: Zuerst wurden die Höhenlinien mit einer Äquidistanz von 2,5 m hochgezeichnet und danach mit einem automatischen Höhenlinienverfolgungsprogramm lagemäßig erfasst.

Zusätzlich wurden bereits von Beginn an die langgestreckten Kanten, z.B. Landesschutzdeiche, ab einer Höhe von 3 m sowie die Küstenlinie der Nord- und Ostsee und Uferlinien der Seen mit modelliert. Pro Quadratkilometer Gelände wurde außerdem eine zusätzliche Höhenkote erfasst.

Das DGM50 wurde zuerst nur als Bitmap berechnet. Es zeigte sich jedoch schnell, dass die aus dem Bitmap gewonnenen Ergebnisse nicht den Erwartungen entsprachen. Daher wurde das DGM50 überarbeitet und in eine Datenbank eingepflegt. Dies nahm eine Zeit von ca. einem Jahr in Anspruch. Im Jahr 1997 waren die Arbeiten am DGM50 abgeschlossen.

Aufgrund der guten Qualität der Erfassungsunterlagen und durch eine intensive Fehlerbereinigung bei der Überarbeitung ist beim DGM50 an der Nordseeküste und im Marschgebiet eine Genauigkeit von 1 m und in den restlichen Landesteilen von 3 m zu erwarten. Ob die Genauigkeit des DGM50 diesen Erwartungen entspricht, soll im Folgenden untersucht werden.

3 Auswahl des Untersuchungsgebietes und der Festpunktthöhen

Zu Beginn suchte man ein großflächiges Gebiet, für welches das DGM25 noch nicht vorhanden ist, da das DGM25 die Anforderungen des DGMDeutschland voll erfüllt. Mit besonderem Wert achtete man darauf, ein möglichst großflächiges Gebiet auszuwählen, um ein sicheres Ergebnis zu erhalten. Aus demselben Grund sollte es verschiedene topographische Geländeformen, als auch unterschiedliche Nutzungsarten enthalten.

Als Untersuchungsgebiet wählte man den südöstlichen Teil von Schleswig-Holstein aus (Abb. 1). Das Gebiet reicht von der Elbe zwischen Hamburg und Glückstadt bis zu einer Linie von Lauenburg nach Lübeck. Es enthält Marschen an der Elbe, Hügelland in seinem Mittelteil, sowie ein Gebiet mit großen Seen bei Ratzeburg. Es ist überwiegend landwirtschaftlich genutzt, enthält jedoch am Hamburger Rand und in Lübeck auch großflächige, dicht besiedelte Bereiche. Außerdem sind große zusammenhängende Waldflächen vorhanden. Das Gebiet umfasst 4492 Quadratkilometer, das sind 28 % der Landesfläche.

Als nächstes wurden die Festpunktthöhen ausgewählt. Bei den Nivellementpunkten gab es keine Ausschlusskriterien; sie wurden alle für die Untersuchung herangezogen. Bei den Trigonometrischen Punkten wurden nur die Sicherungsplatten ausgewählt, da die Pfeiler oft auf Knicks eingebracht sind, deren Höhen nicht den Geländevertlauf der näheren Umgebung widerspiegeln. Ebenso waren selbstverständlich Kirchturmspitzen und andere Hochziele nicht für diese Untersuchung geeignet. Letztendlich wurden in diesem Bearbeitungsgebiet sämtliche Nivellementpunkte und alle Sicherungsplatten der Trigonometrischen Punkte aus der ALK-Datenbank selektiert.

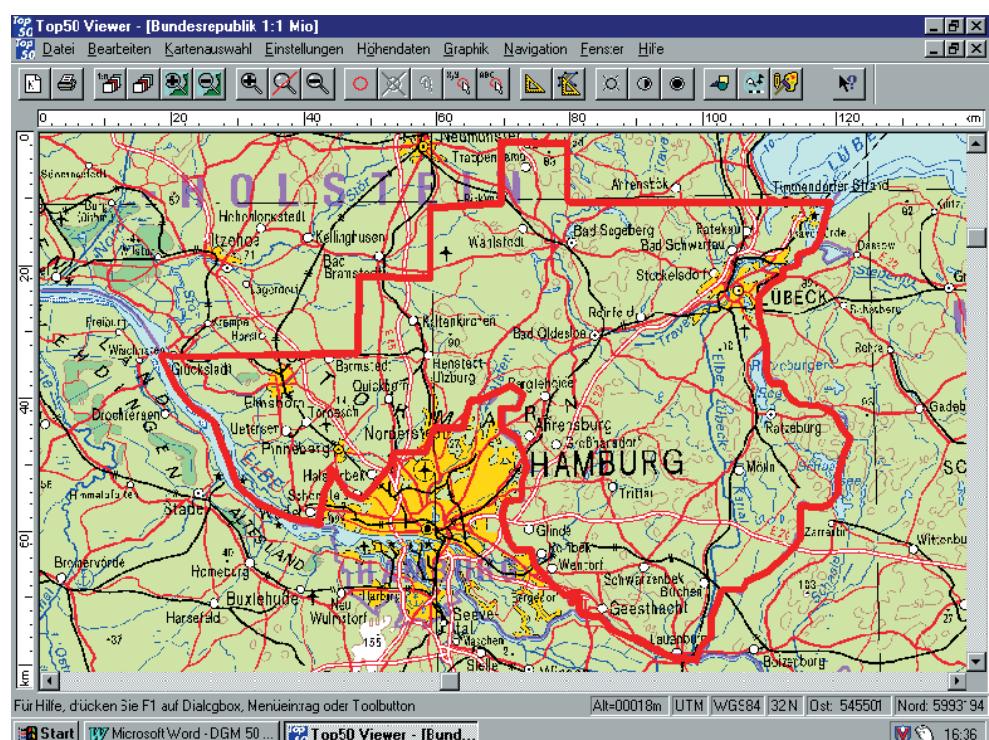


Abb. 1: Karte des Bearbeitungsgebiets

tiert. Die Festpunktthöhe und die Höhe der Vermarkung über bzw. unter Gelände, aus denen anschließend die Geländehöhe des Festpunkts berechnet wurde, sowie die Koordinaten, sind für die Weiterverarbeitung bereitgestellt worden.

Für jeden Festpunkt wurde anhand der Koordinaten eine DGM-Höhe aus dem DGM50 berechnet. Diese beiden Höhen, die Geländehöhe des Festpunkts und seine Höhe aus dem DGM sind die Grundlagen für die folgende mathematische Untersuchung.

4 Mathematisches Modell

Die numerische Analyse des DGM50 bezieht sich auf den Blattschnitt der DGK5 einschließlich eines sich gegenseitig überlappenden 400 m breiten Randstreifens. In diesem Bereich werden die aus dem TP- und NivP-Feld abgeleiteten Geländehöhen $H_{FP,i}$ mit den Werten $H_{DGM,i}$ des DGM50 verglichen. Vernachlässigt man dabei die Unsicherheit der Festpunktthöhen, dann können die so gebildeten Differenzen als zufällige Abweichungen

$$\varepsilon_i = H_{DGM,i} - H_{FP,i}, \quad i = 1, \dots, p \quad (1)$$

des DGM50 aufgefasst und zur Abschätzung der zugehörigen Präzision herangezogen werden. Darüber hinaus zielt die hier angestellte Untersuchung darauf ab, eine etwaige Erhaltungsneigung in dem untersuchten Punkthaufen aufzudecken. Eine merkliche Korrelation zwischen den benachbarten Punkten würde die Möglichkeit eröffnen, mit Hilfe eines Kollokationsansatzes auf der Basis der aus dem TP- und NivP-Feld abgeleiteten Stützpunkte, die Präzision des DGM50 zusätzlich zu verbessern. Deshalb reicht die Beziehung zu (1) nicht aus, und es muss die vollständige Kovarianzmatrix bestimmt werden. Ziel der weiteren Analyse muss es also sein, die für das jeweilige Bearbeitungsgebiet gültige Kovarianzfunktion

$$C(T) = \sigma^2 \exp(-\alpha^2 T^2) \quad (2)$$

zu bestimmen. Dabei geht es letztendlich darum, aus den konkreten Einzelwerten der Kovarianzen $C(T_{ij})$ einschließlich der zugehörigen Entfernungen T_{ij}

$$C(T_{ij}) = \varepsilon_i \varepsilon_j, \quad T_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2}, \quad i = 1, \dots, p, \quad j = i, \dots, p \quad (3)$$

die Varianz σ^2 und den Parameter α durch (2) gegebenen Funktion festzulegen. An Hand der Halbwertsbreite

$$T_h = \alpha^{-1} (\ln 2)^{1/2}, \quad (4)$$

die den Punktstand wiedergibt, bei der die Korrelation zwischen den zufälligen Abweichungen ε auf den Wert

$\rho = 0,5$ zurückgefallen ist, kann eine Aussage über die Erhaltungsneigung des Prozesses gemacht werden.

Um aus den durch (3) gegebenen $p(p+1)/2$ Einzelwerten optimale Schätzungen für die Größen σ und α zu bestimmen, ist ein Gauss-Markov-Modell zu formulieren

$$\underline{\mathbf{v}} = \underline{\mathbf{Ax}} - \underline{\mathbf{l}}, \quad \underline{\mathbf{\Sigma}_{ll}} = \sigma_o^2 \underline{\mathbf{Q}_{ll}}, \quad \underline{\mathbf{x}} \ll \underline{\mathbf{X}_o}. \quad (5)$$

Auf der Grundlage der jeweiligen Näherungslösung $\underline{\mathbf{X}_o}$ lassen sich die ausgeglichenen Zuschläge $\underline{\mathbf{x}}$ dann wie folgt berechnen

$$\underline{\mathbf{x}} = (\underline{\mathbf{AQ}}_{ll}^{-1}\underline{\mathbf{A}})^{-1}\underline{\mathbf{AQ}}_{ll}^{-1}\underline{\mathbf{l}}. \quad (6)$$

Das eigentliche Problem dieses Ansatzes besteht lediglich darin, dass für ein konvergierendes Verfahren eine sehr genaue Näherungslösung $\underline{\mathbf{X}_o}$ benötigt wird, weil ansonsten die in der Koeffizientenmatrix $\underline{\mathbf{A}}$ vernachlässigten Glieder der höheren Ableitungen nicht mehr unberücksichtigt bleiben können. Man kann dieses Problem umgehen, indem man die nach (6) berechneten Zuschläge gegebenenfalls nur zu $1/2, 1/4, 1/8$, usw. an bringt

$$\underline{\mathbf{X}}_{o,m} = \underline{\mathbf{X}}_o + \gamma_m \underline{\mathbf{x}}, \quad \gamma_m = 2^{-k}, \quad k \rightarrow \min, \quad k = 0, 1, \dots, \quad m = 1, \dots \quad (7)$$

und auf dieser Grundlage die Verbesserungen nicht nach (5) sondern auf der Grundlage des durch (2) gegebenen nicht linearen Modells $\Phi(\underline{\mathbf{X}}_{o,m})$ ermittelt

$$\underline{\mathbf{v}}_m = \Phi(\underline{\mathbf{X}}_{o,m}) - \underline{\mathbf{l}}. \quad (8)$$

Ist die daraus gebildete Verbesserungsquadratsumme

$$\Omega_m = \underline{\mathbf{v}}_m \underline{\mathbf{Q}}_{ll}^{-1} \underline{\mathbf{v}}_m \quad (9)$$

kleiner als die entsprechende Größe auf der Basis der bisherigen Näherungswerte $\underline{\mathbf{X}}_o$

$$\Omega_m < \underline{\mathbf{l}}_m \underline{\mathbf{Q}}_{ll}^{-1} \underline{\mathbf{l}}_m, \quad (10)$$

dann ist die durch (7) gefundene Schätzung $\underline{\mathbf{X}}_{o,m}$ zumindest besser als die bisherige Lösung $\underline{\mathbf{X}}_o$. Daher muss die gesamte Berechnung, beginnend mit dem durch (6) beschriebene Bestimmungsansatz für $\underline{\mathbf{x}}$, iterativ so lange wiederholt werden, bis die letztmalig ermittelten Zuschläge $\underline{\mathbf{x}}$ vernachlässigbar klein sind.

Ist die durch (10) gegebene Ungleichung jedoch nicht erfüllt, dann ist die Schätzung $\underline{\mathbf{X}}_{o,m}$ schlechter als die bisherige Näherungslösung $\underline{\mathbf{X}}_o$. In diesem Fall ist der Zuschlag $\underline{\mathbf{x}}$ beginnend mit (7) schrittweise so lange zu verkürzen, bis eine zulässige Lösung gefunden worden ist.

Es lässt sich zeigen, dass dieser Rechenansatz, auch bei völlig frei gewählten Näherungswerten, immer zum Ziel führt. Mit Hilfe der so ermittelten Parameter σ und α ist

die durch (2) gegebene Kovarianzfunktion festgelegt. Durch die darauf aufbauende Varianz σ^2 und die durch (4) gegebenen Halbwertsbreite T_h kann das stochastische Modell des DGM50 abschließend beurteilt werden.

5 Ergebnis

Die Genauigkeit des DGM50 wurde in den Bereichen von 1123 DGK5 mit dem oben beschriebenen Ansatz überprüft. Das DGM50 hat bei 962 DGK5 eine Genauigkeit von besser 3 m. Bei 5 DGK5 gab es numerische Schwierigkeiten, da die Anzahl der Vergleichswerte der Festpunktthöhen für den Bereich dieser Kartenblätter zu gering war. Für 156 DGK5 gab das Programm eine Genauigkeit schlechter 3 m aus.

Bei 38 dieser 156 DGK5, welche die größten Abweichungen aufwiesen, wurde die Ursache der einzelnen Höhendifferenz zwischen Festpunkt- und DGM-Höhe näher untersucht.

Dabei wurde festgestellt, dass bei 18 DGK5 die Höhendifferenzen auf Fehler beim Auslesen der Festpunktthöhen aus der Datenbank (Aufbereitungsfehler) basierten. Bei weiteren 16 DGK5 konnten die TP- bzw. NivP-Höhen durch die exponierte Lage dieser Punkte mit Hilfe des 50m-Gitters nicht erfasst werden. Diese Höhendifferenzen wurden vom statistischen Modell zwar aufgedeckt, überfordern jedoch vom Modellansatz das DGM50 (Modellfehler). Diese Festpunkte lagen alle auf kleinflächigen Geländeteilen, die untypisch für den Geländeverlauf der näheren Umgebung sind und daher bei der Erfassung des DGM50 nicht berücksichtigt wurden. Dabei handelte es sich zum Beispiel um die TP-Platte auf dem Hünengrab oder den Nivellementpunkt auf der Autobahnbrücke.

Bei nur 4 der 38 DGK5 wurden tatsächlich Genauigkeiten im DGM50 von schlechter 3 m festgestellt, die auf Fehler des DGM50 selber basieren.

Insgesamt hat das DGM50 in dem untersuchten Gebiet zu 85 % eine Genauigkeit von besser 3 m (Abb. 2). Für 14 % ist die Genauigkeit mit dem gewählten Ansatz aufgrund von Aufbereitungs- und Modellfehlern nicht zuverlässig nachweisbar. Nur in Ausnahmefällen von 1 % wird die erwartete Genauigkeit von besser 3 m nicht erreicht. Dieses Ergebnis dürfte aufgrund seines großflächigen Untersuchungsgebiets repräsentativ für das DGM50 von Schleswig-Holstein sein. Die Genauigkeit liegt damit im Bereich des DGMDeutschland.

Die Halbwertsbreite T_h war überwiegend sehr klein, obwohl ihre Werte über einen großen Bereich streuten. Sie war jedoch deutlich kleiner als der Festpunktabstand. Daher war zu erwarten, dass durch die Kollokation die Qualität des DGM50 nicht verbessert werden konnte. Trotzdem wurden für zwei kleine Bereiche von jeweils 10×10 km Größe der Kollokationsansatz über die vorhandenen Festpunkte durchgeführt. Die ermittelten Restklaffen wurden auf die DGM50-Höhen verteilt. Überprüft

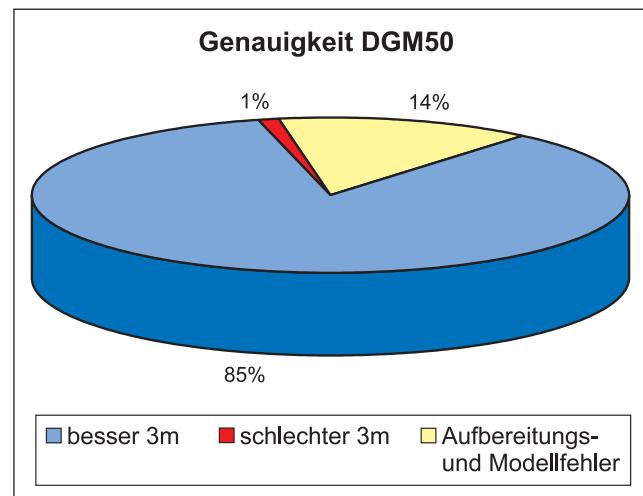


Abb. 2: Ergebnis der Überprüfung der Genauigkeit des DGM50

wurden diese DGM50-Höhen mit Höhen aus dem DGM5. Aus diesem Vergleich erhielt man als Ergebnis, dass die Qualität des DGM50 durch die Festpunktthöhen mit Hilfe des Kollokationsansatzes in keiner Form gesteigert werden kann, was, wenn man das oben gezeigte Ergebnis über die Genauigkeit des DGM50 betrachtet, auch nicht notwendig ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein mit seinem DGM50 über ein für viele Anwendungen brauchbares Digitales Geländemodell verfügt. Es hat sich auch herausgestellt, dass seine Qualität besser als angenommen ist und es geeignet ist, mit zum Aufbau des DGMDeutschland herangezogen zu werden. Nicht ausreichend ist es jedoch für Untersuchungen, wie sie z. B. gerade in letzter Zeit im Zusammenhang mit einer Gefährdung durch Hochwasser erforderlich werden. Daher sind auch die Arbeiten zum Aufbau eines DGM5 zwingend notwendig.

Literatur

- Boljen, J.: Bearbeitung von Gauss-Markov-Modellen ohne eine besondere Bestimmung von Näherungswerten. AVN 99, S. 285–290, 1992.
- Koch, K. R.: Parameterschätzung und Hypothesentests. Dümmler-Verlag, Bonn, 1987.
- Washausen, M.: Digitale Geländemodelle (DGM) in Niedersachsen – Qualität, Aufbau, Nutzung. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, S. 177–203, 1992.

Anchrift des Autors

Dipl.-Ing. Andreas Gerschwitz
Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein
Mercatorstraße 1
24106 Kiel
Andreas.Gerschwitz@LVermA-SH.landsh.de