

Erstellung einer NTV2-Gitterdatei für die amtliche Transformation zwischen den Systemen 42/83 und ETRS89 in Brandenburg

Im Land Brandenburg erwuchs Mitte der 1990er-Jahre die Aufgabe, große Punktdatenbestände aus dem alten amtlichen Lagebezug 42/83 (Bezugsellipsoid Krassowsky, Gauß-Krüger-Koordinaten mit 3° breiten Streifen) in den neuen amtlichen Lagebezug ETRS89 (Bezugsellipsoid GRS80, UTM-Koordinaten mit 6° breiten Streifen) zu transformieren. Hierzu entstand in enger Zusammenarbeit mit einem Softwarehersteller das Programm STN_ETRS, das jedoch unter heutigen 64-Bit-Betriebssystemen nicht mehr arbeitet. Deren zunehmende Verbreitung und die auch nach über 10 Jahren beständige Nachfrage nach dieser Transformation erfordern eine neue Lösung.

Ausgangssituation

Das Programm STN_ETRS besteht im Wesentlichen aus zwei DOS-Anwendungen, mit denen in Dateiform vorliegende Koordinaten mit einigen Optionen zwischen dem alten und dem neuen Lagebezug hin- und zurücktransformiert werden können. STN_ETRS wurde bisher sowohl intern genutzt als auch in identischer Version an interessierte Anwender verkauft.

Die DOS-Programme laufen auch unter allen aktuellen windowsbasierten 32-Bit-Betriebssystemen bis hin zu Windows 7. Unter Windows XP 64 Bit und Windows 7 64 Bit funktionieren sie nicht mehr. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich dieser Zustand bei künftigen Betriebssystemen ändern wird, da die Problematik in der fortschreitenden technischen Entwicklung begründet und somit grundsätzlicher Natur ist. Die zunehmende Verbreitung anderer Betriebssysteme und der verstärkte Einsatz in verschie-

densten Umgebungen erfordern zudem einfachere und performantere Arten der Integration.

Eine Neuimplementierung des Algorithmus wäre aufgrund der fehlenden Quellen und der lange zurückliegenden Entwicklungen sehr schwierig oder gar unmöglich gewesen. Technische Umgehungen wie Emulatoren und virtuelle Maschinen mit alten Betriebssystemen sind bestenfalls Übergangslösungen und beseitigen das Problem nicht.

Lösungsansatz

Ein neuartiger, bei NRCan (Ministerium für Nationale Ressourcen, Kanada) entwickelter Rechenweg [1] für zweidimensionale Transformationen stellt eine vielversprechende Lösung dar. Er heißt NTV2 – „National Transformation Version 2“.

Dabei werden die Schnittpunkte eines regelmäßigen Gitters, das die gesamte

Landesfläche abdeckt, einmalig vorab transformiert. Die Differenzen zwischen den geographischen Koordinaten im alten und neuen System werden als Shift-Werte (Verschiebungsvektoren) in einer sogenannten Gitterdatei gespeichert. Die Position des Gitterpunktes wird nicht gespeichert; sie ergibt sich zwingend aus der Position der Shift-Werte in der Datei.

Zur Transformation von Neupunkten wird lediglich die Datei gelesen und dabei diejenige Gitterzelle gesucht, in der der Neupunkt liegt. Zwischen den Shift-Werten der vier Ecken dieser Gitterzelle werden dann die Shift-Werte für den Punkt bilinear interpoliert und an die Koordinaten des Punktes angebracht. Die Shift-Werte in der Gitterdatei bilden also letztlich nur die eigentliche Transformation in neuer Form ab. Somit hängt die rechnerische Genauigkeit dieser Transformation, abgesehen vom zugrunde liegenden Transformationsansatz für die Gitterpunkte, nur vom Abstand der Gitterpunkte ab. Lineare Interpolationen sind technisch sehr einfach und auch für große Datenmengen schnell durchführbar.

Diese NTv2-Gitterdateien in dem in Kanada entwickelten Dateiformat sind dabei, sich zu einem De-facto-Standard zu entwickeln. Sie werden bei der Landesvermessung unter anderem in Kanada, Australien, Neuseeland, Großbritannien und Frankreich eingesetzt. In Deutschland gibt es den „Bundeseinheitlichen Transformationsansatz für ATKIS“ (BeTA 2007 [2]) und in einigen Bundesländern (unter anderem Hessen und Saarland) Gitterdateien für amtliche Transformationen. Viele Vermessungs- und GIS-Anwendungen, wie zum Beispiel ArcGIS, TRANSDAT, KIVID und GEOgraf unterstützen bereits NTv2-Transformationen.

In der LGB wurde mithilfe des STN_ETRS-Programms eine landesweit gültige Gitterdatei für die Transformation zwischen den Systemen 42/83 und ETRS89 als Ersatz für die veralteten Programme berechnet. Diese Lösung behält den bestehenden Transformationsansatz spannungsfrei bei, so dass keine fachlichen Schwierigkeiten, größere Ungenauigkeiten oder Spannungen beim Wechsel auf das neue Verfahren zu befürchten sind.

Allerdings ist beim Nutzer eine Umstellung des Arbeitsablaufes erforderlich, je nach Art der bisherigen Einbindung von STN_ETRS. Was vorher ein Transformationsprogramm war, das sich zumindest mit Skripten begrenzt automatisieren ließ, ist nun lediglich eine Datei, die in ein geeignetes Transformationsprogramm oder eine andere vermessungstechnische oder kartographische Software eingebunden werden muss. Eine passende Transformationsroutine für die Verwendung auf der Kommandozeile stellt beispielsweise die frei verfügbare Bibliothek PROJ.4 [3] bereit.

Weiterhin stellt eine NTv2-Transformation stets nur den Übergang von einem Lagebezug in einen anderen in geographischen Koordinaten (Länge/Breite) dar. Es sind also gegebenenfalls weitere Schritte zur Umrechnung zwischen geographischen Koordinaten und den Abbildungskoordinaten (Gauß-Krüger, UTM) erforderlich, die bisher von STN_ETRS durchgeführt wurden und nun vom Transformationsprogramm, das die NTv2-Datei einbindet, vorzunehmen sind.

Für Rücktransformationen muss zudem ein anderer Weg gegangen werden. Entweder wird eine weitere Gitterdatei für die Rücktransformation erstellt, oder man verwendet einen iterativen Ansatz.

Meist wird letztere Lösung eingesetzt, da sie den Verwaltungsaufwand nicht erhöht – es muss nur eine Gitterdatei verarbeitet werden. Der geringfügig höhere Rechenaufwand kann dabei leicht in Kauf genommen werden. Die Realisierung der Rücktransformation ist Aufgabe des transformierenden Programms.

Eine detaillierte Beschreibung zum NTV2-Dateiformat und den Formeln und Algorithmen findet sich in der Dokumentation zu BeTA 2007.

Höhenproblem

Wegen der unterschiedlichen Lagerung der beiden Ellipsoide in den Bezugssystemen führt eine Änderung der Höhe eines Punktes im Quellsystem zu einer Änderung der Lage im Zielsystem. Eine Änderung der Höhe um 30 m verursacht nach Untersuchungen aus dem Saarland [4] eine Lageänderung um etwa 1 mm. Diesen grundsätzlichen Sachverhalt berücksichtigt das Programm STN_ETRS durch Verwendung eines internen Geoidmodells. Transformiert man denselben Punkt mit STN_ETRS mehrfach mit verschiedenen Höhen, so entstehen korrekt Punkte mit leicht abweichenden Lagekoordinaten (Tabelle 1).

NTV2-Transformationen sind dagegen stets zweidimensional und können für sich genommen die Höhen nicht berücksichti-

gen. Bei der Berechnung der Shift-Werte für einen Gitterpunkt mit STN_ETRS hat dessen Höhe stets einen Einfluss – sei es eine bekannte Höhe oder die Höhe 0, die von STN_ETRS implizit angenommen wird, wenn keine Höhe angegeben ist. Streng genommen gelten die berechneten Shift-Werte dann nur für einen Punkt mit der gleichen Höhe. Wegen des geringen Einflusses ist die Näherung rechnerisch jedoch völlig ausreichend.

Die Abbildungen verdeutlichen diesen Sachverhalt schematisch. Abb. 1 zeigt das Verhalten von STN_ETRS: wenn sich, bei identischen Lagekoordinaten Q1,2 die Höhe ändert (P1 nach P2), so ändern sich auch die Lagekoordinaten Z1 und Z2 im Zielsystem um den Abstand d. Abb. 2 zeigt das Verhalten einer NTV2-Transformation: die Punkte P0, P1 und P2 werden auch im Zielsystem stets in einem Punkt abgebildet, da die Höhe ignoriert wird. Mit einer für die Shift-Wert-Berechnung angenommenen Höhe von 0 erhält der Punkt deutlich andere Koordinaten (Z). Berechnet man die Shift-Werte für den Punkt mit der Höhe in P1, so werden die Punkte P0, P1 und P2 auf die transformierten Koordinaten ZH abgebildet.

Es stellt sich die Frage, welche Höhe man einem Gitterpunkt zur Transformation mit STN_ETRS zuweist. Hier bietet es sich an, die (genäherte) Geländehöhe am Punkt

System 42/83			System ETRS89, berechnet mit STN_ETRS		
Y	X	H76	E	N	H92
4464229.122	5885842.010		3263285.076	5889049.586	
4464229.122	5885842.010	0.00	3263285.076	5889049.586	0.15
4464229.122	5885842.010	58.56	3263285.077	5889049.586	58.71
4464229.122	5885842.010	158.56	3263285.079	5889049.587	158.71

Tabelle 1: Testpunkt aus der STN_ETRS-Dokumentation mit verschiedenen Höhen, transformiert mit STN_ETRS

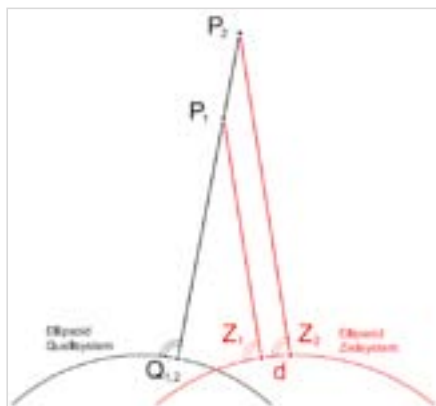


Abb. 1: Verhalten des Programms STN_ETRS bei Höhenänderung

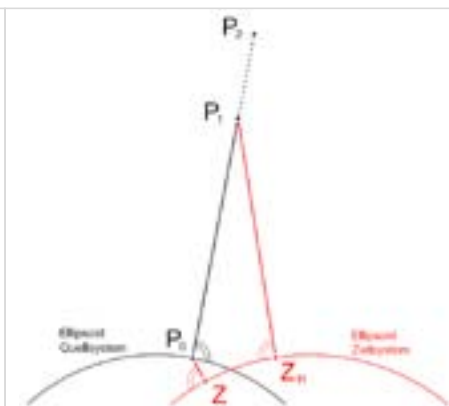


Abb. 2: Verhalten der NTV2-Transformation bei Höhenänderung

zu verwenden. Somit werden die rechnerischen Abweichungen für diejenigen Punkte, die in der Nähe der Geländehöhe liegen, minimiert. Da die meisten Transformationsaufgaben thematisch in der relativen Nähe der Erdoberfläche auftreten, ist diese Lösung am günstigsten.

Erstellung

Zur Erstellung der Gitterdatei entstand ein eigenes Hilfsprogramm. Es kann weitgehend automatisch eine Gitterdatei erzeugen, lesen, darstellen, flächendeckend mit großen Punktmengen testen und die Tests auswerten sowie darstellen.

Die Parameter des Gitters (hauptsächlich die Eckpunkte und die „Maschenweite“) können frei gewählt werden. Anschließend werden alle Gitterpunkte des so definierten Gitters mit STN_ETRS transformiert. Zur Ermittlung der Geländehöhen an den Gitterpunkten wurde ein webbasierter Geodienst der LGB zur Interpolation von Höhen herangezogen. Bei der Transformation tritt das Problem auf, dass STN_ETRS nur im Land Brandenburg arbeitet, das zu erzeugende Gitter jedoch „rechteckig“ im

geographischen Koordinatensystem sein muss, d. h. genau eine nördliche, östliche, südliche und westliche Begrenzung hat. Deshalb wurden Gitterpunkte, die von STN_ETRS zurückgewiesen wurden, weil sie außerhalb des Landesgebietes Brandenburg liegen, mithilfe eines auf 1 bis 2 Dezimeter genauen 7-Parameter-Ansatzes transformiert.

Das Format der Gitterdateien erlaubt eine Genauigkeitsangabe für jeden einzelnen Shift-Wert in der verwendeten Maßeinheit, hier Sekunden. Der Genauigkeitswert wurde pauschal belegt – eine 0 für STN_ETRS, eine 1 für den 7-Parameter-Ansatz.

Die Erzeugung des Gitters dauert 2 bis 3 Stunden. Es handelt sich dabei jedoch um einen einmaligen Vorgang, der auf Nutzerseite keine Auswirkungen hat.

Test

Um das entstandene Gitter zu testen, wurde die Möglichkeit geschaffen, beliebige Punkte jeweils mit dem alten Weg STN_ETRS und mittels des Gitters zu transformieren und die Ergebnisse zu

vergleichen. Der Punkt wird anschließend in der Kartenansicht je nach Abweichung eingefärbt dargestellt.

Das Erzeugen der Testpunkte geschieht automatisch mit verschiedenen Optionen:

- zufällige Punktverteilung über das gesamte Gitter
- zufällige Punktverteilung in einem gewählten Bereich
- gleichmäßige (gitterartige) Punktverteilung in einem gewählten Bereich
- Punkte entlang einer Schnittlinie mit wählbaren Endpunkten
- Einlesen von Testpunkten aus einer Datei

Da die Gitterdatei letztlich die STN_ETRS-Transformation nur anders umsetzt, sollten die Vergleichsergebnisse bei hinreichend kleiner Gitterweite rechnerisch identisch sein. Anhand dieser Idealforderung wurde die notwendige Gitterweite experimentell ermittelt. Hierbei ist eine Abwägung zu treffen: Zu viele Gitterpunkte erhöhen unnötig den erforderlichen Speicherplatz und in geringem Umfang auch den Rechenaufwand, zu wenige Gitterpunkte reduzieren die Rechengenauigkeit.

Getestet wird die reine NTv2-Transformation, also der Übergang zwischen dem Krassowsky- und dem GRS80-Ellipsoid in geographischen Koordinaten. Eine Umrechnung von und nach Gauß-Krüger bzw. UTM erfolgt nur zur Auswertung und für beide Transformationswege identisch und ist nicht Teil des Vergleichs. Deshalb können bei einem direkten Vergleich zwischen einer STN_ETRS-Transformation von Gauß-Krüger- in UTM-Koordinaten mit einer Transformation, die das NTv2-Gitter um die entsprechenden Abbildungsrechnungen ergänzt, gegebenenfalls auch leicht größere Koordinatendifferenzen (wenige mm) auftreten. Das Gitter selbst wird allein im geografischen Koordinatensystem erstellt.

Die Rücktransformation wird gleichzeitig getestet. Hierbei traten nur sehr kleine Abweichungen im Rahmen der internen Rechengenauigkeit auf.

Es wurde eine möglichst genaue rechnerische Reproduktion der STN_ETRS-Transformation angestrebt. Gefordert war eine Gitterweite, bei der die Abweichungen zwischen alter und neuer Transformation deutlich kleiner als 1mm sind. Das

Abweichung	Zahl der Punkte	in Prozent
0,0 mm .. < 0,1 mm	45275	62,51 %
0,1 mm .. < 0,2 mm	25930	35,80 %
0,2 mm .. < 0,3 mm	1206	1,67 %
0,3 mm .. < 0,4 mm	11	0,02 %
0,4 mm .. < 0,5 mm	1	0,00 %
0,5 mm .. < 0,6 mm	0	0,00 %
0,6 mm .. < 0,7 mm	1	0,00 %
0,7 mm .. < 0,8 mm	0	0,00 %
0,8 mm .. < 0,9 mm	0	0,00 %
0,9 mm .. < 1,0 mm	0	0,00 %
1,0 mm .. ∞	0	0,00 %

Tabelle 2: Teststatistik eines 30"-Gittertests

endgültige Gitter hat einen Punktabstand von 40“ in Ost-West-Richtung und 30“ in Nord-Süd-Richtung.

Tabelle 2 zeigt eine Statistik eines Tests mit 72 424 Testpunkten, rasterförmig im Abstand von 30“ über das Land verteilt. Abb. 3 zeigt die Ansicht dieser Testpunkte in der Karte. Die Skala auf der rechten Seite gibt dabei die Farbverteilung der Testpunkte an: je größer die Abweichung, desto dunkler wird der Punkt gezeichnet. Die größte Abweichung bei diesem Test sind 0,68 mm.

Die größeren Abweichungen lassen sich meist in der Nähe von jenen BRAREF-Punkten feststellen, die nicht in der Nähe eines Gitterpunktes liegen. Das liegt daran, dass hier die Restklaffen-Maxima, die bei der ursprünglichen Transformation in den BRAREF-Punkten liegen, durch die NTv2-Transformation linear abgeschnitten werden und dies umso mehr, je weiter der BRAREF-Punkt von den Gitterpunkten entfernt ist.

Im Umfeld dieser BRAREF-Punkte sowie anderer auffälliger Gebiete mit hohen Abweichungen wurde das Testpunktnetz mehrstufig stark verdichtet, um dem tatsächlichen größten Fehler näherzukommen. Abb. 4 zeigt eine solche Verdichtung in der Umgebung eines BRAREF-Punktes. Zusätzlich wurden die Abweichungen der Testpunkte entlang einer West-Ost-Punktreihe (Abb. 5) bzw. Süd-Nord-Punktreihe (Abb. 6) als Kurve dargestellt.

Die Tests ergaben eine maximale rechnerische Abweichung bei der Transfor-

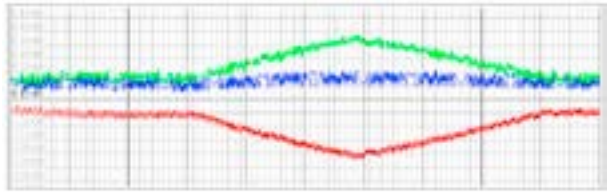


Abb. 5: Testpunkt-Abweichungen entlang einer West-Ost-Schnittlinie durch einen BRAREF-Punkt. Rot: Abweichung in Ostrichtung, Blau: Abweichung in Nordrichtung, Grün: Abweichung als Distanz

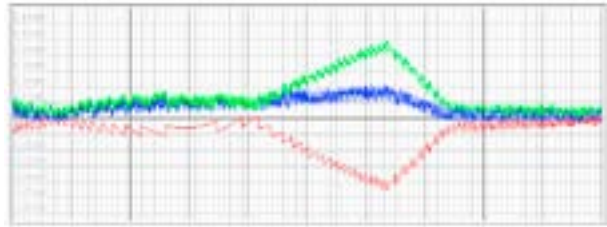


Abb. 6: Testpunkt-Abweichungen entlang einer Süd-Nord-Schnittlinie durch einen BRAREF-Punkt. Rot: Abweichung in Ostrichtung, Blau: Abweichung in Nordrichtung, Grün: Abweichung als Distanz

mation von geografischen Koordinaten zwischen STN_ETRS und NTv2 von 0,8 mm. Die eingangs aufgestellte Forderung nach einer möglichst genauen Reproduktion der STN_ETRS-Transformation ist somit erfüllt.

Fazit

Das vorgestellte NTv2-Gitter ist ein moderner Ansatz für die Transformation zwischen dem ehemaligen und dem aktuellen amtlichen Lagebezug in Brandenburg. Es lässt sich leicht in gängige Softwarelösungen integrieren und ersetzt eine schwer wartbare historische Lösung. Die Reproduktionsgenauigkeit im Vergleich mit STN_ETRS ist kleiner als 1mm. Die NTv2-Datei ist damit ein vollwertiger Ersatz für das bisherige Transformationsverfahren STN_ETRS und kann produktiv eingesetzt sowie durch die LGB vertrieben werden.

Linkliste und Literatur

- [1] Webseite zur kanadischen NTV2-Transformation: http://www.geod.nrcan.gc.ca/tools-outils/ntv2_e.php, abgerufen am 07.01.2011

- [2] Webseite zu BeTA 2007: http://crs.bkg.bund.de/crseu/crs/dscrtrans/BeTA/de_dhdn2etrs_beta.php, abgerufen am 07.01.2011

- [3] Webseite zur NTV2-Transformation mit PROJ.4: <http://trac.osgeo.org/proj/wiki/GenParms#nadgrids-GridBased-DatumAdjustments>, abgerufen am 25.01.2011

- [4] Brauner, Christoph: „Stellungnahme zum Beitrag ‚NTV2-Gitterdateien zur Überführung katasterbezogener Datenbestände ins ETRS89‘ von Burckhardt Ahrens und Karl-Heinz Böhmer“, zfv 5/2010, S. 337

Norbert Kulawik
Landesvermessung und
Geobasisinformation Brandenburg
norbert.kulawik@geobasis-bb.de

