

# Stellungnahme zum Beitrag »NTv2-Gitterdateien zur Überführung katasterbezogener Datenbestände ins ETRS89« von Burckhardt Ahrens und Karl-Heinz Böhmer in zfv 1/2010, S. 16–20

Christoph Brauner

Bei den anhand eines Testbeispiels aufgezeigten Genauigkeiten der NTv2-Transformation wird angemerkt »Man erkennt: Das Verfahren wird auch mit noch weiteren Verdichtungen nicht die Genauigkeit erreichen, um millimeterscharf Punktidentitäten zu erreichen.« In den nachfolgenden Ausführungen wird am Beispiel konkreter Anwendungsgebiete (Saarland, Hessen und Montenegro) aufgezeigt, dass bei den mit entsprechenden NTv2-Shiftdateien durchgeführten Transformationen keine bzw. sehr geringe Genauigkeitsabstriche zu erwarten sind.

Die NTv2-Transformation ist der Ersatz einer konkreten Transformation, bei der die Verbesserungswerte für die Gitterpunkte mit dieser konkreten Transformation berechnet werden. Diese Gitterpunkte repräsentieren sozusagen die später zu transformierenden realen Punkte. Deshalb ist es wichtig, dass bei der Berechnung der Verbesserungswerte, alle genauigkeitsrelevanten Berechnungsdaten berücksichtigt werden. Bei dem Bezugssystemübergang von DHDN90 nach ETRS89 handelt es sich um eine dreidimensionale (7-Parameter) Transformation. Soweit der Systemübergang mit einer zweidimensionalen Transformation (4-, 5- oder 6-Parameter) durchgeführt wird, ist mit Genauigkeitsverlusten zu rechnen. Da im Liegenschaftskataster keine bzw. nur vereinzelt Landeshöhen für die zu transformierenden Punkte vorliegen, müssen diese Landeshöhen noch zusätzlich ermittelt werden. Hier stellt sich die Frage, wie genau muss die Landeshöhe eines zu transformierenden Punktes bekannt sein, damit sie sich nicht mehr auf das Ergebnis der Transformation auswirkt? Testrechnungen haben ergeben, dass ein Höhenfehler von etwa 30 m einen Lagefehler von 1 mm verursacht. Dies ergibt sich durch die unterschiedliche Lagerung, die unterschiedliche Dimension und die unterschiedliche Krümmung der beiden Ellipsoide, die gerade in mittleren Breiten diesen spürbaren Effekt insbesondere in der North-Koordinate (UTM) verursachen. Die Abb. 1 veranschaulicht diesen Sachverhalt.

Zur Ermittlung von Landeshöhen für den Bereich des Saarlandes standen Daten der bestehenden Digitalen Geländemodelle DGM1 (Laserscan Befliegung), DGM5 (Höhendaten aus der DGK5 und aus Stereoauswertungen) und DHM50 (Höhendaten aus der TK50), für den Bereich Hessen DGM10 Höhendaten und für den Bereich Montenegro SRTM Höhendaten zur Verfügung. SRTM-Daten

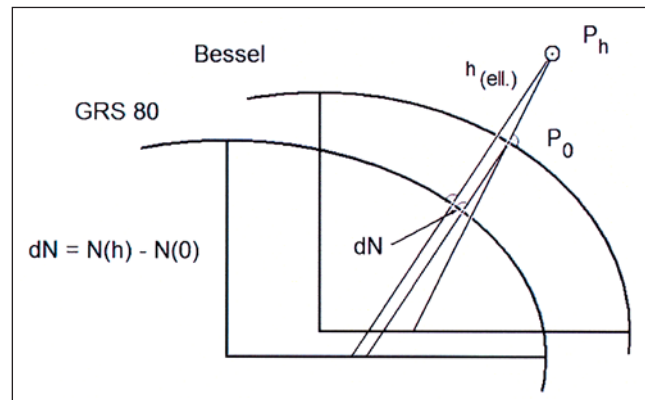


Abb. 1: Höheneinfluss

sind Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche, die bei der STS-99 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) im Februar 2000 aus dem Weltraum aufgezeichnet wurden. Sie dienen dazu, ein einheitliches, hochauflösendes Digitales Geländemodell der Erdoberfläche zu erstellen. Mit einem selbst entwickelten Programm DGM wurden hieraus binäre DGM-Dateien erstellt, aus denen u. a. Höhenwerte interpoliert werden können. Neben der Landeshöhe der zu transformierenden Punkte ist noch die Undulation zu berücksichtigen, da bei der räumlichen Transformation ellipsoidische Höhen zu verwenden sind. Die Undulationen können aus den Quasigeoiden DFHBF, Sat-Niv oder Egg97 ermittelt werden.

Zur Erstellung einer NTv2-Shift-Datei ist ein Programm NTv2 entwickelt worden, mit dem, ausgehend von einer Transid - Transformationsparameterdatei, eine NTv2-Gitterdatei erstellt werden kann. NTv2 und Transid sind selbst entwickelte Programme. Mit Transid können ebene (4-, 5-, 6-Parameter) und dreidimensionale (7-Parameter) Transformationsberechnungen durchgeführt werden, wobei die Transformationsparameter durch Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet werden und die Restklaffenverteilung nach Abstandsgegewichten sowie multiquadratisch realisiert ist. Durch das Einbinden der Lkvk.TransLib.dll - Programmbibliothek in das Programm NTv2 sind alle Routinen (Transid, DGM, DFHBF, Egg97, Sat-Niv) implementiert, die zur Ermittlung der Verbesserungswerte benötigt werden.

Mit dem Programm NTv2 wurden unter Einbindung der entsprechenden DGM- und Quasigeoid-Datei für die einzelnen Anwendungsgebiete NTv2-Shift-Dateien er-

stellt. Nach Generierung der Ausdehnung und der Gitterabstände sowie der Auswahl der zu verwendenden dreidimensionalen *Transid*-Parameterdatei wurden die geografischen Koordinaten eines jeden Gitterpunktes vom Quell- ins Zielreferenzsystem transformiert. Für jeden Gitterpunkt wurden hier die Landeshöhe aus dem bereitgestellten Digitalen Geländemodell und die Undulation aus dem ausgewählten Quasigeoid ermittelt. Die Verbesserungswerte in Länge und Breite ergeben sich aus den entsprechenden Ausgangs- bzw. berechneten Werten.

Für den Bereich Saarland (2.569 km<sup>2</sup>) wurde eine NTV2-Shiftdatei mit den Gitterintervallen 6" (Länge) mal 4" (Breite) (~121 m mal 124 m) (insgesamt 328.831 Gitterpunkte) erstellt, bei der die maximale lineare Abweichung in den Stützpunkten bei 1 mm liegt, wobei hier die Sollkoordinaten der Stützpunkte mit den durch NTV2-Transformation berechneten Stützpunktkoordinaten verglichen wurden. Bei insgesamt 547 Stützpunkten (mittlerer Koordinatenfehler von ±0,005 m) betrug bei 248 Punkten die lineare Abweichung 0 mm (= 45,3%), bei den restlichen 299 Punkten 1 mm (= 54,7%). Zur weiteren Überprüfung wurden aus der ALK-Punktdatei alle Punkte mit dem Lagestatus 197 (DHDN Netzerneuerung 1997) ausgelesen, die Landeshöhe aus dem DGM1 interpoliert und die Undulation aus *DFHBF* ermittelt. Damit wurde einmal exakt mit dem *Transid* - Programm räumlich (7-Parameter) unter Verteilung der Restklaffen nach ETRS89 transformiert. Zum zweiten wurde nach dem NTV2-Verfahren unter Einbindung der erstellten Shift-Datei ebenfalls nach ETRS89 transformiert. Bei den 183.107 zu transformierenden Punkten, die gleichmäßig über das Saarland verteilt sind, betrug bei 140.488 Punkten die lineare Abweichung 0 mm (= 76,7%), bei den restlichen 42.619 Punkten 1 mm (= 23,3%).

Für den Bereich Hessen (21.115 km<sup>2</sup>) wurde eine NTV2-Shiftdatei mit den Gitterintervallen 12" mal 8" (~242 m mal 248 m) (insgesamt 1.028.041 Gitterpunkte) erstellt, bei der die maximale lineare Abweichung in den innerhalb Hessens liegenden Stützpunkten bei 1 mm liegt. Für die außerhalb Hessens liegenden Stützpunkte lagen keine DGM-Höhen vor, sodass hier bei der Berechnung der Gitter-Shiftwerte die Landeshöhe 0,00 m eingesetzt wurde. Die Gitterpunkte im Bereich der außerhalb Hessens liegenden Stützpunkte repräsentieren hier also nicht die zu transformierenden Punkte. Dieser Sachverhalt kann zum einen durch Hinzunehmen eines über Hessen hinausgehenden DGM verbessert werden, zum Zweiten kann die spätere Anwendung der NTV2-Shiftdatei auf den Bereich Hessens beschränkt werden. Bei der Berechnung der Transformationsparameter aus 80 Stützpunkten ergab sich ein mittlerer Koordinatenfehler von ±0,010 m. Eine weitere Überprüfung wurde anhand von Testpunkten durchgeführt, für die DHDN90- und ETRS89-Koordinaten vorlagen. Bei den 21.390 zu transformierenden Punkten betrug bei 18.375 Punkten die lineare Abweichung 0 mm (= 85,9%), bei 3.001 Punkten 1 mm (14,0%) und bei den restlichen 14 Punkten 2 mm (= 0,1%).

Für den Bereich Montenegro (13.812 km<sup>2</sup>) wurde eine NTV2-Shiftdatei mit den Gitterintervallen 6" mal 4" (~121 m mal 124 m) (insgesamt 2.343.101 Gitterpunkte) erstellt, bei der die maximale lineare Abweichung in den Stützpunkten bei 7 mm liegt. Bei insgesamt 309 Stützpunkten (mittlerer Koordinatenfehler von ±0,453 m) betrug bei 98 Punkten die lineare Abweichung 0 mm (= 31,7%), bei 181 Punkten 1 mm (= 58,6%), bei 20 Punkten 2 mm (= 6,5%), bei 9 Punkten zwischen 3 mm und 5 mm (= 2,9%) und bei einem Punkt 7 mm (= 0,3%). Eine weitere Überprüfung konnte hier wegen fehlender Daten nicht durchgeführt werden.

Ein Vergleich der obigen Berechnungsergebnisse mit Transformationsergebnissen von NTV2-Shiftdateien, die unter Zugrundelegung der in Nordrhein-Westfalen empfohlenen zweidimensionalen 4-Parameter-Transformation erstellt wurden, ergab die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse. Bei diesem zweidimensionalen Transformationsansatz werden die ebenen Koordinaten des Quellreferenzsystems in die Abbildung und die Zone des Zielreferenzsystems umgerechnet und hieraus werden anschließend die ebenen Transformationsparameter berechnet. Die Gauß-Krüger-Koordinaten im Quellreferenzsystem DHDN90 bzw. Montenegro werden hier in UTM-Koordinaten umgerechnet, wobei die UTM-Zone zu verwenden ist, in der die UTM-Zielsystemkoordinaten vorliegen.

Bei der Berechnung der NTV2-Shiftdateien mit dem ebenen Transformationsansatz wurden die gleichen Ausdehnungen und Gitterabstände wie bei dem räumlichen Ansatz verwendet. Die Überprüfung der Stützpunktkoordinaten mit diesen neu berechneten Shiftdateien ergab die gleichen Abweichungen wie bei dem räumlichen Transformationsansatz. Die weitere Überprüfung der ALK-Punkte (Saarland) und der Testpunkte (Hessen) bestätigten die guten NTV2-Transformationsergebnisse mit dem räumlichen Transformationsansatz nicht mehr. Bei den 183.107 ALK-Punkten ergaben sich die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen linearen Abweichungen.

Lineare Abw. [m]	Anzahl Punkte	Prozent
0,000	8.836	4,8
0,001	46.304	25,3
0,002	46.056	25,2
0,003	35.129	19,2
0,004	20.125	11,0
0,005	12.125	6,6
0,006	5.617	3,1
0,007	4.539	2,5
0,008	3.018	1,6
0,009	1.140	0,6
0,010 – 0,012	218	0,1

Bei den hessischen Testpunkten war die Verteilung der linearen Abweichungen ähnlich, wobei hier maximale lineare Abweichungen von 0,014 m zu verzeichnen sind. Die Abweichungen zu den Sollkoordinaten sind nicht der NTV2-Transformation anzulasten, sondern sind in dem zugrunde liegenden zweidimensionalen Transformationsansatz begründet. Die Überprüfung von einigen transformierten Punkten mit dem zweidimensionalen Transformationsansatz bestätigen die Ergebnisse der NTV2-Transformation. Bei der zweidimensionalen Transformation von DHDN- in ETRS89-Koordinaten wirkt sich offensichtlich die fehlende Landeshöhe bzw. der fehlende Landeshöhenunterschied bei den zu transformierenden Punkten aus. Die gute Übereinstimmung bei der NTV2-Transformation nach dem zweidimensionalen Ansatz mit den Stützpunkt-Koordinaten ist auf die zu transformierenden realen Punkte nicht zu übertragen. Es wird deshalb empfohlen, bei der Transformation von DHDN90 nach ETRS89 den dreidimensionalen Ansatz zugrunde zu legen, auch unter dem Aspekt, dass auf die fehlenden Landeshöhen bei den Liegenschaftspunkten ohne große Probleme zurückgegriffen werden kann.

Im Artikel von Ahrens/Böhmer wird daraufhingewiesen, dass die NTV2-Transformationsalgorithmen in einigen GIS-Anwendungen bereits implementiert sind und dass andere Transformationsansätze einen erheblich größeren Organisations-Overhead benötigen. Dies kann von

mir nur bestätigt werden und macht den NTV2-Ansatz für die DHDN90-ETRS89-Transformationsberechnungen deshalb so interessant. Auch bei fehlenden NTV2-Algorithmen in den Anwendungsprogrammen der Nutzer von raumbezogenen Daten kann der Transformationsansatz verwendet werden. In diesen Fällen stellt das LKVK eine NTV2-Programm-bibliothek (in C++ erstellt) zur Verfügung. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass raumbezogene Daten immer mit dem gleichen Ergebnis transformiert werden. Testberechnungen mit dieser Programm-bibliothek haben ergeben, dass die Transformation von 1 Million Punkten von DHDN90 nach ETRS89 in 4 sec durchgeführt ist. Damit zeigt sich, dass die NTV2-Transformation *on the Fly*, also immer dort wo sie gerade benötigt wird, eingesetzt werden kann. Durch die zusätzliche NTV2-Transformation wird der andere Programmablauf nur unmerklich verzögert.

#### Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Christoph Brauner  
c/o Landesamt für Kataster-, Vermessungs- und Kartenwesen (LKVK)  
Von der Heydt 22, 66115 Saarbrücken  
c.brauner@lkvk.saarland.de

## Anmerkungen zur Stellungnahme von Christoph Brauner

Burckhardt Ahrens und Karl-Heinz Böhmer

Im Beitrag von Christoph Brauner wird dankenswerterweise der Ansatz zur Überführung georeferenzierter Datenbestände mithilfe von NTV2-Gitterdateien durch weitere Argumentationen bestätigt. Dennoch seien einige Anmerkungen erlaubt:

Sicherlich ist die 3D-/7-Parameter-Transformation der richtige Ansatz für ein landesweites Überführungsmodell. Das lässt sich jedoch für das nordrhein-westfälische Liegenschaftskataster nicht realisieren. Durch die Kommunalisierung treffen wir sehr inhomogene Verhältnisse an: Als Netzgrundlage dient nur zum Teil das bisher für das TP-Feld aktuelle Netz77, zum Teil ist es noch die Preußische Landesaufnahme, andere Gebiete beziehen sich auf eine der zwischenzeitig durchgeführten Netzerneuerungen. Unterschiedliche Lagestatus sind nicht nur zwischen den Katasterbezirken, sondern auch innerhalb eines Bezirkes zu finden. Es existieren für ein und denselben Punkt Koordinaten, die um Dezimeterbeträge voneinan-

der abweichen. Das führt u. U. zu relativ kleinen Überführungsverfahren (Gemarkungen und kleiner). Des Weiteren sind Katasterbehörden bestrebt, lokale Spannungen im Startsystem abzufangen und verdichten das Stützpunktfeld bis unter die Hierarchiestufe der Aufnahmepunkte.

Je kleiner nun ein Transformationsverfahren ist, umso eher können Spannungen im Lage- und Höhennetz dazu führen, dass ein 3D-Modell »verkantet« und die Spannungen sich gegenseitig beeinflussen. Ein besonderes Problem stellt dabei die Bereitstellung der ellipsoidischen Höhen der Stützpunkte über dem Bessel-Ellipsoid in der Lagerung des DHDN90 dar. Im Allgemeinen sind die ETRS89-Höhen aus satellitengestützten Messungen bekannt. Dagegen müssen die DHDN90-Höhen aus den Höhen über einer Höhenbezugsfläche (hier Normalhöhen null NHN) abgeleitet werden. Dazu werden NHN-DHDN90-Undulationen benötigt. Während die NHN-ETRS89-Undulationen sicher bestimmt werden können als Differenzen zwischen ETRS89- und NHN-Höhen bzw.

in den aktuellen Geoidmodellen zu interpolieren sind, ist die Bestimmung der DHDN90-Undulationen hypothetisch (Minimierung von Höhenrestklaffungen, Minimierung der Lotabweichungen, Auffelderung auf die Basen des Hauptdreiecksnetzes o.ä.). Für landesweite Modelle sind diese Ansätze ausreichend, in kleinräumigen Verfahren können die Verkantungen aber zu Lagefehlern von mehreren Millimetern führen.

Hinzu kämen beim Aufbau eines dichten Stützpunktfeldes der Aufwand für die Höhenbestimmung, Fragen der höhenmäßigen Punktidentität usw. Um diesen Problemen aus dem Weg zu gehen, wird im nordrhein-westfälischen Liegenschaftskataster mit einem zweidimensionalen Ansatz gearbeitet. Die Gauß-Krüger-Koordinaten der Stützpunkte einerseits wie andererseits ihre UTM-Koordinaten beinhalten bereits die Einflüsse der unterschiedlichen Dimensionen und Lagerungen der Bezugsellipsoide. Sich aus der Abbildung ergebende Verzerrungen werden durch die Vorab-Umrechnung in die Abbildung des Zielsystems minimiert. Noch verbleibende Restfehler sind wesentlich geringer als die lokalen Spannungen des Startsystems und werden mit der Restklaffenverteilung bei der hohen Stützpunktdichte ausreichend berücksichtigt. Die Ansätze wurden in Pilotverfahren verifiziert ([www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/organisation/abteilung07/dezernat\\_71/etrs89/index.html](http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07/dezernat_71/etrs89/index.html)) und in den bisher überführten Gebieten in Nordrhein-Westfalen erfolgreich angewendet.

Insofern erfolgten die Überführung des Liegenschaftskatasters, die vorgestellte Erstellung der NTV2-Gitterdateien für die Nutzer, aber auch die Berechnung der Vergleichswerte für das Testbeispiel im ursprünglichen Beitrag »aus einem Guss«. Die relativ großen Abweichungen zwischen NTV2- und direkter Überführungslösung können sich daher nicht aus den unterschiedlichen Ansätzen 2D/3D ergeben.

Bei den von C. Brauner vorgestellten Überführungsgebieten sind dagegen keine großen Abweichungen zu erwarten. Berechnen wir grob die durchschnittliche Stützpunktdichte  $d$  aus der Gebietsfläche  $F$  und der Anzahl der Stützpunkte  $n$  nach

$$d = \sqrt{\frac{F}{n}}$$

erhalten wir für das Saarland ( $F = 2.569 \text{ km}^2$ ,  $n = 547$ )  $d = 2,2 \text{ km}$ , für Hessen ( $F = 21.115 \text{ km}^2$ ,  $n = 80$ )  $d = 16 \text{ km}$  und Montenegro ( $F = 13.812 \text{ km}^2$ ,  $n = 309$ )  $d = 6,7 \text{ km}$ . Dem stehen Gitterweiten von  $\sim 0,12 \text{ km} / 0,24 \text{ km} / 0,12 \text{ km}$  gegenüber. Daraus ist zu schließen, dass zwischen zwei benachbarten Stützpunkten eine Vielzahl von Gitterpunkten die Bewegungen des Modells aufnehmen kann. Die Shiftwerte der Gitterpunkte repräsentieren in ers-

ter Linie ein gleichmäßiges Gefälle des Modells in einer Stützpunktmasche und die Differenzen zwischen der NTV2-Lösung und der direkten Transformation bleiben auch in Senken und Kuppen gering. Die mittleren Koordinatenfehler von 5 mm im Saarland und 10 mm in Hessen weisen zudem auf ein relativ spannungsfreies Startsystem hin. In unserem Beispiel mit einer Stützpunktdichte von durchschnittlich 1,5 km liegt der mittlere Koordinatenfehler bei 11 cm. Die kürzeste Stützpunktnachbarschaft beträgt 101 m mit einer relativen Restklaffung von 3,1 cm. Selbst mit einer Gitterweite von  $1'' \times 1''$  ( $30,8 \text{ m} \times 19,2 \text{ m}$ , kleinere Werte sind zumindest in TRABBI-2D nicht einzugeben) ist eine maximale lineare Abweichung von 5 mm zwischen NTV2- und direkter Transformationslösung nicht zu unterschreiten.

Diese Abweichung deckt sich mit dem Beispiel Montenegro, das bezüglich des Verhältnisses Stützpunktdichte/Gitterweite bei einem großen mittleren Koordinatenfehler vergleichbar ist.

Zudem – den Hinweis verdanken wir TRABBI-2D-Anwendern – ist eine beliebige Verdichtung eines (Sub-)Gitters ohne Nutzung weiterer Subgitter nicht möglich: Die NTV2-Formatbeschreibung begrenzt die Anzahl der Stützpunkte in einem Subgitter auf sechs Stellen, 999.999 also. Das gilt zwar nur für die ASCII-Datei, nicht für die Binärdatei (hier liegt der zulässige Wertebereich bei etwa  $2 \times 10^9$ ). Diese Datei kann aber u. U. beim Übergang auf ein anderes Betriebssystem wegen unterschiedlicher interner Darstellung der Variablen nicht verwendet werden (»Little Endian« / »Big Endian«-Problematik).

Um bei der Erstellung einer NTV2-Gitterdatei mit TRABBI-2D den Genauigkeitsabfall des gewählten Gitters beurteilen zu können, wird eine Prüfung der Gitterdichte angeboten. Dabei werden die Startsystemkoordinaten der diskreten Stützpunkte mit dem Gitter überführt. Die resultierenden konformen Zielsystemkoordinaten werden mit den vorgegebenen verglichen. Die jeweils größten Abweichungen – in jeder Koordinatenkomponente und linear – werden auf dem Bildschirm ausgewiesen. Entspricht das Ergebnis nicht den Genauigkeitsanforderungen, ist ein dichteres Gitter zu untersuchen.

**Anschrift der Autoren**

Dipl.-Ing. Burckhardt Ahrens  
burckhardt.ahrens@bezreg-koeln.nrw.de

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Böhmer  
karl-heinz.boehmer@bezreg-koeln.nrw.de

c/o Bezirksregierung Köln, Abteilung 7 – GEObasis.nrw  
Muffendorfer Straße 19–21, 53177 Bonn