

# Zum Lagebezugswechsel ETRS89/UTM mittels Homogenisierung

Wilhelm Benning und Thomas Scholz

## Zusammenfassung

Es wird das Verfahren der Homogenisierung für den Lagebezugswechsel nach ETRS89/UTM vorgeschlagen. Der methodische Ansatz beinhaltet sowohl die Berücksichtigung geometrischer Bedingungen als auch Nachbarschaftstreue in benachbarten Punkten. Dies wird an Beispielen verifiziert. Schlussendlich wird dargestellt, dass auch große Verfahren des Lagebezugswechsels, z. B. ganze Kreisgebiete, in simultaner Ausgleichung performant berechnet werden können.

## Summary

*As to change the position reference of co-ordinates into the ETRS89/UTM-system the method of homogenization is proposed. This method includes the consideration of geometric constraints as well as the construction of relative accuracy in neighbouring points. This will be verified by examples. Finally it will be shown, that even large data sets, for example regions of cadastral districts, can be adjusted simultaneously and in acceptable computer performance.*

## 1 Einleitung

Die Vermessungsverwaltungen der Länder sind im Begriff, flächendeckend auf das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS 89) mit der Universalen Transversalen Mercatorabbildung umzustellen, um ein einheitliches Koordinaten-Bezugssystem für europäische Geodaten vorzuhalten. Auf die Unterschiede in den Koordinatensystemen (Gauß-Krüge/ETRS 89) sowie der Lagerung in den Bezugsellipsoiden (Bessel bzw. Krassowski gegen GRS 80) muss hier nicht eingegangen werden, da diese in der verfügbaren Literatur hinlänglich beschrieben sind.

Hier soll dagegen ein operativer Aspekt behandelt werden, der sich mit der verfahrenstechnischen Lösung der Umstellungsarbeiten befasst. Da diese Umstellung in der Regel flächendeckend für große Gebiete, z. B. ganze Kommunen oder Kreise, simultan in einem einzigen Verfahrensschritt durchgeführt werden soll, entsteht das Problem der konsistenten Verarbeitung großer Datenmengen. Dieses wird in der Praxis u. U. dadurch gelöst, dass die

umzustellenden Koordinaten mittels Mehrparametertransformation über bekannte Stützpunkte umgeformt werden. Die hierbei aus den Stützpunkten berechneten Restklaffen werden alsdann über bekannte Restklaffenverteilungsverfahren auf die zu transformierenden Masspunkte verteilt.

In dieser Arbeit wird das Verfahren der Homogenisierung als Berechnungsmethode vorgestellt. Dabei wird hervorgehoben, dass diese Methode den Vorzug einer konsistenten, widerspruchsfreien Koordinatenberechnung beinhaltet, weil das Ergebnis in strenger Ausgleichung im Gauss-Markoff-Modell berechnet wird. Insbesondere wird verdeutlicht, dass die geodätischen Forderungen der

- Nachbarschaftstreue in benachbarten Punkten und
  - der Einhaltung von geometrischen Bedingungen wie Geradlinigkeit, Rechtwinkligkeit, vorgegebene Abstände zwischen Punkten oder Parallelitäten etc.
- mit diesem Modellansatz erfüllt werden.

## 2 Methodischer Ansatz

Die Homogenisierung wird als Parameterschätzung im Gauß-Markoff-Modell (Benning 2007, S. 138 ff.) formuliert. Das funktional-stochastische Modell ist in Benning (1995), Hettwer und Benning (2000) und Hettwer (2003) beschrieben. Hier kann auf eine ausführliche Darstellung verzichtet werden. Die Unbekannten Parameter  $\beta$  sind einerseits die Zielsystem-Koordinaten der Neupunkte und andererseits die Transformationsparameter einer oder mehrerer z. B. 5-Parameter Transformationen der Startsysteme in das Zielsystem. Die Beobachtungen des Gauß-Markoff-Modells der Homogenisierung sind zunächst

- die Koordinaten der zu transformierenden Punkte in den einzelnen Startsystemen (Lagestati). Es können dabei beliebige unterschiedliche Lagestati simultan in einer Auswertung verarbeitet werden,
- dann die Beobachtungen zum Zwecke der Realisierung geometrischer Bedingungen (Hettwer 2003, S. 45) und schließlich
- die fingierten Beobachtungen zwischen benachbarten Punkten, die sich aus der Delaunay-Triangulation ergeben, und die eine nachbarschaftstreue Transformation der Punkte gewährleisten. Der im Programmsystem KATHOM, entwickelt am Geodätischen Institut der RWTH Aachen, zugrundeliegende hybride Ansatz ist in (Benning 1995) und (Hettwer 2003, S. 55) dargestellt.

Eine ausführliche Beschreibung der angewandten Techniken, um Massendaten (Beobachtungen wie Unbekannte) mittels Ausgleichungsrechnung rechnerisch und performant auswerten zu können, findet sich in (Kampshoff und Benning 2005). Dort werden die im Programmsystem KATHOM benutzten Sparse-Matrix-Techniken zur

Lösung und Inversion sehr großer Normalgleichungen vorgestellt. Es werden auch Rechenzeiten angegeben für z. B. Testdatensätze mit bis zu 1,2 Millionen Unbekannten sowie für Auswertungen mit unterschiedlichen Sortier- und Speichertechniken in den Normalgleichungen.

## 3 Zum Verfahrensablauf

Zeitlich fällt die ETRS89-Umstellung bei vielen Vermessungsverwaltungen, zumindest in Nordrhein-Westfalen, mit dem Umstieg auf das ALKIS-Datenmodell zusammen. Es stellt sich daher die Frage, ob die beiden Datenumstellungen quasi in einem Schritt oder getrennt durchgeführt werden sollen. Für beide Vorgehensweisen gibt es begründende Argumente.

Entscheidend für die Verfahrenswahl ist die Beantwortung folgender Fragen:

- Möchte man den Anwendern des Katasters innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne zwei Umstiege zumuten? Meist hängen weitere Fachdatenbestände direkt oder indirekt an den katasterrelevanten Geobasisdaten. Dies können auf Katasterdaten georeferenzierte Datenbestände z. B. der Leitungsbetreiber sein oder auch tabellegeführte Listen mit Koordinatenattributen, über die Fachdaten aufgesucht und zugeordnet werden.
- Bestehen äußere Zwänge zur frühzeitigen Umstellung auf das ALKIS-Datenmodell? Ist dies nicht der Fall, kann der ALKIS-Umstieg soweit geschoben werden, bis die Daten ausreichend vormigriert sind und für alle Beteiligten ausreichend erprobte ALKIS-Softwarelösungen zur Verfügung stehen.
- Stehen gesicherte Methoden bereit, um den Koordinaten- und Formatwechsel zu prüfen? Da hier Massendaten zu verarbeiten sind, kommt eine händische Prüfung nicht in Frage, sodass automatische Prüfverfahren die korrekte Datenübernahme belegen müssen. Mit den Bilanzierungsdateien E1 bis E3 stellt beispielsweise das ALKIS-Datenmodell die korrekte Übernahme der wichtigsten Objektklassen (Flurstück, Gebäude, Buchungsblätter, Punktobjekte usw.) in die neue ALKIS-Datenbank sicher.

In Nordrhein-Westfalen haben sich die meisten Kommunen zu einem gleichzeitigen Umstieg in zwei Schritten entschlossen bzw. planen diesen. Das heißt, bei der Umstellung auf die ALKIS-Datenhaltung werden die Geometrien in das ETRS89/UTM-Referenzsystem transformiert. Von der Transformation sind alle geometriebezogenen Objekte betroffen. In erster Linie sind das die Punkte, die bislang in der ALK-Punktdatei gespeichert werden, in zweiter Linie aber auch alle Punkt-, Linien- und Flächengeometrien, die in den Grundrissdaten geführt werden. Beide Datenbestände sind letztlich homogen ineinander zu überführen. Dazu ist ein Abgleich

zwischen Punktdaten und Grundrissdaten vorzunehmen, ein wesentlicher Arbeitsschritt der ALKIS-Vormigration. Theoretisch kann der Abgleich aber auch im Verfahren der Homogenisierung während der ALKIS-Umstellung erfolgen.

Wird die ETRS89-Transformation von Punkt- und Grundrissdaten in zwei Verfahrensschritte aufgeteilt, sind die Punkt- und Grundrissdaten mit dem identischen Transformationsansatz zu überführen. Insbesondere sollten die identischen Stützpunkte verwendet werden, damit in allen Stützpunkten die Nachbarschaftstreue gewahrt bleibt. Die Gebietsgrenzen nehmen eine Sonderrolle ein, weil an ihnen die Daten der Nachbarbezirke anschließen und ein bezirksübergreifender Kartenauszug weder Liniensprünge noch Flächenklaffen aufweisen soll. Daher werden die Gebietsgrenzen zwischen den katasterführenden Stellen im Vorfeld abgestimmt und in der Transformation angehalten. Die Gebietsgrenzen bilden folglich ein starres Netz von Maschen, innerhalb derer jede katasterführende Stelle »ihre« ETRS89-Transformation durchführt. Dabei verwenden die benachbarten Ämter ihren eigenen Parametersatz mit lokalen Stützpunkten, welcher eine beste Anpassung an die örtlichen Verhältnisse bedeutet.

Damit bilden alle Punkte mit ETRS89-Lageaggregaten in der Punktdaten das Stützpunktnetz für die Transformation. Meist handelt es sich um Aufnahmepunkte des Liniennetzes. Hinzu kommen die bereits in ETRS89 koordinierten Grenz- und Gebäudepunkte aus präzisen Aufmessungen und die oben erwähnten Punkte auf der Gebietsgrenze. Da diese Punkte bereits in der Punktdaten geführt werden, wird für sie während der ALKIS-Migration ein Punktobjekt (z.B. AX\_Aufnahmepunkt oder AX\_Grenzpunkt) mit den zugehörigen Punktorten (AX\_PunktortAU, AX\_PunktortAG oder AX\_PunktortTA) gebildet. Weil für jeden Lagestatus ein Punktort pro Punktobjekt erzeugt wird, ergeben sich die Restklaffen an den Stützpunkten aus der Differenz der Koordinatenwerte der Punktorte, abzüglich der systematischen Shiftwerte zwischen den Bezugssystemen. Das Ziel der Homogenisierung ist es, für alle sogenannten Neupunkte ETRS89-Koordinaten zu ermitteln. Für die Punktobjekte geschieht dies in einem weiteren Punktort-Objekt mit dem Koordinatenreferenzsystem ETRS89/UTM. Für alle anderen Grundrissgeometrien erfolgt der ETRS89-Übergang durch Austausch der Koordinaten. Um ALKIS-Datenbestände im neuen ETRS89-Bezugssystem zu führen, wird in der Regel beim Übergang auf ALKIS eine neue Datenbank angelegt, die auf das neue Referenzsystem initialisiert ist. Moderne GIS beherrschen zwar die online-Umrechnung zwischen den Koordinatensystemen, verwenden aber hierfür einen fest eingestellten Transformationsparametersatz, der vom Parametersatz der lokalen ETRS89-Transformation abweicht. Die Transformation von der internen Speicherung ins Anzeigesystem kann vermieden werden, wenn

die ALKIS-Daten direkt in einer ETRS89-Datenbank gespeichert werden.

Neben den Koordinaten sind beim ETRS89-Übergang weitere Attribute zu belegen. So besitzt jeder Punktort im ALKIS-Datenmodell ein boolesches Attribut »Kartendarstellung«<sup>1</sup>, das angibt, ob die Koordinate zur Darstellung in der Liegenschaftskarte aktuell verwendet wird. Bei einem Bezugswechsel sind diese Attribute auszutauschen, d.h. die Punktorte des Gauß-Krüger-Systems wechseln von »ja« (bzw. true) auf »nein« (bzw. false), während im Gegenzug die Punktorte des ETRS89-Koordinatenferenzsystems den Attributwert »Kartendarstellung« gleich »ja« (bzw. true) erhalten. Es spielt keine Rolle, ob die ETRS89-Punktorte für die zu verschiebenden Punktobjekte (Neupunkte der Homogenisierung) vor oder während der Homogenisierung angelegt werden.

Wegen der ALKIS-Konstrukte aus Punktobjekt und seinen Punktorten ist die in der Homogenisierung übliche Sollpunktzurückführung zur Identifikation der Punktidentitäten besonders einfach und sicher, weil nicht geometrisch gesucht werden muss, sondern lediglich eine Attributauswertung in den angelegten Punktorten erfolgt.

Geometrische Bedingungen werden im System KATHOM als zusätzliche Beobachtungen mit vergleichsweise hohem Gewicht in die Ausgleichung eingeführt, vgl. Kap. 2. Das automatisierte Erschnüffeln der Geradlinigkeiten an Grenzen und Gebäuden sowie die Detektion von Rechtwinkligkeiten in Gebäuden gehört standardmäßig zum Homogenisierungsverfahren. Andere Bedingungstypen wie Abstände und Parallelitäten können eingeführt werden, sind aber bei der Transformation großer Gebiete mit vergleichsweise geringen Inhomogenitäten in der Regel nicht erforderlich.

Im entscheidenden Schritt werden die Neupunkte nachbarschaftstreue in das Stützpunktfeld eingepasst. Dazu befüllt KATHOM ein Normalgleichungssystem, das außerhalb der GIS-Software gelöst wird. Die Homogenisierungsergebnisse fließen anschließend zurück in das GIS und werden dort visualisiert. Eine GIS-Software ermöglicht die kombinierte und farbige Darstellung aus Karteninhalt, Vektoren und numerischen Zahlenwerten. Kritische Stellen lassen sich mittels Vergrößerungen explizit analysieren. Besonders hilfreich für die Interpretation des Ergebnisses sind die Verbesserungsvektoren, die den zufälligen Verbesserungsbetrag, nach Abzug aller

1 Auszug aus der GeoInfoDok: »Kartendarstellung« ist ein Hinweis darauf, dass der »Punktort« zur Darstellung in einer Karte führt.

Hinweis: Die Objektarten »Grenzpunkt«, »Besonderer Gebäudepunkt«, »Besonderer topographischer Punkt«, »Besonderer Bauwerkspunkt«, »Aufnahmepunkt«, »Sicherungspunkt« und »Sonstiger Vermessungspunkt« weisen jeweils immer nur einen »Punktort« mit der Attributart »Kartendarstellung« mit der Wertart TRUE auf.

Die Wertart TRUE kommt immer vor beim »PunktortTA«-Objekt zu einem »Grenzpunkt«.

systematischen Transformationsanteile, enthalten. Diese müssen sich in der Nähe von Stützpunkten in Richtung und Betrag ähneln. Größere Abweichungen von dieser Regel sind nur dort zulässig, wo geometrische Bedingungen berücksichtigt wurden. Die Beibehaltung der Geradlinigkeiten und der Rechtwinkelbedingungen ist das Ziel einer ETRS89-Transformation mittels Homogenisierung und entscheidend für die Qualität des geometrischen Ergebnisses.

Während der Ergebnisübernahme werden die notwendigen Attribute bei den Punktorten befüllt bzw. geändert. Zu diesen Attributen zählen die bereits erwähnte »Kartendarstellung«, die Qualitätsangaben und der Entstehungsanlass bei den veränderten ALKIS-Objekten. Für Homogenisierungen sieht das ALKIS-Datenmodell den Entstehungsanlass »Veränderung der Geometrie aufgrund der Homogenisierung« vor. Er kann aber bei gleichzeitig stattfindender Migration auch den Wert »Ersteinrichtung« annehmen.

#### 4 Zur Performance der Homogenisierung

Anders als fortlaufende Homogenisierungen im Zuge von Fortführungsvermessungen ist die ETRS89-Umstellung ein einmaliger Vorgang, der den gesamten Datenbestand

Tab. 1: Kennzahlen zum Homogenisierungsverfahren

Kennzahlen zum Verfahren		
Verfahrensgröße		
Anzahl der Flurstücke	66.000	
Anzahl der Gebäude	75.000	
Anzahl der Nutzungen	71.000	
Homogenisierungsparameter		
Anzahl der Stützpunkte/Sollpunkte	108.000	
Anzahl der Bedingungen	167.000	
Anzahl der Neupunkte	1.470.000	
Laufzeiten	[hh:mm]	[%]
Einlesen der Stützpunkte	00:25	0,4
KATHOM-Punkte bilden, inkl. Sollpunktuordnung	10:27	9,6
Bedingungs-generierung	03:55	3,6
Datenübernahme vom GIS an den Ausgleichsalgorithmus	03:00	2,8
Ausgleich plus Inversion	00:20	0,3
Datenrückgabe vom Ausgleichsalgorithmus an das GIS	02:30	2,3
Übernahme der Ergebnisse in die GIS-Fachdatenbank	88:00	81,0
Gesamtlaufzeit	108:37	100,0

betrifft. Während der Umstellung kommt es zu Produktionsausfällen. Es ist daher wichtig, dass die Homogenisierung performant für große Datenmengen durchgeführt wird. Im Idealfall sollten Verwaltungseinheiten in der Größe von Kreisgebieten in einem Zug homogenisiert werden, da jede weitere Unterteilung künstliche Modellgrenzen mit starren Koordinaten beinhaltet. Dies bedeutet nicht nur eine Störung des theoretischen Ansatzes, alle relevanten Beobachtungen simultan zu verarbeiten, sondern ist vor allem mit zusätzlichem Arbeitsaufwand verbunden.

Mit KATHOM wurden in Verbindung mit der »core spatial technology« von Smallworld bereits kreisgebietsweise Lagebezugswechsel durchgeführt. Dabei konnte z. B. der komplette Katasterdatenbestand, bestehend aus Punkt- und Grundrissdatei, einer kreisfreien Stadt in Nordrhein-Westfalen in einem Homogenisierungslauf umgestellt werden. Es zeigte sich, dass der Großteil der Gesamtlaufzeit für die Datenübernahme von und zurück in das Datenhaltungssystem benötigt wird. Tab. 1 listet ein paar exemplarische Kenngrößen einer solchen Transformationshomogenisierung auf, wobei die Berechnung auf einem handelsüblichen PC (4.8 GHz Prozessorleistung und 2 Gbyte Hauptspeicher) ausgeführt wurde.

#### 5 Die Bedeutung von geometrischen Bedingungen, Datenbeispiele

Wie wichtig die Berücksichtigung der geometrischen Bedingungen auch bei einem Lagebezugswechsel ist, soll im Folgenden an zwei Beispielen demonstriert werden.

Das erste Beispiel zeigt ALK-Daten im Bereich einer Reihenhausbebauung. Zur Verdeutlichung des Effekts wurden drei gut verteilte Stützpunkte am Verfahrenrand mit überhöhten Restklaffen versehen.

In der Abb. 1 sind die Stützpunkte mit einem großen roten Kreis markiert. Der kleinere rote Kreis markiert die Stützpunktposition im Zielsystem, d. h. die beiden Stützpunkte an der Straße erhalten ihre neue Position weiter rechts bzw. rechts oben, während der untere Stützpunkt nach links wandert. Diese hier fingierte Inhomogenität hat auf die in der Ausgangslage rechtwinklige Reihenhausbebauung eine deutlich negative Auswirkung.

Unterbleibt die Bedingungserschnüffelung, werden die Gebäude sichtbar aus ihrer Rechtwinkeligkeit geschoben, wie Abb. 2 zeigt.

Die grünen Linien zeigen die nach der Homogenisierung ermittelten Geometrielagen. Diese Vorschaugeometrie wird dem Anwender im Smallworld GIS angezeigt, noch bevor die Ergebnisse in die Fachdatenbank übernommen werden. Damit lässt sich das Homogenisierungsergebnis einfacher interpretieren gegenüber einer reinen Koordinaten- und Vektorliste. Grobe Datenfehler werden automatisiert in der Reihenfolge ihrer Wahrscheinlichkeit am Bildschirm angezeigt. Nach Datenbereinigung durch

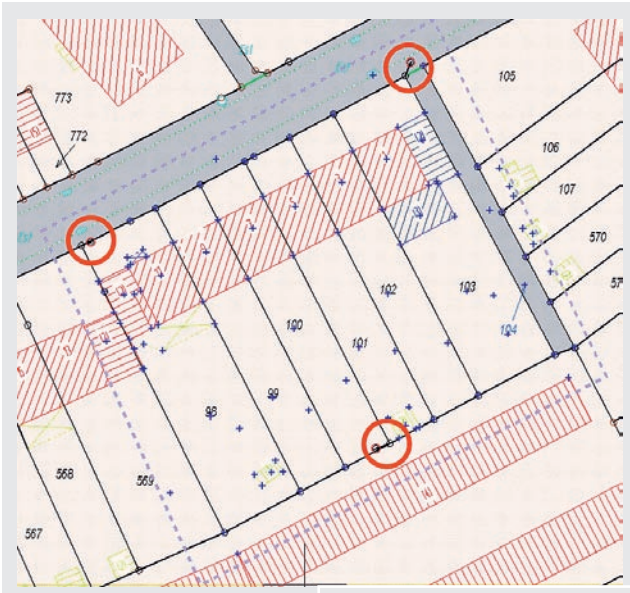


Abb. 1: Stützpunktverteilung im Datenbeispiel 1

- Stützpunkt
- + Neupunkt
- ..... Homogenisierungsgebiet

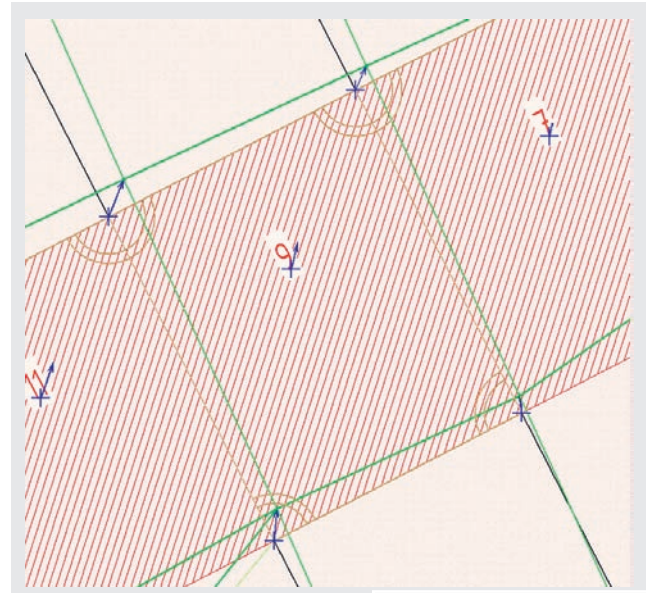


Abb. 3: Homogenisierungsergebnis mit geometrischen Bedingungen

- + Neupunkt
- ↗ Rechter Winkel
- ↔ Verschiebung
- Vorschaugeometrie

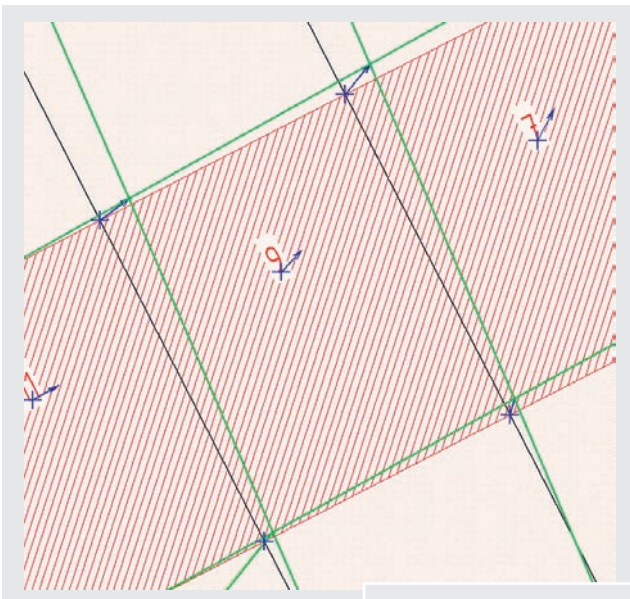


Abb. 2: Verlust der Rechtwinkligkeit

- + Neupunkt
- ↔ Verschiebung
- Vorschaugeometrie



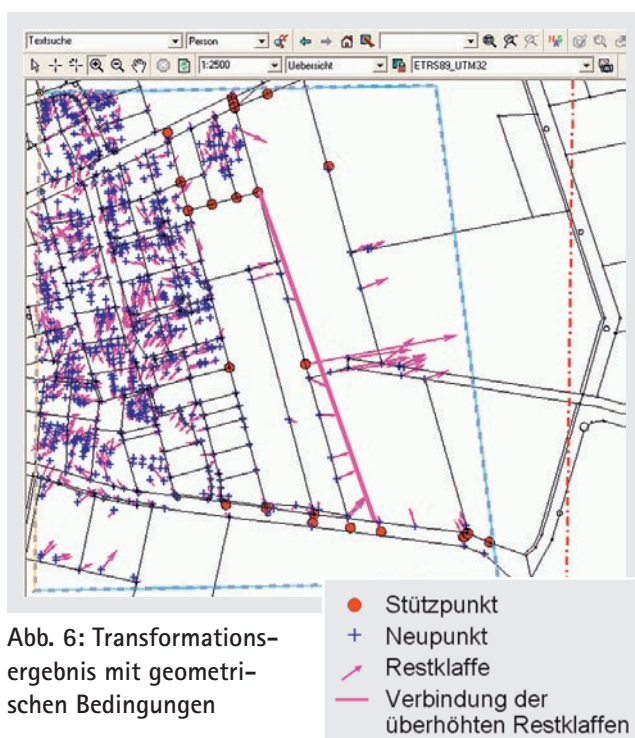
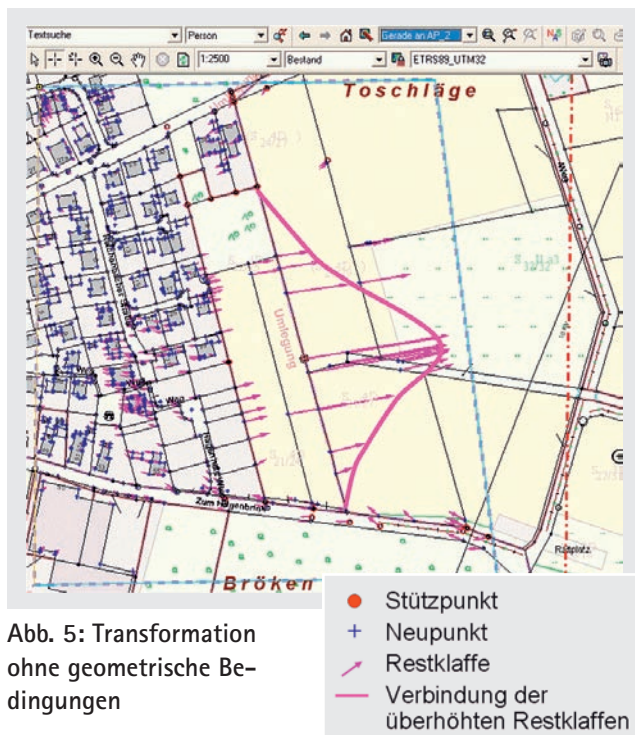
Abb. 4: Stützpunktverteilung im Datenbeispiel 2

- Stützpunkt
- + Neupunkt
- ..... Homogenisierungsgebiet

den Anwender kann die Ausgleichung mit veränderten Ausgangsdaten sofort wiederholt werden.

Werden im obigen Beispiel die Rechtwinkelbedingungen des Gebäudes einbezogen, gehen die Gebäude aus der Transformation auch wieder rechtwinklig hervor, wobei die relative Nachbarschaftsgenauigkeit erhalten bleibt, d.h. das Vektorbild der Restklaffen bzw. Verbesserungen ergibt ein homogenes geometrisches Ergebnis (s. Abb. 3).

Das zweite Datenbeispiel ist einer ALKIS-Anwendung entnommen. Es zeigt den großen Einfluss eines Stützpunktes nahe einer Linie, auf der sich mehrere Neupunkte befinden, die gemeinsam eine Gerade bilden. Der Stützpunkt im Zentrum der Abbildung liegt nicht auf, sondern um einige Dezimeter neben der Grenzlinie. Wegen des weiteren Stützpunktes am nördlichen Linienende ist die Gerade dort quasi gelagert. Im mittigen Stützpunkt liegt eine stärkere Restklaffe senkrecht zum Grenzverlauf, also in Ost-West-Richtung vor.



Wird dieses Gebiet ohne Berücksichtigung von Geradlinigkeiten transformiert, erhält man das Ergebnis der Abb. 5.

Die magentafarbene Linie verbindet die Endpunkte der überhöhten Verbesserungsvektoren für die Neupunkte der Grenzlinie. Die Geradlinigkeit ist zerstört. Die Restklaffenverteilung führt zu unbrauchbaren Ergebnissen. Mit der Einführung von geometrischen Bedingungen, hier speziell von Geradenbedingungen, erhält man ein sachgerechtes, nachbarschaftstrees und vor allem praktikables Ergebnis (s. Abb. 6).

## 6 Schlussbetrachtungen

Das Verfahren der Homogenisierung als Basistechnologie für den Lagebezugswechsel nach ETRS89/UTM wurde vorgestellt. Darüber hinaus wurden Aspekte und Argumente vorgetragen zum gleichzeitigen bzw. zeitnah aufeinanderfolgenden Umstieg in das ALKIS-Datenmodell. Festzustellen ist, dass die Homogenisierung mit dem am Geodätischen Institut der RWTH Aachen entwickelten System KATHOM einen geringfügigen Anteil an der Gesamtlaufzeit beim Lagebezugswechsel einer gesamten Kommune/Kreis in Anspruch nimmt. Die Datenbeispiele verdeutlichen, dass die Berücksichtigung geometrischer Bedingungen bei simultaner Ausgleichung aller verfügbaren Beobachtungen und Startsysteme einen bedeutenden Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse hat, nämlich insbesondere nachbarschaftstree Koordinaten liefert.

### Literatur

- Benning, W.: Nachbarschaftstree Restklaffenverteilung für Koordinatentransformationen. Zeitschrift für Vermessungswesen, 120, 16–25, 1995.
- Benning, W.: Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen. Monographie, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann-Verlag 2007.
- Hettwer, J.: Numerische Methoden zur Homogenisierung großer Geodatenbestände. Veröffentlichungen des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Heft Nummer 60, Geodätisches Institut der RWTH Aachen, 2003.
- Hettwer, J.; Benning, W.: Nachbarschaftstree Koordinatenberechnung in der Kartenhomogenisierung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 107, 194–197, 2000.
- Kampshoff, S.; Benning, W.: Homogenisierung von Massendaten im Kontext von Geodaten-Infrastrukturen. zfv 130, 133–145, 2005.

### Anschrift der Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Benning | Dr.-Ing. Thomas Scholz  
 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen  
 Geodätisches Institut  
 Templergraben 55, 52062 Aachen  
 Tel.: +49 241 80-95304 | Fax: +49 241 80-92142  
 benning@gia.rwth-aachen.de | scholz@gia.rwth-aachen.de