



Bild: © Guido Mengelberg, Wuppertal, Picabay. Inhaltslizenz zur freien Nutzung / Open Database License ODBL

Modellierung einer NTV2-Datei am Beispiel der Stadt Wuppertal unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit

Dieser Fachartikel beschreibt die Vorgehensweise bei der Modellierung einer NTV2-Datei aus identischen Punkten in verschiedenen geodätischen Bezugssystemen am Beispiel des Stützpunktfeldes der kreisfreien Stadt Wuppertal mit Fokus auf die Wirtschaftlichkeit.

Die Modellierung von NTV2-Dateien wird in der Regel von externen Unternehmen mit dem entsprechenden Fachwissen und der erforderlichen Ausrüstung durchgeführt. Die Erfahrung zeigt, dass die benötigte Software und Arbeitskraft sehr teuer sind. Aus diesem Grund scheuen viele Verwaltungen, Vermessungs- und Katasterämter den Schritt, aus ihren vorhandenen Stützpunktdaten eine hochpräzise NTV2-Datei zu erstellen. Diese könnte jedoch für viele Vermessungsaufgaben mit hohen Genauigkeitsanforderungen verwendet werden. Es wird eine Methode vorgestellt, wie auch mit begrenztem Budget und eigenen Ressourcen eine NTV2-Datei modelliert werden kann.

Die kreisfreie Stadt Wuppertal hat auf ihrer Internetseite Stützpunktdaten mit hochpräzisen identischen Punkten des Stadt-

gebiets in den Koordinatenbezugssystemen DHDN/Gauß-Krüger und ETRS89/UTM veröffentlicht. Die Stützpunktdaten stehen dort zum Herunterladen und zur freien Verwendung im Rahmen des Urheberrechts zur Verfügung. Aus diesen Daten hat die Stadt Wuppertal einen Satz Helmert-Transformationsparameter für den Übergang vom Bezugssystem DHDN nach ETRS89 entwickelt, nicht aber eine äquivalente NTV2-Datei. Im Rahmen der Qualitätsanalyse kommen wir später noch einmal auf diesen Helmert-Satz zurück.

In diesem Artikel wird die Erstellung einer NTV2-Datei mithilfe des geodätischen Programms NTV2Creator von KilletSoft für den noch genaueren Übergang von DHDN auf ETRS89 im Stadtgebiet erläutert. Genau wie bei der Erstellung der Helmert-Transforma-

tionsparameter werden auch zur Erstellung der NTV2-Datei dieselben Stützpunktdaten der Stadt Wuppertal verwendet.

Bezugssystemwechsel mit dem NTV2-Verfahren

NTV2 steht für „National Transformation Version 2“ und bezeichnet ein Verfahren für die Überführung georeferenzierter Daten von einem Bezugssystem in ein anderes. Ursprünglich in Kanada entwickelt, ist es inzwischen zu einem weltweiten Standard geworden.

Das NTV2-Verfahren basiert auf einem regelmäßigen Gitter aus geographischen Koordinaten, für die Shiftwerte als Differenz zwischen zwei Bezugssystemen in einer Datei abgelegt sind. Für eine Koordinatentransformation zwischen den Bezugssysteme-

men wird zunächst die Gittermasche ermittelt, in der ein zu transformierender Punkt liegt. Aus den Shiftwerten der vier Gitterpunkte in den Ecken dieser Masche wird der innerhalb der Gittermasche liegende Punkt interpoliert. Die interpolierten Shiftwerte der geographischen Länge und Breite werden dann der Koordinate des Quell-Bezugssystems zugeschlagen, um eine äquivalente Koordinate im Ziel-Bezugssystem zu erhalten.

Modellierung einer NTV2-Datei

So viel zur Verwendung bereits vorhandener NTV2-Dateien. Wie aber wird eine NTV2-Datei aus einer Wolke unregelmäßig verteilter geodätischer Punkte in zwei Stützpunktdateien erzeugt? Zunächst müssen alle Punkte der Stützpunktdateien als sogenannte identische Punkte vorliegen, die in zwei verschiedenen Bezugssystemen genau vermessen und berechnet worden sind. Aus den identischen Punkten werden die Shiftwerte der Gitterpunkte für ein festgelegtes Bearbeitungsgebiet in einem einmaligen Prozess berechnet und in einer NTV2-Datei abgelegt. Da die Modellierung einer NTV2-Datei ein sehr aufwendiger Prozess ist, ist in Abhängigkeit von der Größe des Bearbeitungsgebiets, der Anzahl identischer Punkte in den Stützpunktdateien und der Feinheit der Gittermaschen ein hoher rechnerischer Zeitaufwand zu erwarten.

Als Ergebnis erstellt das Programm NTV2Creator zwei Varianten von NTV2-Dateien. Die eine Variante ist eine Datei im lesbaren ASCII-Format, die das Dateinamensuffix gsa hat. Die andere Variante ist eine binäre NTV2-Datei mit dem Dateinamensuffix gsb, die von Koordinaten-Transformationssoftware und GIS direkt verwendet

werden kann und eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit zulässt.

Zur Erstellung einer NTV2-Datei sind zunächst einige Merkmale bezüglich der Ausdehnung des Gitters, der Maschenweite, der Ellipsoide der Quell- und Ziel-Bezugssysteme und einige Bezeichnungen für die Bezugssysteme und für das Gitter festzulegen. Diese Daten trägt das Programm in einen Haupt-Header und in einen Gitter-Header der NTV2-Datei ein. In der ASCII-Variante kann man das sehr gut in Klarschrift nachsehen. Hinter den Headern sind die Shiftwerte der Gitterpunkte und Qualitätsmerkmale eingetragen. Für jeden Gitterpunkt sind vier Dezimalzahlen vorhanden. Das sind die Shiftwerte für die geographische Breite und Länge der Gitterpunkte und die Qualitätsmerkmale für die Breite und Länge der Gitterpunkte.

Zu Beginn der Bearbeitung werden die Koordinaten der identischen Punkte mittels statistischer Verfahren auf Ausreißer und Abweichungen getestet. Die ermittelten Ausreißer können von der weiteren Berechnung ausgeschlossen werden. Anschließend werden alle Gitterpunkte berechnet. Zur Berechnung eines Gitterpunktes sammelt das Programm die identischen Punkte aus den Stützpunktdateien des Quell-Bezugssystems und des Ziel-Bezugssystems ein, die in einem bestimmten Radius um den Gitterpunkt liegen. Mit diesen identischen Punkten wird eine kleinräumige dreidimensionale Helmert-Sieben-Parametertransformation durchgeführt. Die Helmert-Parameter bestimmen bei der anschließenden Koordinatentransformation des Gitterpunktes des Quell-Bezugssystems die Koordinate desselben Gitterpunktes im Ziel-Bezugssystem. Zur Erhöhung der Genauigkeit wird die Verteilung der Restklassen mittels Natural

Neighbour Interpolation angewendet. Die Differenz aus den Koordinaten des Gitterpunktes in beiden Bezugssystemen wird in Form zweier Shiftwerte in die NTV2-Datei eingetragen. Die berechneten Shiftwerte behalten den Ausgleich regionaler und lokaler Spannungen und sie berücksichtigen die unterschiedlichen Dimensionen und Lagerungen der in beiden Bezugssystemen verwendeten Ellipsoide.

Die Verwendung einer NTV2-Datei ist die bessere Option

Der Vorteil des NTV2-Verfahrens liegt darin, dass kleinräumige Übergänge der Bezugssysteme in vielen Gittermaschen über ein Gebiet abgelegt werden. Im Gegensatz dazu wird bei der Verwendung eines Helmert-Parametersatzes ein einzelner großräumiger Übergang für das gesamte Gebiet genutzt. Die gitterbasierten kleinräumigen Übergänge führen zu einer erheblich größeren Genauigkeit. Das ist besonders vorteilhaft, wenn die zugrunde liegenden Bezugssysteme inhomogen oder stark verzerrt sind.

Ein Praxisbeispiel: Das Stützpunktfeld der Stadt Wuppertal

Zunächst müssen die beiden Stützpunktdateien mit identischen Punkten der Quell- und Zielbezugssysteme von der Webseite der Stadt Wuppertal heruntergeladen werden. Die Google-Suche nach „Wuppertal Bezugssystem ETRS89/UTM“ führt zu einer Seite, auf der unter dem Link „Transformation“ die beiden Stützpunktdateien heruntergeladen werden können. Die Datei STP177_final.txt enthält Gauß-Krüger-Koordinaten im Bezugssystem DHDN von rund 16.800 Stützpunkten. Die Datei STP489_final.txt enthält UTM-Koordinaten im Bezugssystem ETRS89 für dieselben Stützpunkte.



Abb. 1: Übersicht des Stadtgebiets von Wuppertal

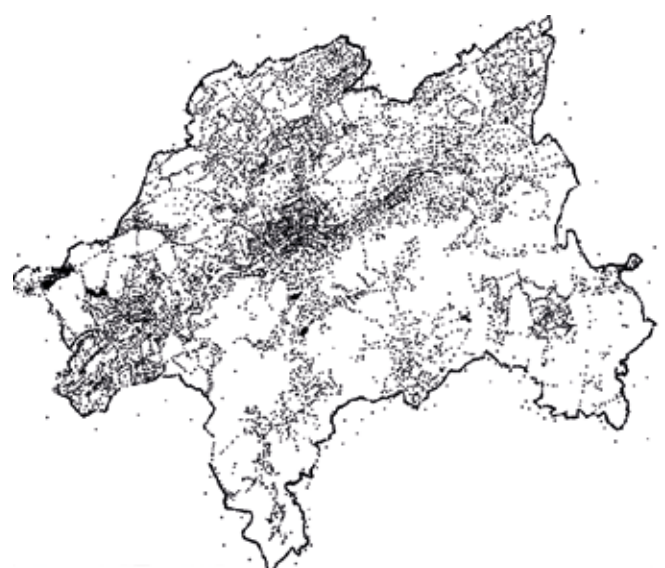


Abb. 2: Punktverteilung im Stützpunktfeld



Die Abbildung 1 zeigt das Gebiet der Stadt Wuppertal. Die dunklen Flächen zeigen die dicht bebauten Stadtgebiete. Die hell dargestellten Lagen sind überwiegend bewaldet und weisen eine weniger dichte Bebauung auf.

Die Abbildung 2 zeigt die Verteilung der identischen Punkte der Stützpunktdateien im Stadtgebiet von Wuppertal. Die Graphik wurde mit dem Programm TRANSDATpro als Shape-Datei erzeugt. Es ist zu erkennen, dass die Punkte einigermaßen gleichmäßig verteilt sind. In der nordwestlichen Hälfte ist die Punktdichte etwas höher als im südöstlichen Teil. Entlang der Stadtgrenze ist die Punktdichte sehr hoch, da es dort viele Grenzsteine gibt. Einige Punkte befinden sich offensichtlich außerhalb der eigentlichen Stadtgrenze.

Vorbereitung der Stützpunktdateien

Mit dem Programm NTV2Creator soll aus den Stützpunktdateien eine hochgenaue NTV2-Datei erstellt werden. Da das Programm Gauß-Krüger-Koordinaten nicht direkt verarbeiten kann, werden die beiden Dateien zunächst mit dem Programm TRANSDATpro von KilletSoft in geographische Koordinaten umgerechnet. Dabei ist zu beachten, dass die Bezugssysteme bzw. deren Ellipsoide beibehalten werden.

In TRANSDATpro werden deshalb zunächst sogenannte benutzerdefinierte Ellipsoide eingestellt. Für die Stützpunktdatei stp177_final.txt mit Gauß-Krüger-Koordinaten im Bezugssystem DHDN wird das Bessel-Ellipsoid als Quell- und Zielellipsoid eingestellt. Äquivalent dazu muss für die Stützpunktdatei stp489_final.txt mit UTM-Koordinaten im Bezugssystem ETRS89 das GRS80-Ellipsoid als Quell- und Zielellipsoid eingestellt werden.

Im Hauptfenster des Programms TRANSDATpro ist für die Quellkoordinaten das Ko-

ordinatensystem Gauß-Krüger eingestellt. Für die Zielkoordinaten sind geographische Koordinaten in Grad-Notation eingestellt. Für die Bezugssysteme müssen im Quell- und Zielsystem jeweils die zuvor festgelegten benutzerdefinierten Ellipsoide eingestellt sein. Da die Quellkoordinaten in der Eingabedatei STP177_final.txt als Gauß-Krüger-Koordinaten im Bezugssystem DHDN auf dem Bessel-Ellipsoid vorliegen, werden alle Koordinaten der Ausgabedatei als geographische Koordinaten im Bezugssystem DHDN auf dem Bessel-Ellipsoid ausgegeben.

Für die Datei STP489_final.txt mit UTM-Koordinaten im Bezugssystem ETRS89 auf dem Ellipsoid GRS80 sind äquivalente Einstellungen notwendig. Als benutzerdefinierte Ellipsoide sind dafür auf beiden Seiten die GRS80-Ellipsoide eingestellt. Für die Quellkoordinaten wird das Koordinatensystem UTM eingestellt. Alle anderen Einstellungen sind identisch.

In diesem Fenster des Programms TRANSDATpro (s. Abb. 5) sind die Eingabe- und Ausgabedateien konfiguriert. Die Eingabedatei STP177_final.txt der Stadt Wuppertal enthält Gauß-Krüger-Koordinaten im Bezugssystem DHDN. Sie liegt als formatierte Textdatei vor. Darin sind

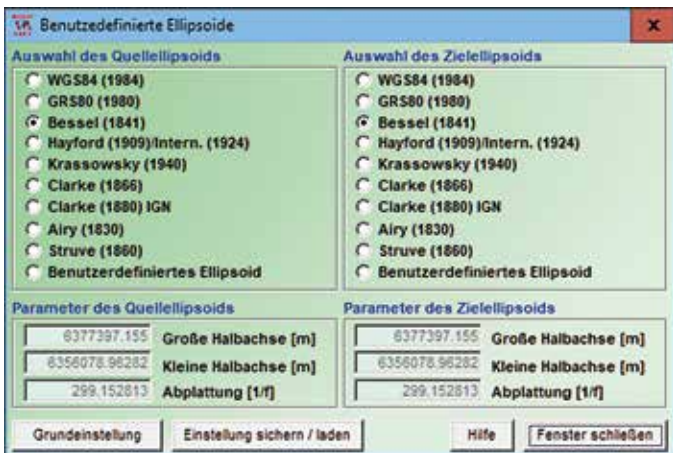


Abb. 3: Einstellung der benutzerdefinierten Ellipsoide im Programm TRANSDATpro

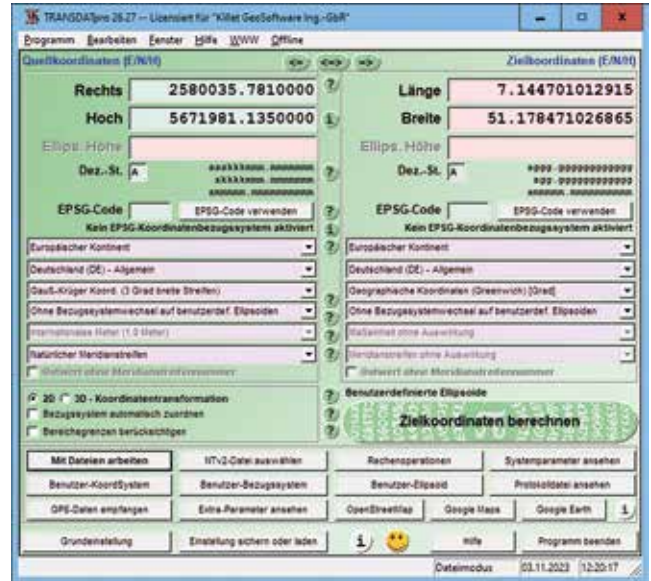


Abb. 4: Einstellungen im Hauptfenster des Programms TRANSDATpro

eine Punktnummer, ein Rechtswert und ein Hochwert zeilenweise in Spalten formatiert enthalten. Das erste Zeichen des Rechtswerts der Koordinaten steht in jeder Zeile an der Position 17.

Die transformierten Koordinaten sollen in eine formatierte Textdatei mit der Bezeichnung geo_dhdn_wuppertal.txt geschrieben werden. Damit die Punktnummer in die Datei übertragen wird, muss das Programm den vor den Koordinaten stehenden führenden Text in die Ausgabedatei kopieren. Die Ost- und Nordkomponenten der Koordinaten sind vertauscht, damit bei den geographischen Koordinaten zuerst die geographi-

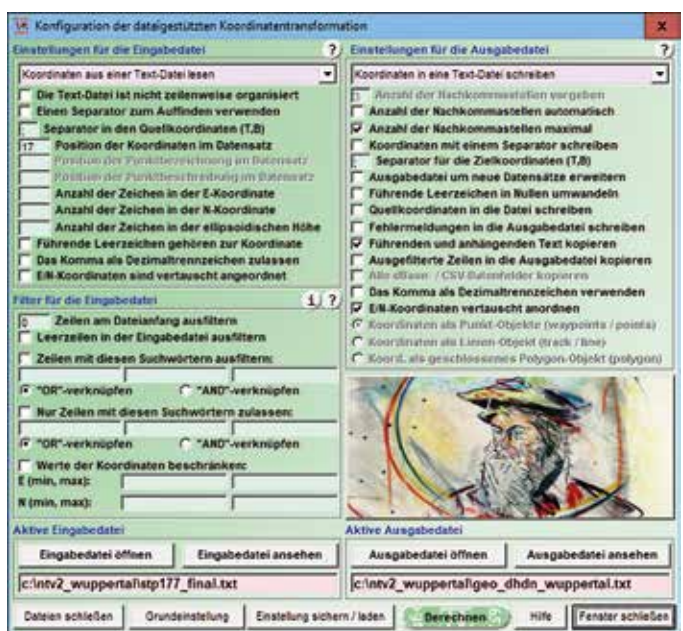


Abb. 5: Einstellungen für dateigestützte Koordinatentransformationen im Programm TRANSDATpro

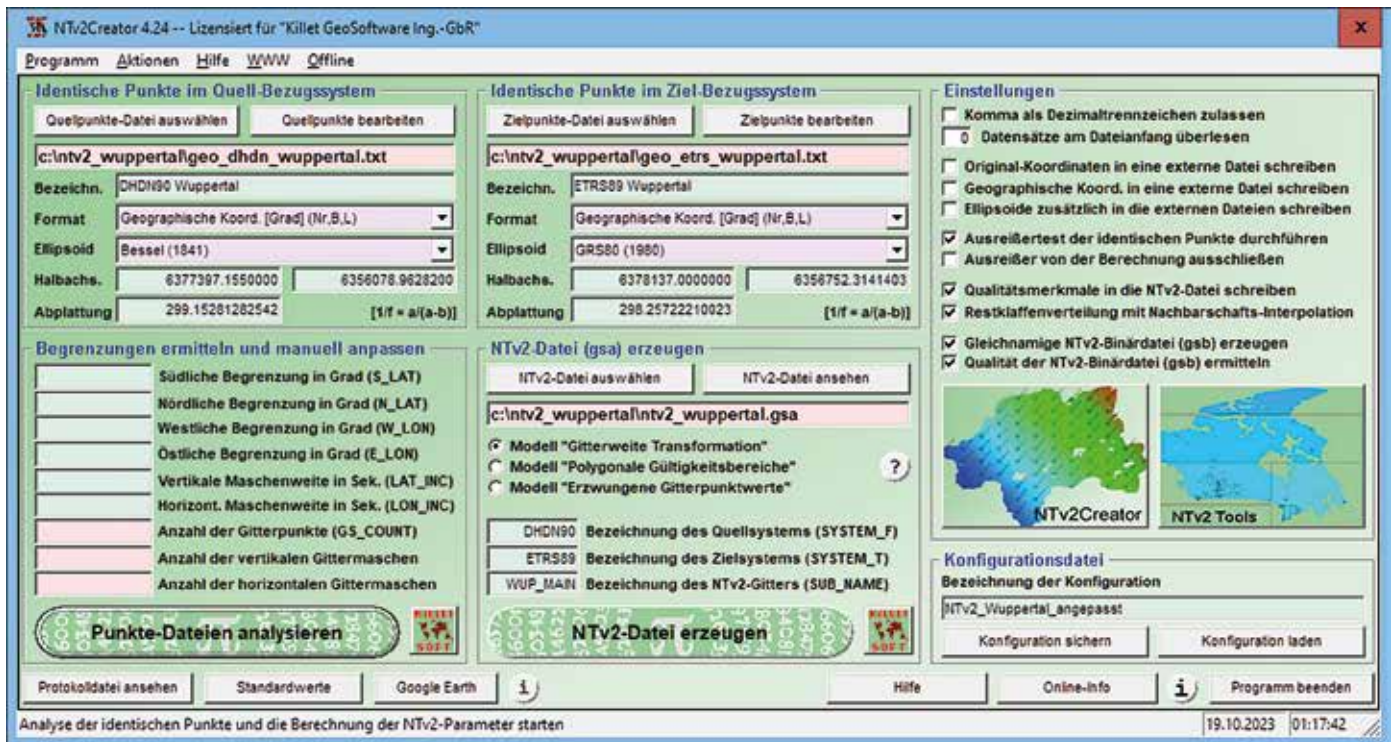


Abb. 6: Benutzeroberfläche des Programms NTV2Creator

sche Breite, dann die geographische Länge ausgegeben wird.

Die Eingabedatei STP489_final.txt der Stadt Wuppertal enthält UTM-Koordinaten im Bezugssystem ETRS89. Darin sind eine Punktnummer, ein Ostwert und ein Nordwert zeilenweise in Spalten formatiert enthalten. Für die Ausgabedatei ist die Bezeichnung geo_etrswuppertal.txt gewählt worden. Alle anderen Einstellungen sind identisch. Die beiden Stützpunktdateien sind nach einem Klick auf die Schaltfläche „Berechnen“ so weit vorbereitet, dass Sie zum Einlesen der identischen Punkte in das Programm NTV2Creator verwendet werden können.

Das geodätische Programm NTV2Creator

Das Programm NTV2Creator erzeugt aus den beiden Stützpunktdateien eine NTV2-Datei. Damit können mit geeigneter Transformationssoftware und GIS beliebige Koordinaten im Stadtgebiet von Wuppertal vom Bezugssystem DHDN in das Bezugssystem ETRS89 oder zurück mit hoher Genauigkeit umgerechnet werden. Doch zunächst sind im Programm NTV2Creator einige Einstellungen erforderlich.

Die Abbildung 6 zeigt eine Gesamtansicht der Benutzeroberfläche des Programms NTV2Creator. Im linken oberen Bereich sind die Stützpunktdateien und die Parameter der Bezugssysteme eingetragen. Im mittleren unteren Bereich sind der Dateiname und weitere Parameter für die zu erzeugen-

de NTV2-Datei eingetragen. Im rechten oberen Bereich sind weitere Einstellungen eingetragen, die während der Berechnung der NTV2-Datei benötigt werden. Diese drei Bereiche werden in den folgenden Abschnitten ausführlich erläutert.

Festlegen der Stützpunktdateien und der Bezugssysteme

Es soll eine NTV2-Datei zur Umrechnung beliebiger Koordinaten im Stadtgebiet Wuppertal erzeugt werden. Dafür werden die beiden zuvor mit dem Programm TRANSDATpro aufbereiteten Stützpunktdateien als Datenquellen im Quell-Bezugssystem und im Ziel-Bezugssystem eingetragen. In den Textfeldern „Bezeichn.“ kann man zur späteren Wiedererkennung signifikante Bezeichnungen der Quell- und Ziel-Bezugssysteme eintragen.

Das Format der in den Stützpunktdateien enthaltenen Punktbezeichnungen und Koordinaten wird aus dem Listenfeld „For-

mat“ ausgewählt. Das Listenfeld ermöglicht Einstellungen vieler verschiedener Konfigurationen der in Stützpunktdateien abgelegten Daten. In unseren Stützpunktdateien sind pro Datensatz in Reihenfolge eine Punktbezeichnung, eine geographische Breite und eine geographische Länge enthalten. Folglich wird die Option „Geographische Koord. (Nr,B,L)“ ausgewählt. Das dem Quell-Bezugssystem DHDN zugrunde liegende geodätische Ellipsoid Bessel (1841) wird aus dem Listenfeld „Ellipsoid“ ausgewählt. Für das Ziel-Bezugssystem ETRS89 wird das Ellipsoid GRS80 (1980) festgelegt. Die jeweiligen Halbachsen und die Abplattung stellt das Programm automatisch ein.



Abb. 7: Bereich für die Stützpunktdateien und Bezugssysteme



Parameter der zu erzeugenden NTV2-Datei

Hier werden der Dateiname und das Verzeichnis der zu erzeugenden NTV2-Datei festgelegt. Das Programm stellt sicher, dass der Dateiname immer mit dem Dateisuffix gsa endet. Dieses Suffix bezeichnet eine NTV2-Datei im lesbaren ASCII-Format. Die Ausgabe einer binären NTV2-Datei mit dem Dateisuffix gsb wird später eingestellt. Im Programm NTV2Creator stehen drei Modelle zum Erzeugen von NTV2-Dateien zur Verfügung. Genaue Beschreibungen der Modelle sind in der Hilfe-Datei zu finden, die nach der Installation des Programms zur Verfügung steht. Hier ist das Modell „Gitterweite Transformationen“ zum Erzeugen der NTV2-Datei eingestellt.

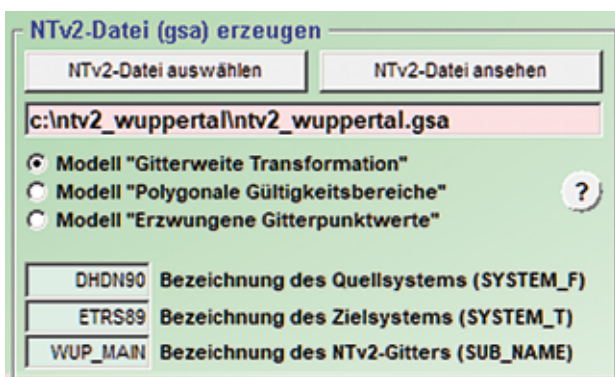


Abb. 8: Bereich für die Parameter der NTV2-Datei

In diesem Modell wird zuerst aus allen identischen Punkten der Stützpunktdateien ein gebietsweiter Helmert-Sieben-Parametersatz erzeugt und gespeichert. Während der Berechnung der NTV2-Datei können sogenannte Fehlgitterpunkte auftreten, die dann mit Ergebnissen aus dem gebietsweiten Helmert-Satz gefüllt werden. Im Weiteren wird das genauer erläutert.

In die Textfelder für die Bezeichnungen der Quell- und Zielsysteme und für die Bezeichnung des NTV2-Gitters müssen signifikante Kurzbezeichnungen eingetragen werden, die in die zu erzeugende NTV2-Datei als SYSTEM_F, SYSTEM_T und SUB_NAME übernommen werden.

Weitere Einstellungen zum Erzeugen der NTV2-Datei

Die meisten Einstellungen sind selbsterklärend. Hier wird nur auf die in diesem Beispiel angekreuzten Optionen eingegangen. Die Beschreibungen aller anderen Einstellungen sind in der Hilfe-Datei zu finden, die nach der Installation des Programms zur Verfügung steht.

Im Ausreißertest werden deutlich vom Mittelwert abweichende, identische Punkte in

den Stützpunktdateien festgestellt. Diese können durch Messfehler oder durch Übertragungsfehler zustande gekommen sein. Wenn Ausreißer gefunden worden sind, können diese überprüft und gegebenenfalls in den Stützpunktdateien korrigiert werden. Alternativ bietet das Programm die Möglichkeit, die Ausreißer von der Berechnung auszuschließen.

In einer NTV2-Datei sind pro Gitterpunkt vier Einträge vorhanden: zwei Shiftwerte und zwei Qualitätswerte. Die Qualitätswerte variieren in Zahlen zwischen 0 und 1. Eine Null kennzeichnet Gitterpunkte, die nicht ermittelt werden konnten und deshalb als Fehlgitterpunkte bezeichnet werden. In dem gewählten Berechnungsmodell wird für Fehlgitterpunkte das Ergebnis aus einer gebietsweiten Helmert-Transformation eingetragen. Je größer der Qualitätswert ist, umso genauer sind die Shiftwerte. Eine Eins wird für die höchstmögliche Qualität eingetragen.

Wie bereits erwähnt, wird während der Berechnung der NTV2-Datei mit den um jeden Gitterpunkt herum gefundenen identischen Punkten ein kleinräumiger Helmert-Sieben-Parametersatz erzeugt. Durch Rückrechnung mit diesen Helmert-Parametern für alle gefundenen identischen Punkte können die Abweichungen (Klaffungen) von den tatsächlichen Punktkoordinaten ermittelt werden. Die Klaffungen wiederum können, gewichtet nach dem quadratischen Abstand zu den Gitterpunkten, als Korrekturfaktoren für die Shiftwerte der Gitterpunkte verwendet werden. Dieses Verfahren wird

„Restklaffenverteilung mit Nachbarschafts-Interpolation“ genannt.

Zunächst wird eine NTV2-Datei im lesbaren ASCII-Format mit dem Dateinamensuffix gsa erzeugt. Um zusätzlich die binäre Variante mit dem Dateinamensuffix gsb zu erzeugen, muss die entsprechende Option angekreuzt werden. Die gsb-Variante kann direkt von Koordinaten-Transformationssoftware und GIS verwendet werden.

Nachdem die NTV2-Binärdatei (gsb) vom Programm erzeugt worden ist, kann eine Qualitätsanalyse durchgeführt werden. Dazu rechnet das Programm alle identischen Punkte des Quellsystems unter Verwendung der neuen NTV2-Binärdatei in das Zielsystem um. Die auf diese Weise berechneten Zielkoordinaten werden mit den Koordinaten der identischen Punkte im Zielsystem verglichen. Die Abweichungen zwischen den berechneten Koordinaten und den ursprünglichen Koordinaten der identischen Punkte des Zielsystems teilt das Programm in Cluster auf. Schlecht passende, identische Punkte werden ermittelt und zur Nachbesserung vorgeschlagen.

Ermitteln der Begrenzungen und Maschenweiten

Nachdem alle vom Programm benötigten Einstellungen eingetragen worden sind, können die identischen Punkte in den Stützpunktdateien analysiert werden. Der Start der Analyse erfolgt durch Anklicken der Schaltfläche „Punkte-Dateien analysieren“. Falls in den Stützpunktdateien Fehler enthalten sind, zeigt das Programm sie an und schlägt sie zur Korrektur vor.

Anhand der räumlichen Verteilung der identischen Punkte berechnet das Programm die Begrenzung des viereckigen Wirkungsbereichs der NTV2-Datei. Die Anzahl der identischen Punkte ist ausschlaggebend für die Voreinstellung der Anzahl von vertikalen und horizontalen Gittermaschen. Je mehr

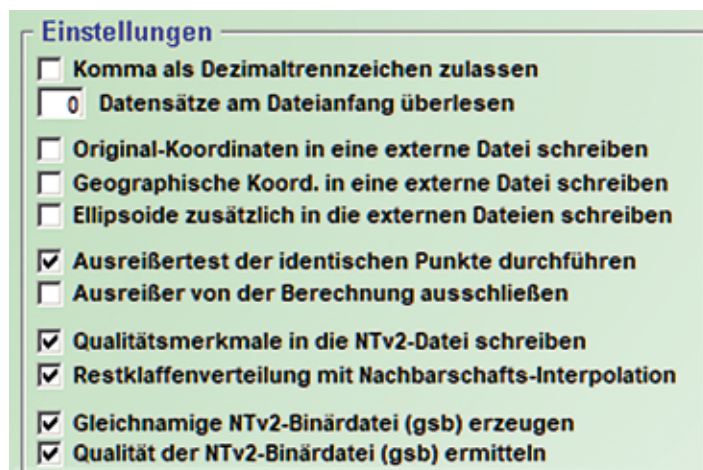


Abb. 9: Bereich für weitere Einstellungen

Begrenzungen ermitteln und manuell anpassen	
51.1636252067	Südliche Begrenzung in Grad (S_LAT)
51.3253612154	Nördliche Begrenzung in Grad (N_LAT)
7.0061711209	Westliche Begrenzung in Grad (W_LON)
7.3232770040	Östliche Begrenzung in Grad (E_LON)
4.4109820531	Vertikale Maschenweite in Sek. (LAT_INC)
8.6483422663	Horizont. Maschenweite in Sek. (LON_INC)
17689	Anzahl der Gitterpunkte (GS_COUNT)
132	Anzahl der vertikalen Gittermaschen
132	Anzahl der horizontalen Gittermaschen

Punkte-Dateien analysieren

Abb. 10: Vom Programm ermittelte Begrenzungen und Maschenweiten

Begrenzungen ermitteln und manuell anpassen	
51.1600000000	Südliche Begrenzung in Grad (S_LAT)
51.3262500000	Nördliche Begrenzung in Grad (N_LAT)
7.0000000000	Westliche Begrenzung in Grad (W_LON)
7.3258333333	Östliche Begrenzung in Grad (E_LON)
4.5000000000	Vertikale Maschenweite in Sek. (LAT_INC)
8.5000000000	Horizont. Maschenweite in Sek. (LON_INC)
18626	Anzahl der Gitterpunkte (GS_COUNT)
133	Anzahl der vertikalen Gittermaschen
138	Anzahl der horizontalen Gittermaschen

Punkte-Dateien analysieren

Abb. 11: Manuell angepasste Begrenzungen und Maschenweiten

identische Punkte vorhanden sind, umso mehr Gittermaschen können berechnet werden. Aus den Anzahlen der vertikalen und horizontalen Gittermaschen und den südlichen und nördlichen sowie den westlichen und östlichen Begrenzungen berechnet das Programm die vertikalen und horizontalen Maschenweiten.

Die südliche, nördliche, westliche und östliche Begrenzung des Wirkungsbereichs trägt das Programm in die Datenfelder S_LAT, N_LAT, W_LON und E_LON ein. Die vertikalen und horizontalen Maschenweiten sind in den Datenfeldern LAT_INC und LON_INC eingetragen.

Es besteht die Möglichkeit, die vom Programm rechnerisch ermittelten Werte manuell anzupassen. Dabei müssen zuerst die Maschenweiten korrigiert werden. Die Begrenzungen passt das Programm dabei automatisch an. Anschließend ist es möglich, die Begrenzungen zu korrigieren. Dabei sollten sich die Änderungen auf die südliche und westliche Begrenzung beschränken, damit die zuvor eingestellten Maschenweiten nicht vom Programm automatisch angepasst werden. Am besten ist es, die beiden Werte jeweils auf wenige Dezimalstellen abzurunden.

In Abbildung 11 wurden die Grenzen und Maschenweiten für das Gebiet der Stadt Wuppertal bereits manuell angepasst. Infolge der Anpassungen hat das Programm die Anzahl der Gitterpunkte und Gittermaschen neu berechnet.

Es ist nicht sinnvoll, die Begrenzungen stark nach außen zu verändern, da es in den vergrößerten Teilen des Wirkungsbereichs keine identischen Punkte gibt. Andererseits ist es möglich, den Wirkungsbereich zu verkleinern, indem man die Grenzen nach innen verschiebt. Auch die identischen Punkte, die dann außerhalb des Wirkungsbereichs lie-

gen, verwendet das Programm für die Berechnung der NTV2-Datei.

Die Begrenzungen des Wirkungsbereichs können mithilfe der Schaltfläche „Google Earth“ im gleichnamigen Programm auf der Erdoberfläche angezeigt werden.

NTv2-Datei modellieren

Mit einem Klick auf die Schaltfläche „NTv2-Datei erzeugen“ startet die Modellierung der NTV2-Datei. Je nach Größe des Wirkungsbereichs, der Anzahl der identischen Punkte und der Anzahl der Gitterpunkte dauert das Modellieren der NTV2-Datei einige Zeit. Währenddessen wird der Bearbeitungsstand kontinuierlich angezeigt. Das Modellieren der NTV2-Datei für das Gebiet der Stadt Wuppertal dauert auf einem modernen Rechner nur einige Minuten, da hier nur 16.788 identische Punkte zu 18.626 Gitterpunkten verarbeitet werden müssen. Das ist für das Programm Ntv2Creator eine kleine Aufgabe. Tatsächlich kann das Programm bis zu einer Million identische Punkte verarbeiten und daraus bis zu einer Million Gitterpunkte erzeugen.

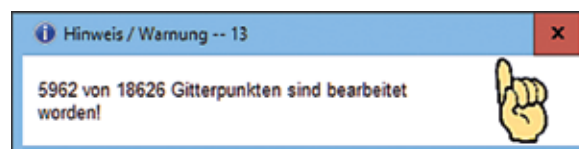


Abb. 12: Bearbeitungsstandanzeige während der Modellierung der NTV2-Datei

Alle Einstellungen, Bearbeitungsschritte und Ergebnisse werden während der Modellierung einer NTV2-Datei in eine Protokolldatei geschrieben. Nach jedem Bearbeitungsschritt kann diese mit einem Klick auf die Schaltfläche „Protokolldatei ansehen“ im

Datei-Editor angesehen werden. In diesem Beispiel sind nur einige wichtige Details aus der Protokolldatei erwähnt.

Da die Verteilung der identischen Punkte im Wirkungsbereich sehr unterschiedlich sein kann, ist es sinnvoll, durch Ausprobieren verschiedener Maschenweiten ein optimales Ergebnis zu erzielen. Wenn die Modellierung beendet ist, findet man folgende Hinweise in der Protokolldatei:

Es sind insgesamt 18.626 Gitterpunkte berechnet worden. Davon sind 8.132 Fehlgitterpunkte mit einem gitterweiten Helmert-Sieben-Parametersatz transformiert worden. Für die Fehlgitterpunkte sind zu wenige identische Punkte vorhanden oder die identischen Punkte um den Gitterpunkt sind inhomogen. Eine hohe Anzahl Fehlgitterpunkte kann mangels identischer Punkte in den Randbereichen durchaus normal sein.

Tatsächlich sind für die Positionen der Fehlgitterpunkte zu wenige identische Punkte im Stützpunktfeld der Stadt Wuppertal vorhanden. Das ist einleuchtend, wenn man sich die Verteilung der identischen Punkte in der Abbildung 2 ansieht. Eine NTV2-Datei überdeckt immer einen viereckigen Wirkungsbereich. Die identischen Punkte liegen aber bis auf wenige Ausnahmen innerhalb des polygonalen Stadtgebiets. In den Randbereichen des von der NTV2-Datei überdeckten Wirkungsbereichs sind also keine identischen Punkte für die kleinräumigen Berechnungen der dortigen Gitterpunkte vorhanden.



Das Programm hat eine NTV2-ASCII-Datei mit dem Dateinamen ntv2_wuppertal.gsa und eine NTV2-Binärdatei namens ntv2_wuppertal.gsb erzeugt. Diese Dateien können mit moderner Koordinatentransformationssoftware und GIS verwendet werden, um beliebige Koordinaten im Stadtgebiet Wuppertal in beide Richtungen von DHDN nach ETRS89 und von ETRS89 nach DHDN mit hoher Genauigkeit umzurechnen. Hier sind einige Auszüge aus der NTV2-ASCII-Datei ntv2_wuppertal.gsa aufgelistet. Wegen der besseren Lesbarkeit sind die Auszüge hier leicht formatiert dargestellt. In der NTV2-ASCII-Datei ist der vom Programm erzeugte Haupt-Header zu finden:

```
NUM_OREC 11
NUM_SREC 11
NUM_FILE 1
GS_TYPE SECONDS
VERSION NTV2.0
SYSTEM_F DHDN90
SYSTEM_T ETRS89
MAJOR_F 6377397.155
MINOR_F 6356078.963
MAJOR_T 6378137.000
MINOR_T 6356752.314
```

Direkt darunter folgt der vom Programm erzeugte Gitter-Header:

```
SUB_NAME WUP_MAIN
PARENT NONE
CREATED 20231019
UPDATED 20231019
S_LAT 184176.000000
N_LAT 184774.500000
E_LONG -26373.000000
W_LONG -25200.000000
LAT_INC 4.500000
LONG_INC 8.500000
GS_COUNT 18626
```

Einige der zuvor eingetragenen Werte findet man in den Headern wieder, andere sind vom Programm in Sekunden umgerechnet worden. Bemerkenswert ist, dass die östlichen und westlichen Längen im Beispiel mit negativen Vorzeichen versehen sind. Da das NTV2-Format im westlich von Greenwich liegenden Kanada entwickelt wurde, hat man dort die normalerweise mit negativen Vorzeichen versehenen Längen einfach als positive Werte im Formelsatz des NTV2-Verfahrens verwendet. Das hat zur Folge, dass die Längenangaben östlich von Greenwich im Gitter-Header mit negativem Vorzeichen enthalten sind.

Unterhalb der beiden Header sind die 18.626 Gitterpunkte mit zwei Shiftwerten und zwei Qualitätswerten pro Zeile abge-

-4.632984	2.850686	1.000000	1.000000
-4.632793	2.849199	1.000000	1.000000
-4.632920	2.848079	1.000000	1.000000
-4.632865	2.847290	1.000000	1.000000
-4.632808	2.846101	0.500000	0.500000
-4.632714	2.845069	1.000000	1.000000
-4.632815	2.843382	0.333333	0.333333
-4.632828	2.842144	0.333333	0.333333
-4.632743	2.840873	0.200000	0.200000
-4.632734	2.839520	0.142857	0.142857
-4.632625	2.838639	0.125000	0.125000
-4.632717	2.837211	0.125000	0.125000
-4.632665	2.835261	0.100000	0.100000
-4.632533	2.833570	0.100000	0.100000
-4.632290	2.832986	0.000000	0.000000
-4.632240	2.830917	0.100000	0.100000

legt. Die Shiftwerte stellen die Verschiebungen der geographischen Breite und Länge in Sekunden zwischen den beiden Bezugssystemen am Gitterpunkt dar. Die Qualitätswerte sind beide gleich und geben Auskunft über die Qualität jedes einzelnen Gitterpunkts. Die Qualität wird aus der Anzahl der für den Gitterpunkt verwendeten identischen Punkte und deren Verteilung und Entfernung vom Gitterpunkt festgelegt. Je größer der Qualitätswert ist, umso genauer sind die Shiftwerte. Eine Eins wird für die höchstmögliche Qualität vergeben. Eine Null kennzeichnet einen Fehlgitterpunkt.

Qualitätsanalyse der NTV2-Datei

Zum Ermitteln der Gesamtqualität der NTV2-Datei sind die 16.788 identischen Punkte des Quell-Bezugssystems mit der neuen NTV2-Binärdatei transformiert und mit den Original-Punkten des Ziel-Bezugssystems verglichen worden. Die Abweichungen zwischen den berechneten Punkten im Ziel-Bezugssystem und den Original-Punkten im Zielsystem stellen das Kriterium für die Qualität der NTV2-Datei dar. Die Verteilung der Abweichungen ist in Clustern aufgelistet:

```
5 mit Abweichungen > 0.01 <= 0.05 Millimeter = 0.03%
8 mit Abweichungen > 0.05 <= 0.1 Millimeter = 0.05%
329 mit Abweichungen > 0.1 <= 0.5 Millimeter = 1.96%
899 mit Abweichungen > 0.5 <= 1.0 Millimeter = 5.36%
10801 mit Abweichungen > 1.0 <= 5.0 Millimeter = 64.34%
3507 mit Abweichungen > 5.0 <= 10.0 Millimeter = 20.89%
1231 mit Abweichungen > 10.0 <= 50.0 Millimeter = 7.33%
8 mit Abweichungen > 50.0 <= 77.32 Millimeter = 0.05%
Mittlerer Lagefehler: 4.50 Millimeter
```

Der mittlere Lagefehler für alle 16.788 Punkte liegt bei nur 4,5 mm. Rund 93 % der Abweichungen sind kleiner als 1 cm. Keine

Abweichung ist größer als 7,8 cm. Das Ergebnis hat eine hohe Qualität hinsichtlich der Genauigkeit und zeigt, dass die Stadt Wuppertal ein homogenes und fehlerfreies Stützpunktfeld erarbeitet hat. Die größeren Ungenauigkeiten ab 1 cm resultieren aus der Verwendung des gebietsweiten Helmert-Parametersatzes in den punktarmen Randbereichen des viereckigen Wirkungsbereichs.

Wenn für die punktfreien Randbereiche weitere qualitativ hochwertige identische Punkte von den Nachbargemeinden zur Verfügung stünden, ließe sich die Qualität der NTV2-Datei noch wesentlich erhöhen. Für die Modellierung standen nur identische Punkte ohne Angabe der ellipsoidischen Höhe zur Verfügung. Mit ellipsoidischen Höhen wäre das Ergebnis noch etwas besser.

Durch die Qualitätsanalyse wird nicht die Qualität der vom Programm NTV2Creator durchgeführten Berechnungen, sondern die Qualität der für die Modellierung verwendeten identischen Punkte beurteilt. Durch die Korrektur fehlerhafter oder ungenauer Punkte oder durch das Füllen von Lücken kann die Qualität weiter verbessert werden.

Eine Vergleichsrechnung mit dem von der Stadt Wuppertal auf deren Internetseite zur Verfügung gestellten Helmert-Sieben-Parametersatz gibt folgendes Ergebnis aus:

```
6 mit Abweichungen > 0.1 <= 0.5 Millimeter = 0.04%
12 mit Abweichungen > 0.5 <= 1.0 Millimeter = 0.07%
557 mit Abweichungen > 1.0 <= 5.0 Millimeter = 3.32%
1938 mit Abweichungen > 5.0 <= 10.0 Millimeter = 11.54%
12753 mit Abweichungen > 10.0 <= 50.0 Millimeter = 75.96%
1521 mit Abweichungen > 50.0 <= 100.0 Millimeter = 9.06%
1 mit Abweichungen > 100.0 <= 107.36 Millimeter = 0.01%
Mittlerer Lagefehler: 27.93 Millimeter
```

Der mittlere Lagefehler für alle 16.788 Punkte liegt bei rund 28 mm. Der mit der NTV2-Datei ermittelte Lagefehler ist mit nur 4,5 mm sechsmal besser als der mit dem Helmert-Parametersatz ermittelte Lagefehler. Nur rund 15% der Abweichungen sind kleiner als 1 cm. Die maximale Abweichung liegt immerhin bei fast 11 cm. Die Vergleichsrechnung belegt, dass die Verwendung der viel genaueren NTV2-Datei sinnvoll ist.

Visualisierung der modellierten NTV2-Datei

Die Abbildung 13 zeigt die Shiftweiten und Shiftrichtungen im Wirkungsbereich der NTV2-Datei der Stadt Wuppertal. Die Gra-

phik ist mit dem Programm NTV2Tools von KilletSoft erzeugt worden. Als Shiftweite wird der Unterschied zwischen dem Quell-Referenzsystem und dem Ziel-Referenzsystem an einem Koordinatenpunkt bezeichnet. Die Shiftweite wird aus der Verschiebung der geographischen Breite und der geographischen Länge als Absolutbetrag in geographischen Sekunden berechnet. Für die graphische Darstellung werden für alle in der NTV2-

Datei vorhandenen Gittermaschen die Shiftweiten berechnet und den Regenbogenfarben zugeordnet.

Als Shiftrichtung wird der geographische Winkel bezeichnet, der zwischen einem Koordinatenpunkt des Quell-Referenzsystems und desselben Punktes im Ziel-Bezugssystem auftritt. Die Shiftrichtungen werden in einer Matrix über dem Wirkungsbereich des NTV2-Gitters als Vektoren angezeigt. Jeder Vektor repräsentiert an einem als kleinen Kreis dargestellten Koordinatenpunkt die Richtung und den Betrag der Verschiebung.

Die Shiftweiten und Shiftrichtungen zeigen kaum offenkundige Auffälligkeiten. Die Graphik bestätigt ein weitgehend homogenes und fehlerfreies Stützpunktfeld im Stadtgebiet Wuppertal. Es gibt lediglich drei kleine Bereiche, in denen der Farbverlauf inhomogen ist. Durch Kontrolle und Korrektur der in den gekennzeichneten Gebieten liegenden identischen Punkte kann das Stützpunktfeld noch verbessert werden.

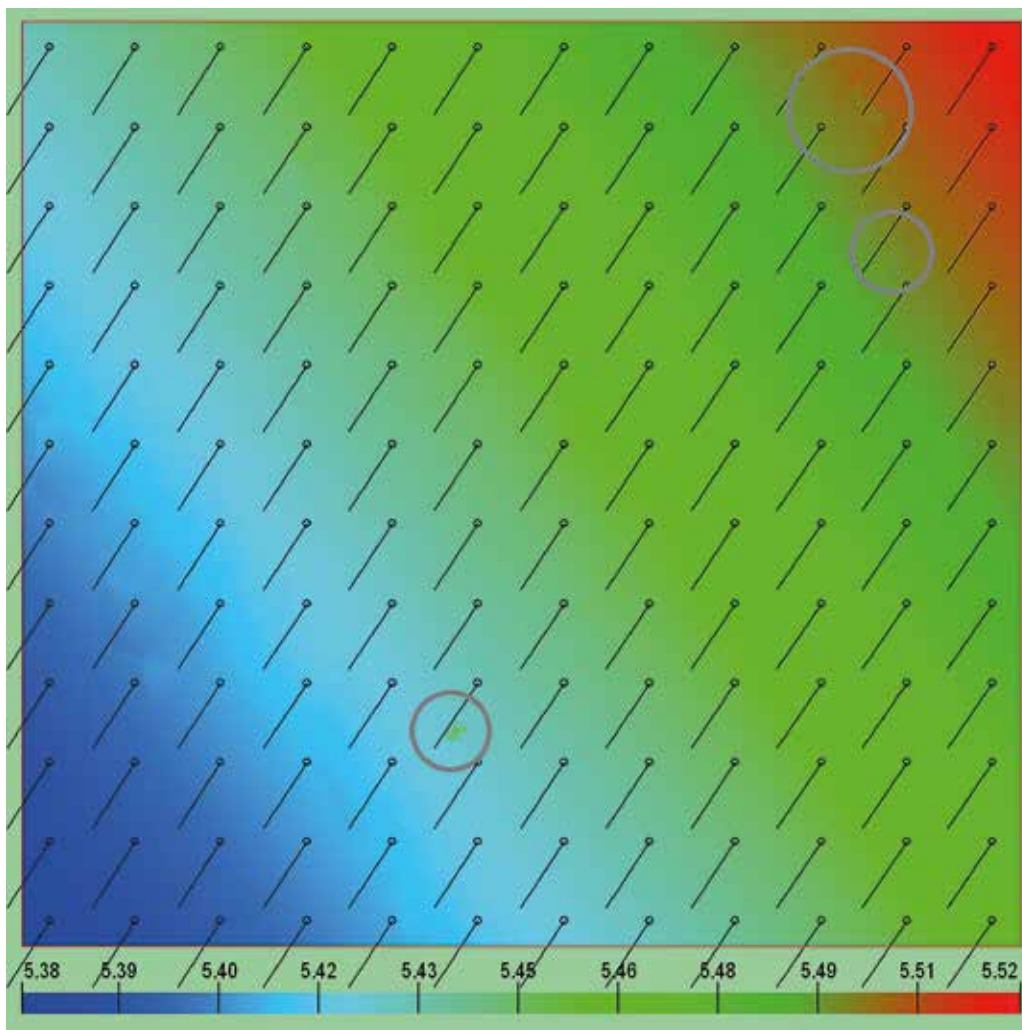


Abb. 13: NTV2 Shiftweiten und Shiftrichtungen



Suche nach der optimalen NTV2-Datei

Eine Verbesserung durch die Anpassung und Ergänzung identischer Punkte im Stützpunktfeld konnte der Autor freilich nicht vornehmen. Aber schon eine zweite Berechnung mit anderen Maschenweiten ergab eine etwas bessere Qualität als die zuvor exemplarisch durchgeführte Berechnung. Die Maschenweiten wurden dafür auf drei vertikale Sekunden und fünf horizontale Sekunden verkleinert. Dadurch hat sich die Anzahl der Gitterpunkte auf 45.507 vergrößert. In der Protokolldatei sind die Cluster der verbesserten Abweichungen zu finden:

```
11 mit Abweichungen > 0.01 <= 0.05 Millimeter = 0.07%
17 mit Abweichungen > 0.05 <= 0.1 Millimeter = 0.10%
634 mit Abweichungen > 0.1 <= 0.5 Millimeter = 3.78%
1689 mit Abweichungen > 0.5 <= 1.0 Millimeter = 10.06%
11800 mit Abweichungen > 1.0 <= 5.0 Millimeter = 70.29%
1835 mit Abweichungen > 5.0 <= 10.0 Millimeter = 10.93%
784 mit Abweichungen > 10.0 <= 50.0 Millimeter = 4.67%
16 mit Abweichungen > 50.0 <= 100.0 Millimeter = 0.10%
2 mit Abweichungen > 100.0 <= 111.79 Millimeter = 0.01%
Mittlerer Lagefehler: 3.39 Millimeter
```

Der mittlere Lagefehler für alle 16.788 Punkte ist hier mit 3,39 mm gegenüber 4,5 mm um rund 1,1 mm besser. Auch die Anzahl der Abweichungen, die größer als 1 cm sind, hat sich mit rund 95 % gegenüber 93 % etwas verbessert. Die größte Abweichung ist hier allerdings mit 11,2 cm etwas schlechter geworden als die zuvor ermittelten 7,8 cm. Durch Ausprobieren verschiedener Begrenzungen und Maschengrößen findet man allmählich das optimale Ergebnis. Hier zeigt sich der Nachteil bei der Modellierung einer NTV2-Datei: Sie ist zeitaufwendig.

Geodätische Software

Für die Modellierung der NTV2-Datei aus einer Anzahl identischer Punkte in zwei Bezugssystemen im Bereich der Stadt Wuppertal sind drei geodätische Programme aus dem Hause KilletSoft eingesetzt worden:

- **TRANSDATpro**
Geodätische Koordinatentransformationen und Datumsübergänge
- **NTV2Creator**
Modellierung von NTV2-Dateien aus identischen Punkten
- **NTV2Tools**
Werkzeuge für die Entwicklung, Bearbeitung und Analyse von NTV2-Dateien

Nach der Installation der kostenlosen Testversion des Programms NTV2Creator stehen alle in diesem Artikel beschriebenen Dateien für einen Testlauf mit den identischen Punkten der Stadt Wuppertal zur Verfügung. Eine in das Programm einlesbare Konfigurationsdatei bewirkt die

vom Programm benötigten Einstellungen. Bei den Tests mit den drei möglichen Transformationsmodellen erzeugt das Programm NTV2-Dateien im ASCII- und Binärformat.

Die drei geodätischen Programme bauen auf das Geodetic Development Kit GeoDLL von KilletSoft auf. Alle von den Programmen verwendeten geodätischen Formeln und Berechnungen sind in der Dynamic Link Library GeoDLL enthalten.

Bildquellen

Titelbild montiert mit:

Foto der Schwebebahn Wuppertal von Guido Mengelberg, Wuppertal. Picabay Inhaltslizenz zur freien Nutzung und Karte des Stadtgebiets von Wuppertal aus dem Projekt OpenStreetMap Open Database License ODbL

Abbildung 1:

Übersicht des Stadtgebiets von Wuppertal aus der freien Enzyklopädie Wikipedia. Von Pitichinaccio – eigenes Werk, gemeinfrei. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1904969>

Alle anderen Graphiken und Fotos

Fred Killet, Killet GeoSoftware Ing.-GbR

Dipl.-Ing. Fred Killet



Killet GeoSoftware Ing.-GbR (KilletSoft)
Escheln 28a
47906 Kempen
www.killetsoft.de
killet@killetsoft.de

Detaillierte Informationen zur Software und die Möglichkeit zum Herunterladen von Testversionen sind auf der Internetseite von KilletSoft zu finden. Die Installation der Software ist denkbar einfach und kann mit wenigen Klicks durchgeführt werden.

Digital Object Identifier (DOI)

<https://doi.org/10.14627/vdvmagazin-2024-X-X>