

Ein ausgeglichenes Bayern

Dieter Hampp



Clemens Glock



Einführung

Mit den aktuellen Überführungen der amtlichen Geobasisdaten der Landesvermessungsverwaltungen von Bayern und Baden-Württemberg nach ETRS89 / UTM werden in Deutschland die AdV-Beschlüsse von Mai 1991 und Mai 1995 vollendet, das European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89) in Verbindung mit der UTM-Projektion als amtliches Bezugssystem einzuführen. Ein einheitliches nationales und europäisches Bezugssystem schafft u. a. die Voraussetzung für flächendeckende, grenzüberschreitende Anwendungen.

Die Vorteile des Raumbezugswechsels stellen sich wie folgt dar:

- Das neue Bezugssystem ermöglicht eine einheitliche Basis für Geodaten und Karten in Europa.
- Die Geodaten aus verschiedenen Quellen können vereinfacht zusammengeführt werden.
- Das neue Bezugssystem ist Grundlage für die Einführung einer europaweiten Geodateninfrastruktur (INSPIRE).
- Der Referenzrahmen ETRS89/UTM, der mit den Parametern des GRS80-Ellip-

soids die gleichen Ellipsoid-Parameter wie das WGS84-Ellipsoid besitzt, ermöglicht eine quasidirekte Positionierung und Navigation mit den globalen Satellitennavigationssystemen GPS, GLONASS und Galileo.

- Das europaweit einheitliche Bezugssystem ermöglicht eine effiziente Nutzung und europaweite Interoperabilität von Geodaten.

Mit der Überführung des Liegenschaftskatasters vom GK-System ins neue ETRS89/UTM-System wird in Bayern zugleich der amtliche Bezugssystemwechsel vollzogen. Der amtliche Bezugssystemwechsel wird in Bayern frühestens Anfang 2018 durchgeführt.

Die Anwender und Fachkunden müssen sich auf das neue Bezugssystem einstellen. Denn nach dem amtlichen Umstellungszeitpunkt werden nur noch für eine Übergangszeit Produkte im alten Bezugssystem GK angeboten. Fachkunden, deren Geofachdaten Bezug zu amtlichen Geobasisdaten haben, müssen den Bezugssystemwechsel vollziehen, wenn die aktuell erworbenen Geobasisdaten und darauf aufbauenden Geofachdaten den gleichen Raumbezug haben sollen.

Die Einführung des neuen europäischen Bezugssystems stellte bzw. stellt die Vermessungsverwaltungen in Deutschland vor große Herausforderungen. Die Situation der Überführung der Geobasisdaten der Landesvermessung und des Liegenschaftskatasters ist unterschiedlich. Während sich seit zehn Jahren mit dem BeTA2007-NTv2-Gitterverfahren der AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland) ein Standard bei der Überführung der Geobasisdaten der Landesvermessung etabliert hat, der im Bereich der Bundeslandgrenzen zwischen den Bundesländern harmonisiert wurde, ist die Überführung des Liegenschaftskatasters von jedem Bundesland individuell vollzogen worden. Dies liegt u. a. daran, dass jedes Bundesland eine unterschiedliche Realisierung des alten, zu überführenden Bezugssystems DHDN/GK (Deutsches Hauptdreiecksnetz) im Kataster besitzt. Das Ziel bei der Bezugssystemumstellung ist, trotz der unterschiedlichen Ausgangslage beim alten Bezugssystem DHDN/GK, die Einführung eines genauen, netzspannungsarmen und damit homogenen Koordinatensystems ETRS89/UTM.

Ein wichtiger Bestandteil der Strategie der Überführung des Liegenschaftskatasters nach ETRS89/UTM ist die Auswahl bzw. Entwicklung eines geeigneten Umformungsverfahrens. Das einzusetzende bzw. aufzubauende Liegenschaftskataster-Umformungsverfahren soll hohe Genauigkeitsanforderungen erfüllen. In Bayern sollen die nach ETRS89/UTM umgeformten Geobasisdaten des Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystems (ALKIS) bei Verbesserung des globalen Bezugs weiterhin hohe Nachbarschaftsgenauigkeit im cm-Bereich besitzen. Unter diesen Voraussetzungen kann auch in UTM der Außendienst weiter in bewährter Weise seine Katastervermessungen durchführen.

Dieser Artikel beschreibt die für die Überführung des Bayerischen Liegenschaftskatasters entwickelten Umformungsansätze und gibt nähere Einblicke in die dahinter stehende Mathematik. Für die Kunden, die sich mit der Aufgabe befassen müssen, ihre Geofachdaten nach ETRS89/UTM umzustellen, wird der Kundentransformationsansatz NTv2 der Bayerischen Vermessungsverwaltung beschrieben.

In einem weiteren Heft des DVW Bayern (geplantes Sonderheft zur UTM-Umstellung) wird dann umfassendere Information zur Einführung des neuen Bezugssystems ETRS89/UTM in Bayern gegeben. Es enthält weitere Kundeninformationen zur UTM-Umstellung von ALKIS, z. B. welche Produkte des Liegenschaftskatasters dann nur noch in UTM angeboten werden oder während einer Übergangszeit weiterhin in GK erhältlich sind.

Das Projekt KanU ("Kataster nach UTM")

Das Projekt KanU ("Kataster nach UTM") wurde 2012 mit dem Projektziel Überführung der Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters in das Bezugssystem ETRS89/UTM am damaligen Landesamt für Vermessung und Geoinformation eingerichtet. Die Mitglieder des Projektteams decken die Bereiche Kataster, Entwicklung, Qualitätssicherung und Kunden ab.

In der Anfangsphase konzentrierte sich die Projektarbeit auf die Untersuchung möglicher Überführungs- bzw. Transformationsverfahren. Für die Methodensuche wurden drei Verfahren näher analysiert:

- die punktspezifische Transformation.
- das Gitterverfahren NTv2 (National Transformation Version 2), näheres zum NTv2-Verfahren siehe Abschnitt Kundentransformation.
- die Umformung durch Ausgleichung.

Punktspezifische Transformation

Die im Rahmen einer Diplomarbeit [Westhäuser 2012] für den Einsatz als UTM-Umformungsmethode detailliert untersuchte punktspezifische Transformation wird für lokale GK-/GK-Transformationen im Liegenschaftskatasterbereich der Bayer. Vermessungsverwaltung (BVV) seit ca. 15 Jahren angewendet.

Die punktspezifische Transformation kommt bei der BVV i. d. R. in Kombination mit einer Helmertrtransformation zur Anwendung. Die bei den identischen Punkten bestimmten Restklaffungen werden für jeden einzelnen Neupunkt "punktspezifisch" verteilt. So wird der Genauigkeit der Nachbarschaft bei der Punktübertragung Rechnung getragen. Beziehungen zwischen Punkten aus dem Grundriss, z. B. Winkel und Strecken, werden dabei nicht berücksichtigt. Deshalb bleiben Winkel und Strecken durch eine punktspezifische Transformation grundsätzlich nicht erhalten.

Es fiel die Entscheidung, dass das Verfahren wegen der Erzeugung von einseitigen Verzerrungen bei vorliegenden Netzspannungen **nicht** für die ETRS89/UTM-Umstellung eingesetzt werden soll.

National Transformation Version 2 (NTv2)

Das Verfahren National Transformation Version 2 (NTv2) ist ein gitterbasiertes Transformationsverfahren. Für die Schnittpunkte der Gitterlinien werden Verschiebeparameter, sogenannte Shiftwerte, angegeben. Die Shiftwerte sind geographische Koordinatendifferenzen zwischen dem alten Bezugssystem (Bessel-Ellipsoid) und neuen Bezugssystem (ETRS89/GRS80).

Es fiel die Entscheidung, dass das NTv2-Verfahren **nicht** für die ETRS89/UTM-Umstellung eingesetzt werden soll, da identische Punkte neben ihren gemessenen eine neue transformierte Koordinate erhalten würden. Dies widerspricht dem Prinzip "ein Punkt – eine Koordinate". Identische Punkte werden damit durch die Transformation aus ihrer Originallage verschoben. Näheres zum Prinzip "ein Punkt – eine Koordinate" siehe das Kapitel über den Ausgleichungsansatz für die Flurstücke.

Umformung durch Ausgleichung

Das Verfahren Umformung durch Ausgleichung wurde im Rahmen der Methodensuche prototypisch für den Objektbereich Flurstücke umgesetzt. Gebiete in der Größe von Vermessungsamtsbezirken wurden mit dem neuartigen Transformationsansatz umgeformt. Die Ergebnisse zeigten bei vorhandenen Netzspannungen, die sich in den identischen Punkten manifestieren, eine gute Verteilung der Widersprüche in die Umgebung und minimale Auswirkungen auf die Grundriss-Geometrie und damit auf die Katasterflächen. Für eine nähere Beschreibung des Verfahrens wird auf das spätere Kapitel Ausgleichungsverfahren für die Flurstücke hingewiesen.

Die **Entscheidung**, die Umformung durch Ausgleichung als amtliches Überführungsverfahren für das Liegenschaftskataster aufzubauen, wurde im **Mai 2013** durch das Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat, Lenkungsausschuss KanU, getroffen. Im **Jahr 2015** kam innerhalb des Projekts KanU die **Entscheidung** dazu, für die Tatsächliche Nutzung und die Bodenschätzung und weitere nachgeordnete ALKIS-Objektbereiche, das Verfahren Umformung durch Nachbarschaft zu entwickeln.

Der nächste Abschnitt führt in die verschiedenen Transformationsverfahren des Projekts KanU ein, bevor dann die einzelnen Verfahren detaillierter beschrieben werden.

Die Transformationsverfahren von KanU

Beim Projekt KanU wurden für die Aufgabe ETRS89/UTM-Umformung des Liegenschaftskatasters mehrere unterschiedliche Transformationsansätze entwickelt.

Für die Überführung der ALKIS-Datenbasis kommt der Transformationsansatz **Umformung durch Ausgleichung** für die Flurstücke, Netzpunkte, Gebäude und Bauwerke zum Einsatz, der dann in unterschiedlicher Ausführung für die einzelnen Objektbereiche existiert. Alle restlichen Objektbereiche werden mit dem Transformationsansatz **Umformung durch Nachbarschaft** bearbeitet.

Diese Transformationsansätze werden gestaffelt angewendet. Bei der Ausgleichung und bei der Umformung durch Nachbarschaft wird eine bestimmte Reihenfolge definiert.

Die Überführung von ALKIS nach ETRS89/UTM wird mit der Ausgleichung für Flurstücke begonnen. Nach Abschluss der Flurstücke wird das Ausgleichungsverfahren für Gebäude angestoßen. Das Verfahren kann als zusätzliche identische Punkte die ca. 80 Millionen nach UTM umgeformten Flurstücksgrenzpunkte nutzen. Für die Gebäude werden jeweils Bezüge zu den Flurstücken, in denen sie liegen, und zu den benachbarten Gebäuden hergestellt. Schließlich wird das Ausgleichungsverfahren für Bauwerke gestartet. Dieses stellt einen Bezug der Bauwerke zu Gebäuden und Flurstücken her und verwendet die Ergebnisse der vorhergehenden Ausgleichungsverfahren.

Nach Durchlaufen der drei Ausgleichungen für Flurstücke, Netzpunkte, Gebäude und Bauwerke wird mit der Umformung durch Nachbarschaft begonnen. Hier gibt es eine analoge Definition von Reihenfolgen wie zuvor bei der Umformung durch Ausgleichung. Außerhalb des sogenannten Roundtrips – der Begriff Roundtrip bezeichnet das gesamte Durchlaufen der Umformungsverfahren für die Bezugssystemumstellung von ALKIS – wird ein interner Transformationsansatz für die Erstellung der NTV2-Datei vom Projekt KanU (BY-KanU) benötigt. **NTv2-Ansatz BY-KanU** ist der Transformationsansatz für die Kunden zur Umformung der Geofachdaten.

Der Begriff **BY-KanU** wird einerseits als Kurzform für den Kunden-Transformationsansatz verwendet. Andererseits bezeichnet er auch den Namen der engmaschigen NTV2-Datei, die zur Überführung von Geofachdaten mit Katasterbezug zur Verfügung gestellt wird. In der endgültigen, amtlichen Version für Kunden wird diese Datei zum Umstellungszeitpunkt auf der Webseite UTM-Umstellung der BVV (http://www.ldbv.bayern.de/vermessung/utm_umstellung.html) zum Download bereitgestellt. Hier erhalten die Kunden das Ergebnis eines internen Interpolations- und Transformationsansatzes in Form der NTV2-Datei BY-KanU. Näheres zum internen Interpolations- und Transformationsansatz siehe Abschnitt über Aufbau und Berechnung der NTV2-Datei.

Ausgleichungsansatz für die Flurstücke

Der Umformungsansatz für die Flurstücke soll folgende Prinzipien erfüllen:

1. Homogenisierungs-Prinzip: Vorhandene Netzspannungen im GK-System sollen beim Übergang nach UTM minimiert werden.
2. Prinzip Geometrieerhaltung der Grundrisse: Eine optimale Geometrieerhaltung des Grundrisses soll bei vorhandenen Netzspannungen gewährleistet werden (=> minimale Formveränderung bei Netzspannungen).
3. Prinzip "ein Punkt, eine Koordinate": Das Prinzip "ein Punkt, eine Koordinate" ist anzuhalten. Damit ist gemeint, dass ein identischer Punkt, der im Zielsystem bereits eine gemessene Koordinate besitzt, nicht zusätzlich eine transformierte oder anderweitig bestimmte Koordinate erhalten darf. Die ursprüngliche Koordinate ist demnach anzuhalten.

Anmerkung: Das dritte Kriterium „ein Punkt, eine Koordinate“ wird nicht nur bei der Ausgleichung, sondern mit Ausnahme des NTV2-Verfahrens bei allen anderen Umformungsverfahren von KanU berücksichtigt.

Wie bei jeder Transformation bilden identische Punkte die Grundlage. Dies trifft auch auf das mit Ausgleichung aufgebaute Umformungsverfahren zu. Die Anzahl der identischen Punkte (Katasterfestpunkte mit Punktorten in DHDN/GK4 und ETRS89/UTM) ist in Bayern verhältnismäßig hoch im Vergleich zu anderen Bundesländern. Für die Umformung der Flurstücke können über 850.000 identische, GNSS-bestimmte Punkte verwendet werden.

Vorstellung Ortra-Verfahren, Prinzip der Ausgleichung für Flurstücke :

Das Ortra-Verfahren ist ein auf einer vermittelnden Ausgleichung basierendes Umformungsverfahren zur Überführung des Liegenschaftskatasters nach ETRS89/UTM. Das Ausgleichungsverfahren realisiert mechanische Prinzipien und führt gleichzeitig während der Umformung eine Homogenisierung der Daten des Liegenschaftskatasters durch.

Der GK-Grundriss mit den punkt-, linien- und flächenförmigen Objekten des ALKIS-Objektbereichs Angaben zum Flurstück wird mit einer Vielzahl von Beobachtungen überzogen. Alle Flurstücksgrenzen werden durch Beobachtungen exakt nachgebildet. Zusätzlich wird der Grundriss durch weitere Beobachtungen versteift, indem von jedem Grundrisspunkt des Objektbereichs (= Flurstücksgrenzpunkt) eine Querverstrebung zur gegenüberliegenden Seite des Flurstücks gebildet wird.

Diese künstlich generierten Beobachtungen werden dabei als Pseudobeobachtungen bezeichnet. Im Unterschied zu den innerhalb eines Vermessungsprojekts durch

einen Vermessungsfachmann durchgeführten Beobachtungen sind diese rein virtuell, durch den Computer mit Hilfe eines Algorithmus bestimmt.

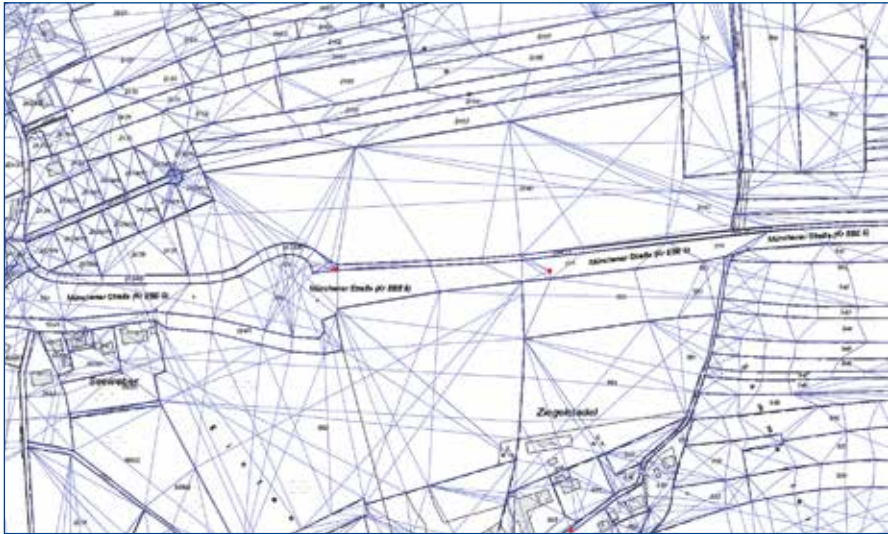


Abbildung 1: Netzbildung, erzeugte Pseudobeobachtungen für den Flurstücks-Grundriss

Diese Pseudobeobachtungen werden in die Ausgleichsrechnung eingeführt und bilden die Grundlage für die Verbesserungsgleichungen einer vermittelnden Ausgleichung.

Das so aus der Geometrie des Grundrisses aufgebaute Netz nutzt identische Punkte für den Anschluss an einen globalen Bezugsrahmen (ETRS89/UTM).

Beim Ausgleichungsansatz für die Flurstücke nach dem Ortra-Ansatz wird nicht ein Strecken- und Richtungsnetz wie bei der klassischen Netzausgleichung aufgebaut. Im Ortra-Ansatz, dessen Name Ortra für **orthogonale Transformation** steht, werden anstelle von Strecken- und Richtungsbeobachtungen Beobachtungen aus Koordinatendifferenzen zwischen den Punkten gebildet. Die Koordinatendifferenzen werden auf ein lokales Kleinsystem bezogen, dessen Koordinatenachsen zum Ausgangs-Koordinatensystem parallel sind. Die Beziehungen im Kleinsystem werden mit GK-Koordinaten (= bekannt, Beobachtungen der Ausgleichsrechnung) und UTM-Koordinaten (= unbekannt, Unbekannte der Ausgleichsrechnung) aufgebaut.

Die Koordinatendifferenzen können als orthogonale Beobachtungen interpretiert werden. Es wird so ein dichtes geodätisches Netz von orthogonalen Beobachtungen aufgebaut. Das geodätische Netz kann wie ein mechanisches Fachwerk gesehen werden. Es besteht beim Ortra-Verfahren eine Analogie zwischen Ausgleichsrechnung und Mechanik. Innerhalb der analogen Sichtweise Fachwerk können mechanische Gesetze, z. B. minimale Energieprinzipien und Sätze über Formänderungsarbeiten angewendet werden. Die im geodätischen Netz durch Widersprüche bei den identischen Punkten erzeugten Druck-, Scher- und Zugkräfte werden statisch ausgeglichen. Durch Gültigkeit und Anwendbarkeit von mechanischen Gesetze, v. a. dem Gesetz der minimalen Formänderungsarbeit, wird die Form der Flurstücke beim Einwirken von äußeren Kräften nur minimal verändert. So bleibt die Geometrie der Flurstücke beim Übergang nach UTM trotz möglicher Netzspannungen gut erhalten.

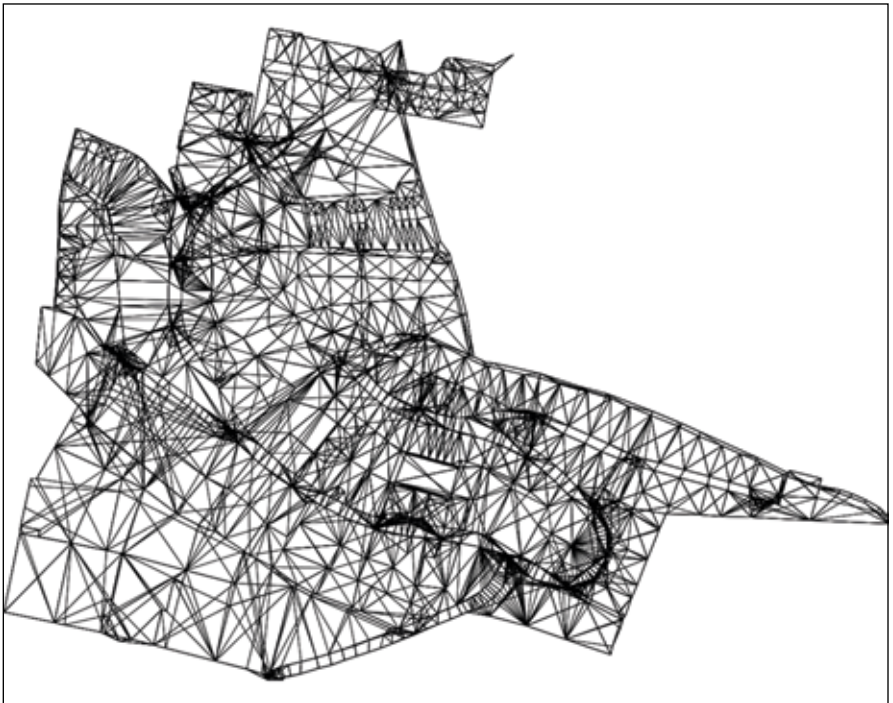


Abbildung 2: Aus Pseudobeobachtungen definiertes, mechanisch wirkendes „KanU-Fachwerk“

Zwei Arten von Beobachtungen werden beim Ortra-Verfahren für Flurstücke aufgebaut:

1. Art: Beobachtungen für den Grundriss

Grenzbeobachtung

Von jedem Flurstücksgrenzpunkt werden Pseudobeobachtungen mit Hilfe aller von diesem Grenzpunkt abgehenden Flurstücksgrenzen erzeugt. Die im lokalen Koordinatensystem definierten Strecken- und Winkelbeziehungen zwischen aneinander stoßenden Flurstücksgrenzen werden bei der Ausgleichung so weit wie möglich erhalten. Damit werden natürlich auch Geraden- und Winkelbedingungen weitgehend erhalten.

Winkelhalbierende

Zu den Beobachtungen entlang der Flurstücksgrenzen werden zusätzliche Beobachtungen zur gegenüberliegenden Seite des Flurstückspolygons aufgebaut. Dazu wird vom Flurstücksgrenzpunkt ausgehend eine Winkelhalbierende zwischen zwei benachbarten, von diesem Punkt ausgehenden Grenzen definiert. Diese trifft auf eine gegenüberliegende Flurstücksgrenze und schneidet immer diese Grenze. Auf der Flurstücksgrenze wird vom Schnittpunkt ausgehend der nächstgelegene Flurstücksgrenzpunkt gesucht. Wenn dieser Flurstücksgrenzpunkt bestimmt wurde, dann wird die Beobachtung vom Ausgangspunkt zu diesem Zielpunkt definiert. Durch diese Art von Beobachtung wird das Flurstück versteift. Somit wird Entartungen bei langgezogenen Flurstücken (z. B. Straßen) entgegengewirkt.

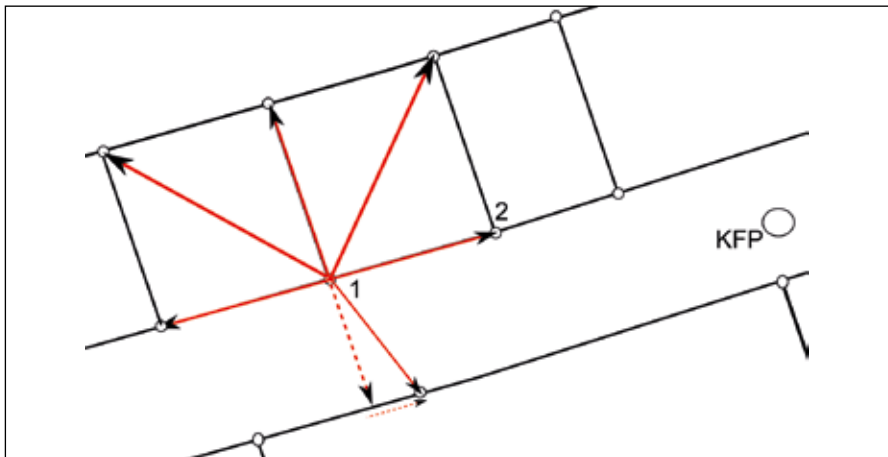


Abbildung 3: Bestimmung des nächstgelegenen Flurstücksgrenzpunktes in Richtung der Winkelhalbierenden

2. Art: Beobachtungen für „isolierte“ Punkte

Isolierte Punkte haben keinerlei Verbindung zu Grenzlinien, sie stehen also im Grundriss ohne Verbindung zu ihren Nachbarn. Das sind meist sogenannte Trigonometrische Punkte und Katasterfestpunkte. Letztere bilden die Mehrzahl der identischen Punkte. Um hier netzartige Verknüpfungen zu schaffen, werden ebenfalls „Pseudobeobachtungen“ eingeführt:

- Zu allen Punkten im Umkreis von 30 Metern. Dieser Wert wurde empirisch festgelegt.
- Im Flurstück, in dem sich der Punkt befindet, werden über alle Richtungen verteilt Beobachtungen zu den Grenzpunkten des Flurstücks generiert.

Auf diese Weise wird eine Beziehung zwischen den isolierten Punkten und dem restlichen Grundriss hergestellt. Das ganze Netz kann dann in den ETRS89/UTM-Koordinatenrahmen gezogen werden.

Lokale Koordinatensysteme des Ortra-Ansatzes

Gedanklich wird für jeden zu überführenden Punkt ein lokales Koordinatensystem definiert. Die Bildung der Beobachtungen wurde weiter oben erläutert.

Die Unbekannten (= unbekannte Koordinatensystemparameter, die im Zielsystem ETRS89/UTM definiert sind) sind der Koordinatensystem-Ursprung 0 , die von der Ähnlichkeitstransformation bekannten lokalen Koordinatensystemparameter a und o , aus denen der Drehwinkel ϕ und der Maßstab m berechnet werden können.

Von diesen Unbekannten, die mittels vermittelnder Ausgleichung bestimmt werden, sind für die Transformation die Koordinaten des Koordinatensystem-Ursprungs interessant, da sie die East- und North-Koordinate des zu überführenden Punktes darstellen, während die Parameter a und o bzw. die indirekt bestimmten Drehwinkel ϕ und der Maßstab m "Nebenprodukte" der Ausgleichung sind.

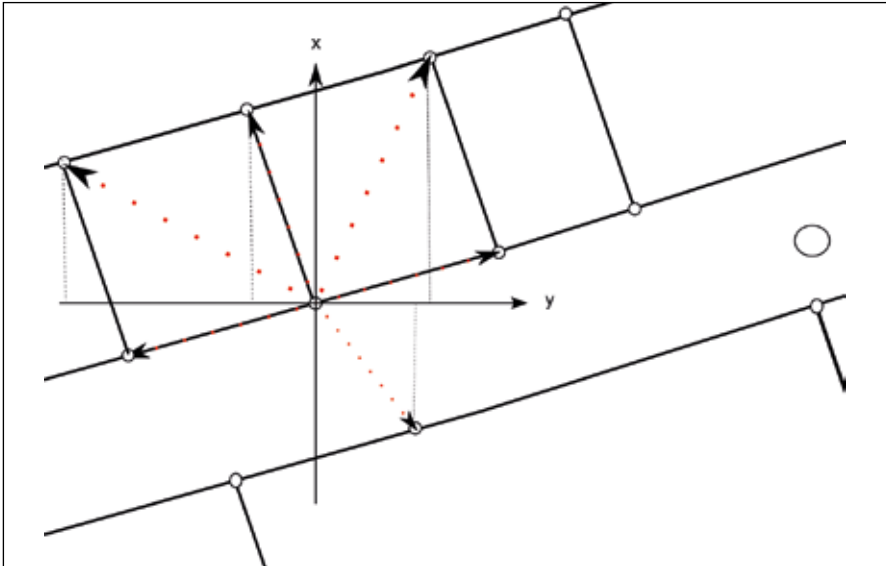


Abbildung 4: lokales Koordinatensystem mit aufgebauten nachbarschaftlichen Beziehungen, die nach UTM überführt werden

Die lokalen Koordinatensysteme werden innerhalb der Ausgleichung miteinander verkettet. Der in Bayern als Ortra-Ansatz bekannte Transformationsansatz ist bundesweit auch unter dem Namen Verkettete Helmertransformation bekannt. Das Verfahren der Verketteten Helmertransformation wird dem Photogrammeter Prof. Karl Kraus zugeschrieben, der es 1966 unter dem Titel "Untersuchungen zur ebenen verketteten linearen Ähnlichkeitstransformation" in der Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV 1966, S. 123 – 130) veröffentlicht hat. In der BVV wurde Ortra in den 1980er Jahren beim Referat Katasterphotogrammetrie als Transformationsverfahren eingesetzt.

Im Projekt KanU erlebt das Verfahren seit seiner Wiederentdeckung als bundesland-weit einsetzbares Umformungsverfahren in Verbindung mit modernster Sparse-Matrizen-Technologie eine Renaissance.

Kartenhomogenisierung als ETRS89/UTM-Überföhrungsverfahren

Bezug des Ortra-Verfahrens zu Kartenhomogenisierungsverfahren

Der bei KanU durch orthogonale Beobachtungen modifizierte klassische Ausgleichungsansatz, der auf bekannten Strecken- und Richtungsbeobachtungen basiert, wurde früher bei der Kartenhomogenisierung (siehe z. B. [Benning Scholz 1992, Rose 1988]) angewendet. In den 1990er Jahren wurde bei der Bayer. Vermessungsverwaltung ein Kartenhomogenisierungsansatz vor Einführung des numerischen Ansatzes zum Aufbau der Digitalen Flurkarte verwendet [Hampp 1992]. In der geodätischen wissenschaftlichen Literatur findet sich 2010 von Prof. Wilhelm Benning, RWTH Aachen, der Vorschlag, eine klassische Kartenhomogenisierung als ETRS/UTM-Überföhrungsverfahren einzusetzen [Benning Scholz 2010].

Durchföhrung der Ausgleichung

Mit Hilfe der definierten Beobachtungen können die Verbesserungsgleichungen für eine Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen aufgestellt werden. Das Fachwerk bzw. das Ausgleichungssystem aus orthogonalen Pseudobeobachtungen wird für den Amtsbezirk eines Vermessungsamts aufgebaut. Aus den Beobachtungen werden über die Verbesserungsgleichungen die für die Ausgleichung benötigten Matrizen und Vektoren (A-Matrix, Gewichtsmatrix, Beobachtungsvektor) definiert. Bei dem Ortra-Verfahren werden die durch einen Vorverarbeitungslauf (Vernetzung) für die Ausgleichung bestimmten Daten in binärer Form, in einer für die Laufzeit der Ausgleichung optimierten Speicherungsform, zur Verfügung gestellt.

Bei der Definition einer Ausgleichung für das Amtsgebiet eines Amtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung kommt es zu einer massenhaften Definition von Pseudobeobachtungen und folglich zu großen Matrizendimensionen. Die großen Matrizen sind i. d. R. dünn besetzt. In den Matrizen werden nur diejenigen Koeffizienten gespeichert, die von Null verschieden sind.

Für größere Ämter, z. B. Bayreuth, werden mehr als 15 Millionen Pseudobeobachtungen für den Amtsbezirk definiert. Wegen der Massenproblematik wird bei der Ausgleichung auf eine explizite Definition der A-Matrix und der Gewichtsmatrix verzichtet und unmittelbar das Normalgleichungssystem aufgebaut. Nach Aufstellung des Normalgleichungssystems wird das Ausgleichungsverfahren mit der Auflösung der Unbekannten abgeschlossen. Die Auflösung erfolgt durch einen Sparse Cholesky Algorithmus, der an der University of Florida unter der Leitung von Prof. Timothy Davis entwickelt wurde.

Ausgleichungsansatz für die Gebäude

Bei den Ausgleichungsansätzen für Gebäude und für Bauwerke wird ebenfalls der Ortra-Ansatz verwendet. Auf die Beschreibung des Ausgleichungsansatzes für Bauwerke wird im Artikel verzichtet, da er bis auf die Ausnahme von Überdachungen dem Ansatz von Gebäuden entspricht.

Für Gebäude bestehen die identischen Punkte nicht nur aus den bereits bei den Flurstücken genutzten, in ETRS bestimmten Punkte des Objektbereichs Angaben zum Netzknoten. Es kommen zusätzlich die in dem vorausgehenden Ausgleichungslauf nach ETRS89/UTM umgeformten Flurstücksgrenzknoten als identische Punkte hinzu. Bei der Überführung des Objektbereichs Angaben zum Gebäude nach ETRS89/UTM sind folgende Kriterien zu erfüllen:

1. Forderungen aus dem Bezug des Gebäudes zum Flurstück:
 - a. Die Grenzabstände der Gebäude zu den Flurstücksgrenzen sind möglichst zu erhalten.
 - b. Bei grenznahen Gebäuden ist die Erzeugung von Überbauten zu verhindern.
2. Forderungen aus den Beziehungen der Gebäude innerhalb eines Flurstücks zueinander:
 - a. Die Gebäudezwischenabstände sind möglichst zu erhalten.
 - b. Die Geometrien von Gebäuden mit geringem Abstand sollen sich nach der Umformung nach ETRS89/UTM nicht unzulässig berühren oder ineinander übergehen.
3. Forderungen an die Geometrie der Gebäude:
 - a. Eine vorhandene Netzspannung in der Umgebung des Gebäudes soll homogen durch eine vermittelnde Ausgleichung der Gebäude innerhalb des Flurstücks weiterverteilt werden.
 - b. Bei der Verteilung der Netzspannungen durch Ausgleichung soll die Form der Gebäude möglichst gut erhalten bleiben.

Bei der Definition der Beobachtungen für Gebäude werden diese Anforderungen durch bestimmte Gebäudevernetzungsarten umgesetzt:

- Gebäude-Außenvernetzung
- Gebäude-Innenvernetzung
- Gebäude-Zwischenvernetzung

Gebäudeaußenvernetzung

Der Bezug des Gebäudes zum umgebenden Flurstück wird über die Gebäudeaußenvernetzung hergestellt. Die Definition der Pseudobeobachtung erfolgt vom Gebäude aus in Richtung der nächsten Flurstücksgrenze. Für jeden Gebäudepunkt werden die beiden an ihn anstoßenden Gebäudeliniennach außen verlängert. Es werden zwei Pseudobeobachtungen zu dem Anfangs- und Endpunkt derjenigen Flurstücksgrenze definiert, die als erstes geschnitten wird.

Bei Aufbau der Gebäudeaußenvernetzung werden folgende Kriterien geprüft:

Die Verlängerung der Gebäudelinie in Richtung Flurstücksgrenze darf kein weiteres Gebäude schneiden. Falls die Gebäudelinienerlängerung dennoch ein weiteres Gebäude schneidet, wird die Flurstücksvernetzung für diese Gebäudeverlängerung abgebrochen und an seiner Stelle das gefundene Nachbargebäude mit dem Ausgangsgebäude vernetzt.

Es werden zwei Pseudobeobachtungen zu dem Gebäude bzw. zu der Gebäudelinie definiert, die geschnitten wird. Durch die an Stelle der Flurstücksvernetzung vorgenommene Gebäudewischenvernetzung wird sichergestellt, dass in der Ausgleichung keine Gebäude berechnet werden, die nicht außen- oder zwischenvernetzt sind.

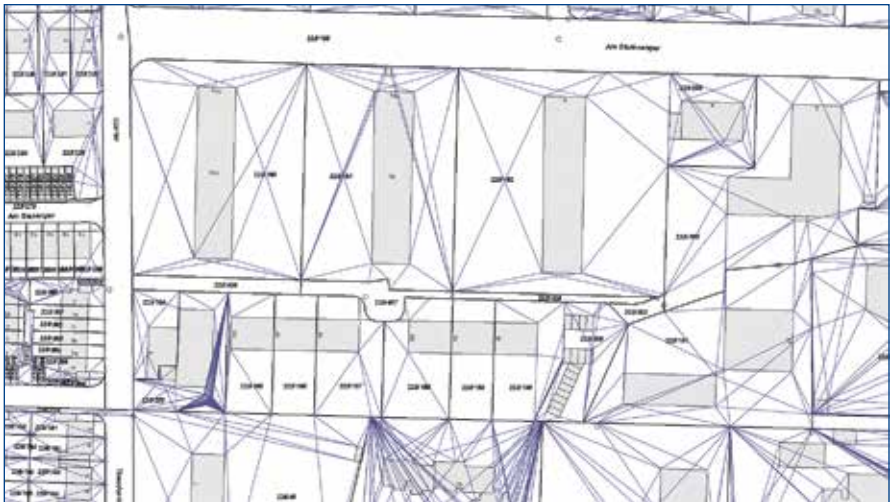


Abbildung 5: Gebäude-Außenvernetzung

Gebäudeinnenvernetzung

Die Gebäudeinnenvernetzung sorgt für die Überführung der Gebäudeform nach ETRS89/UTM. Alle Gebäudelini­en werden wie beim Flurstück vollständig durch Pseudobeobachtungen nachgebildet. Das Gebäudepolygon wird analog versteift wie ein Flurstück. Für jede Gebäudelinie wird beim Durchlaufen des Gebäudepolygons erneut ein Vor- und ein Rückblick definiert und eine Winkelhalbierende bei jedem Gebäudepunkt zwischen Vor- und Rückblick gebildet.

Dann wird in Richtung der Winkelhalbierenden bei der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes ein Anschlusspunkt für eine versteifende Pseudobeobachtung gesucht.



Abbildung 6: Gebäude-Innenvernetzung

Gebäudezwischenvernetzung

Die Gebäudezwischenvernetzung sorgt dafür, dass Gebäudeabstände beim Übergang nach ETRS89/UTM so gut wie möglich erhalten bleiben. Bei vorhandenen Netzspannungen soll die Geometriebeziehung zwischen Gebäuden insgesamt so verzerrungsarm wie möglich übertragen werden. Eine Degenerierung der Geometriebeziehung wie z. B. eine Gebäudeüberlagerung/-überschneidung wird durch Definitionen von Pseudobeobachtungen entgegengewirkt.

Die Gebäudezwischenvernetzung wird wie folgt aufgebaut:

In der Umgebung von empirisch definierten 30 Metern des aktuell untersuchten Gebäudepunktes werden die nächstgelegenen Gebäudelini­en gesucht. Zu den beiden Endpunkten einer gefundenen Gebäudelinie werden Beobachtungen erzeugt, wenn dabei folgende Kriterien erfüllt sind:

- Die Beobachtung schneidet dabei nicht das eigene Gebäude.
- Die Beobachtung schneidet dabei keine fremden Gebäude oder weitere Gebäudelini­en des gefundenen Gebäudes.

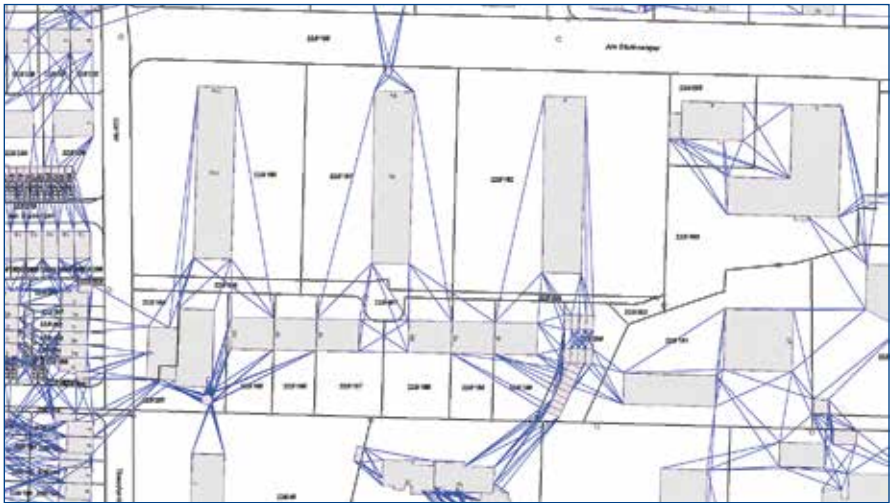


Abbildung 7: Gebäude-Zwischenvernetzung

Durchführung der Ausgleichung für Gebäude

Mit den definierten Pseudobeobachtungen werden erneut Verbesserungsgleichungen aufgebaut. Die identischen Punkte werden als unveränderliche Anschlusspunkte verwendet. Aus den Verbesserungsgleichungen werden wieder die gewohnten Matrizen für einen folgenden Ausgleichungslauf definiert. Nach Durchführung der Ausgleichung können die GK-Koordinaten der Punkt-, Linien- und Flächenobjekte des bearbeiteten Objektbereichs Angaben zum Gebäude durch die im Berechnungslauf bestimmten UTM-Koordinaten ausgetauscht werden.

Umformung durch Nachbarschaft

Das Verfahren Umformung durch Nachbarschaft kommt nach Abschluss der Ausglei- chung zur Anwendung. Es wird z. B. für die Objektbereiche Tatsächliche Nutzung, Bodenschätzung und alle anderen nachgeordneten Objektbereiche eingesetzt. Es ist ab 2015 als Interpolations-Überführungsverfahren parallel zu dem Ausgleichs- verfahren entwickelt worden. Ein wichtiges Prinzip des Verfahrens ist, dass Punktort- Gleichheit bzw. Koordinatenidentität erhalten bleibt. Für andere Geometrie-Kon- stellationen im Ausgangssystem wird der Nachbarschaftsbezug erhalten. Das bei der Ausgleichung angewendete Prinzip "ein Punkt - eine Koordinate" wird analog in dem Verfahren angewendet. So wird mehreren, im Startsystem übereinanderliegenden Punkten verschiedener Objektbereiche mit gleicher Koordinate durch Umformung durch Nachbarschaft eine gleiche UTM-Koordinate im Zielsystem zugewiesen.

Dieses Umformungsverfahren ist in seinem Grundaufbau eine Kombination aus einem Punktidentitäts-, Linienbezugs- und abstandsgewichteten Interpolationsverfahren.

Der nachbarschaftliche Bezug zu den vorher durch die Ausgleichung umgeformten Objekten wird über insgesamt drei verschiedene Arten der Nachbarschaft herge- stellt. Dieses Umformungsverfahren kennt nur Punktnachbarschaft. Bei linien- und flächenhaften Objekten werden entsprechend die Punkte der Linien- oder Flächen- geometrien nachbarschaftlich interpoliert.

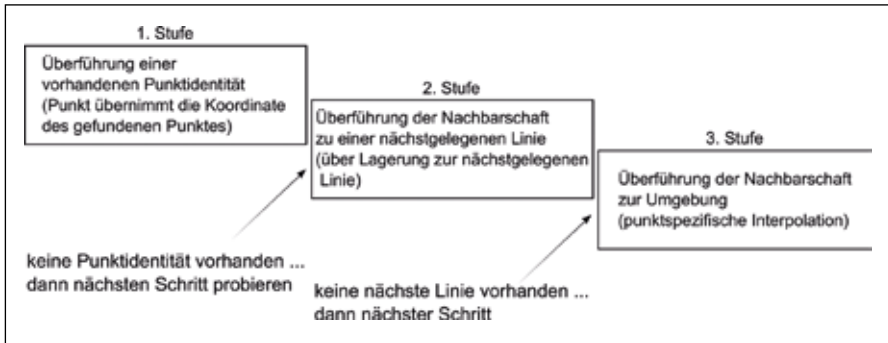


Abbildung 9: Arten der Nachbarschaft des Umformungsverfahrens

Alle nach ETRS89/UTM überführten Grundriss-Geometrien (Punkte, Linien, Polygone) der Objektbereiche Flurstücke, Gebäude und Bauwerke dienen als Datenbasis. Die räumlichen Objekte haben in ihren Geometrien bereits beide Koordinatenpaare (GK und UTM) des alten und neuen Raumbezugs enthalten. Bei einer zu überführenden GK-Koordinate eines Neupunktes wird untersucht, ob bereits ein Punkt aus den Ausgleichungsverfahren vorliegt, der dieselbe GK- Koordinate besitzt. Wenn ja, dann

ist für den Punkt die Untersuchung abgeschlossen und er erhält die korrespondierende UTM-Koordinate des Punktes.

Falls ein solcher Punkt nicht existiert, dann wird die nächste Linie zum Punkt gesucht. Zur Laufzeit übergebene Definitionen bestimmen, wann ein Punkt noch als benachbart zu einer Linie gesehen wird. Falls ein Linien-Nachbarschaftsbezug existiert, dann wird ein Koordinatensystem für die Linie mit Ursprung in einem der beiden Linienpunkte definiert und die Punktordinate und -abszisse des Punktes im Kleinsystem der Linie nach UTM transformiert.

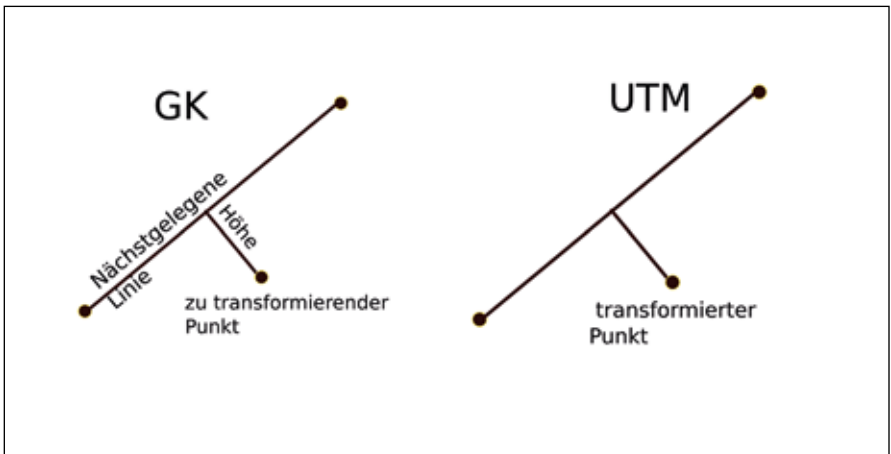


Abbildung 10: Nachbarschaft zur nächsten Linie

Falls für einen nach UTM zu überführenden Punkt weder ein unmittelbarer Punktbezug noch ein Linienbezug hergestellt werden kann, werden in der näheren Umgebung die nächsten Punkte gesucht. Für die anschließende Vortransformation ist eine gute Punktverteilung der Nachbarschaftspunkte essenziell.

Der Punkt wird anschließend über eine interne ebene Transformation, die die gefundenen nächsten Punkte als identische Punkte verwendet, vortransformiert und die ermittelten Restklaffungen punktspezifisch verteilt.

Der Kundentransformationsansatz

Ab dem Umstellungszeitpunkt stehen die Produkte von ALKIS im neuen Bezugssystem ETRS89/UTM zur Verfügung. Gleichzeitig beginnt ein Übergangszeitraum, in dem Produkte des Liegenschaftskatasters in beiden Bezugssystemen angeboten werden. Die nach dem Umstellungszeitpunkt weiterhin im alten, zu dem Zeitpunkt nicht mehr amtlichen Bezugssystem DHDN/GK vertriebenen Produkte des Liegenschaftskatasters werden durch Rücktransformation erzeugt.

Um den Bezug der eigenen Fachdaten der Kunden zu den Geobasisdaten nach der Bezugssystemumstellung erhalten zu können, ist die Transformation der Geofachdaten erforderlich.

Die bei der Überführung von ALKIS eingesetzten Ausgleichungsverfahren definieren lokale, auf jeden Punkt bezogene Transformationsparameter (Punkt-Verschiebevektoren). Eine Ableitung eines globalen Transformationsparametersatzes, z. B. für eine 7-Parameter-Helmerttransformation aus den Punkt-Verschiebevektoren, für einen Kundentransformationsansatz wird in Bayern nicht verfolgt. Es existiert ein genaueres Kunden-Transformationsmodell.

Amtliches Kunden-Transformationsmodell NTv2 BY-KanU

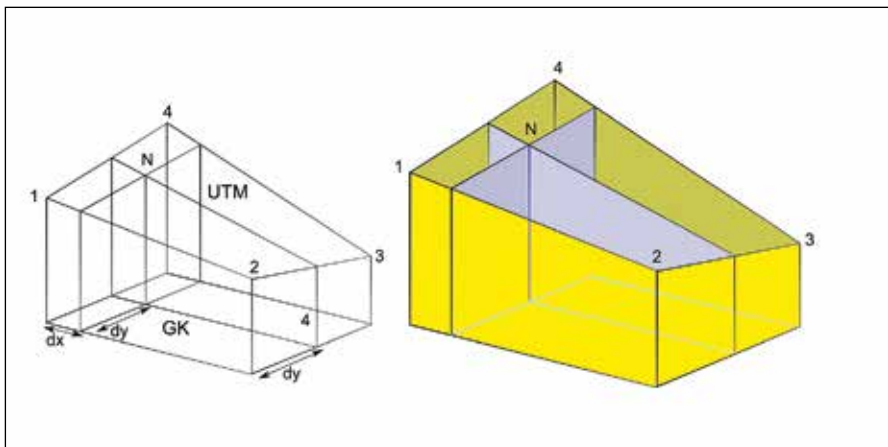


Abbildung 11: NTv2-Gitter, bilineare Interpolation des Neupunkts

Als Transformationsmodell wird das bei der Umformung von Geobasis- und Geofachdaten der Geotopographie bekannte NTV2-Verfahren ebenfalls, allerdings mit einem engmaschigeren Gitter, als Kundentransformations-Verfahren durch KanU angeboten. Geofachdaten mit Katasterbezug können mit Hilfe eines engmaschigen Gitters, in Bayern mit einer Gitterweite von ca. 30 m (1" = eine geographische Bogensekunde) definiert, katastergenau nach UTM überführt werden. Der Kundentransformations-Ansatz wird mit der aus den Ausgleichungsergebnissen abgeleiteten NTV2-Datei, der NTV2-Datei **BY-KanU**, angewendet.

Das NTV2-Verfahren ist ein gitterbasiertes Transformationsverfahren, das sich in den letzten zehn Jahren als Defacto-Standard etabliert hat und bei vielen GIS-Systemen standardmäßig im Leistungsumfang enthalten ist.

Für das landesweite, d. h. bayerische Transformationsgebiet wird ein rechteckiges, regelmäßiges Gitter definiert, das alle Gebiete von Bayern überdeckt. Die dann außerhalb Bayerns zu definierenden Gittergebiet-Grenzen werden als Metadaten in der NTV2-Datei BY-KanU abgespeichert.

Für das regelmäßige Gitter werden für alle Gitterschnittpunkte geographische Shiftwerte gespeichert. Shiftwerte sind konkret für die Transformation von GK nach UTM (und umgekehrt) aufgebaute Differenzen in Bogensekunden in den geographischen Koordinaten der Gitterpunkte zwischen Ausgangs-Koordinatensystem DHDN (Bessel-Ellipsoid) und Ziel-Koordinatensystem ETRS89.

Berechnung einer UTM-Koordinate aus der GK-Ausgangskoordinate mittels NTV2-Ansatz

Bei der Transformation eines Punktes mit gegebenen GK-Koordinaten wird die individuelle Gittermasche des NTV2-Gitters ermittelt. Dazu werden die Punktkoordinaten in geographische Koordinaten umgerechnet, die auf der Referenzfläche des Ausgangsbezugssystem DHDN/GK, dem Bessel-Ellipsoid, bezogen sind. Es fehlt für UTM nur noch ein Übergangswert, der aus geographischen Koordinaten DHDN/Bessel-Ellipsoid geographische Koordinaten des Zielsystems ETRS89/GRS80-Ellipsoid erzeugt. Durch Verwendung der in der NTV2-Datei gespeicherten Gebietsdefinition, die die Gitterweite und den Gültigkeitsbereich der Datei umfasst, wird die individuelle Gittermasche bestimmt. Aus der Verschiebeinformation der vier Gitterpunkte der Gittermasche wird über bilineare Interpolation ein repräsentativer Shiftwert zum Zielsystem interpoliert. Die im Shiftwert enthaltenen geographischen Koordinatendifferenzen werden zu den geographischen Koordinaten des Ausgangssystems addiert, so dass dann interpolierte Koordinaten in ETRS89/GRS80-Ellipsoid bestimmt werden können. Aus diesen können dann UTM-Koordinaten in einer vorgegebenen Zone gerechnet werden.

Zum Aufbau und Berechnung der NTV2-Datei

Als Ausgangspunkte für das beim NTV2-Dateiaufbau verwendete Interpolationsverfahren werden zum einen identische Punkte des Objektbereichs Angaben zum Netzpunkt verwendet.

Zusätzlich werden zum anderen nach UTM32 durch Ausgleichung umgeformte Koordinaten von Flurstücken, Gebäuden, Bauteile und Bauwerke für den NTV2-Dateiaufbau verwendet. Vom Objektbereich Angaben zum Flurstück fließen ca. 80 Millionen überführte Punkte als Ausgangspunkte ("identische" Punkte) ein. Vom Objektbereich Angaben zum Netzpunkt liegen ca. 840.000 GNSS-bestimmte Punkte für den NTV2-Dateiaufbau vor. Jeder Gitterpunkt der NTV2-Datei BY-KanU wird aus den nächsten umliegenden Punkten zum Gitter-Ausgangspunkt berechnet. Die Shiftwerte werden dabei abstandsgewichtet interpoliert.

Wie geht es weiter?

Die offizielle Umstellung nach ETRS89/UTM wird frühestens 2018 vollzogen werden. Der offizielle Beschluss für den Umstellungszeitpunkt wird 2017 erfolgen. Es ist bereits festgelegt, die aller Voraussicht nach 14-tägige Umstellung des Liegenschaftskatasters in einem Wintermonat durchzuführen. Für Fachanwender steht dann noch mindestens das verbleibende Jahr 2017 für die Vorbereitung der Umstellung seiner Fachdaten zur Verfügung. Um jetzt schon die Handhabung der NTV2-Datei BY-KanU ausprobieren zu können, liegen vorläufige NTV2-Dateien zum Download auf der Informationsseite der Bayerischen Vermessungsverwaltung "Einführung von ETRS89/UTM in Bayern" (http://www.ldbv.bayern.de/vermessung/utm_umstellung.html) vor. Fachanwender können – quasi ab sofort – mit Hilfe dieser Gitterdateien, in Eigenregie oder mit ihrem Dienstleister zusammen, ihren Umstieg vorbereiten.

Literatur

[Westhäuser 2012] Westhäuser, S.: Beitrag zur Überführung des Bezugssystems nach ETRS89/UTM. Diplomarbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt; Fakultät Kunststofftechnik und Vermessung. Würzburg. 2012.

[Rose 1988] Rose, A.: Geraden- und Rechtwinkelausgleichung bei der Digitalisierung von Katasterkarten. Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV) 1988/4. DVW Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V. S. 581–587. 1988.

[Benning Scholz 1990] Benning, W., Scholz, T.: Modell und Realisierung der Kartenhomogenisierung mit Hilfe strenger Ausgleichstechniken. Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV) 1990/2. DVW Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V. S. 45–55. Aachen. 1990.

[Hampp 1992] Hampp, D.: Digitalisierung, Homogenisierung und numerische Fortführung – ein schneller Weg zur aktuellen Digitalen Flurkarte. Mitteilungsblatt DVW-Bayern, (3): 239–252. 1. Digitalisierung und Homogenisierung. München. 1992.

[Benning Scholz 2010] Benning W., Scholz T.: Zum Lagebezugswechsel ETRS89/UTM mittels Homogenisierung. Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV) 2010/1. DVW Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V. Aachen. 2010.

[Glock Vetter 2014] Glock, C., Vetter, C.: Strategie zur Einführung des neuen Bezugssystems in Bayern. Vortrag bei „UTM in Bayern, was geht uns das an?“, Geodätisches Kolloquium der Hochschule Würzburg-Schweinfurt (FHWS). Würzburg. 2014.

[Glock 2016] Glock, C.: Projekt KanU – Strategie zur UTM-Umstellung des Liegenschaftskatasters in Bayern. Vortrag bei GIS@Aktuell – Neue Koordinaten für alle – von Gauß-Krüger nach UTM. 27.04.2016, München. 2016. 