Universität Karlsruhe, Geodätisches Institut; Universität Stuttgart, Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen; Graphservice-IT GmbH

DIE AUSWIRKUNGEN DER EINFÜHRUNG VON ETRS89/UTM AUF GEOFACHDATEN – FALLBEISPIEL EINES EVU AUS DEM BUNDESLAND HESSEN

Norbert Rösch, Jürgen Schweitzer, Jürgen Pach

Zusammenfassung: Am Beispiel des Datensatzes eines Energieversorgungsunternehmens werden Wege aufgezeigt, wie die Besitzer von Geofachdaten auf den bundesweit geplanten Wechsel vom Potsdam Datum auf das ETRS89 reagieren können. Dabei werden die besonderen Verhältnisse des Bundeslandes Hessen berücksichtigt. Der hessische Lösungsansatz erfordert u. a. die Verteilung von Residuen, die nachbarschaftstreu auf die transformierten Punkte zu übertragen sind. Der Aufsatz diskutiert im Wesentlichen zwei Verfahren: Die Methode Inverse Distance Weighted und die Natural-Neighbor-Interpolation. Dabei werden die Residuen als Attribute betrachtet und der Verschiebungsvektor in seine Komponenten zerlegt. Unter den im Artikel beschriebenen Randbedingungen hat sich das zweite der beiden genannten Verfahren als das Vorteilhaftere erwiesen. Da sich die Vergehensweise beim Wechsel des geodätischen Datums zwischen den verschiedenen Landesvermessungsämtern unterscheidet, können die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere Bundesländer übertragen werden.

Schlüsselwörter: Räumliche Interpolationsverfahren, Inverse Distance Weighted, Natural-Neighbor-Interpolation, Geodätisches Datum, ETRS89, Geofachdaten

// THE IMPACT OF THE INTRODUCTION OF ETRS89/UTM ON SPECIALIST SPATIAL THEMATIC DATA – A CASE STUDY

// Abstract: In Germany the surveying authorities of the federal states are in charge of the national survey. Thus they just mentioned authorities are also responsible for the change of the geodetic datum which is to be performed within the next years for all federal states. Actually the change of the datum has an impact on all users dealing with spatial data (e. g. utility companies). Since there is no common approach concerning the change of datum among the federal states most of them decided on unique solutions. The federal state of Hesse favours an approach which leads to residuals in the reference points. As a consequence all data referring to these points have to be post processed with respect to the vicinity after the transformation. In this paper two post processing techniques are tested: Inverse Distance Weighting and Natural Neighbor Interpolation. In both cases the residuals are treated as vectors split in the components along the x- and y-axis respectively. Regarding the preconditions the latter offered the best results.

Keywords: Spatial interpolation procedures, inverse distance weighting, natural neighbour interpolation, geodetic datum, ETRS89, specialist spatial data

Anschrift der Autoren

Dr.-Ing. Norbert Rösch
Universität Karlsruhe
Geodätisches Institut
Englerstr. 7
D-76128 Karlsruhe
E: Norbert.Roesch@kit.edu

Dipl.-Ing. Jürgen Schweitzer
Universität Stuttgart / Institut für Anwendungen
der Geodäsie im Bauwesen
Geschwister-Scholl-Str. 24d
D-70174 Stuttgart
E: juergen.schweitzer@iagb.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Jürgen Pach
Graphservice-IT GmbH
Rastatter Straße 25
D-76199 Karlsruhe
E: pach@graphservice.de

1. EINLEITUNG

Die bundesweite Einführung des Referenzsystems ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989) in Verbindung mit UTM (Universal Transverse Mercator Grid System) als dem zugehörigen Koordinatensystem wurde bereits in den Jahren 1991 bzw. 1995 von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) beschlossen. Mit der Einführung des AFIS-, ALKIS-, ATKIS- (AAA) Modells soll jetzt gleichzeitig auch auf das neue Lagebezugssystem übergegangen werden. Für das Bundesland Hessen soll diese Umstellung 2009 erfolgen.

Da sich die überwiegende Anzahl der digitalen Datenbestände von Energieversorgungsunternehmen (EVU) direkt oder indirekt auf die Geobasisdaten der Vermessungsverwaltung beziehen, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die vorhandenen Daten entsprechend anzupassen. Die Untersuchung der Konsequenzen, die sich durch die Einführung des ETRS89 ergeben, sind Gegenstand dieses Beitrags. Entsprechende Messungen, die den Wechsel des geodätischen Datums vorbereiteten, wurden in der Vergangenheit bereits durchgeführt. Dies geschah zunächst deutschlandweit durch die Einführung des DREF (Deutsches Referenzsystem), das in einem weiteren Schritt in den einzelnen Bundesländern verdichtet wurde (z. B. HREF, BWREF usw.). Durch diese Messungen, aus denen entsprechend vermarkte Punkte hervorgegangen sind, wurde der zukünftige Referenzrahmen materialisiert (siehe auch Ihde, Lindstrot 1995).

Zwischen dem neuen System und den derzeitigen Gebrauchskoordinaten (geführt im so genannten Potsdam-Datum in Verbindung mit der Gauß-Krüger Abbildung, kurz PD/GK) besteht kein strenger funktionaler Zusammenhang, da sich die Messungen auf unterschiedliche Kampagnen mit unterschiedlichen Bedingungen stützen. Man kann daher bestenfalls von einem stochastischen Zusammenhang zwischen den beiden Systemen sprechen. Ferner kommt hinzu, dass in Hessen drei Realisierungen des PD/GK unterschieden und durch einen so genannten Lagestatus (LST) identifiziert werden. Es wird differenziert zwischen: LST 120, LST 110 und LST 100.

Punkte mit dem LST 120 stammen noch aus der preußischen Landesaufnahme. Der LST 110 bezeichnet demgegenüber Punkte, die aus einer Netzerneuerung stammen. Punkte mit diesem LST sind gebietsweise spannungsfrei. Die letzte Gruppe, also Punkte mit dem LST 100, gilt als landesweit spannungsfrei. Damit die Punkte gemeinsam transformiert werden können, müssen sie zunächst alle in den Lagestatus 100 überführt werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als Homogenisierung.

2. DIE HOMOGENISIERUNG

In diesem Abschnitt soll eine kurze Zusammenfassung dieses Vorgangs gegeben werden. Es werden dabei nur diejenigen Aspekte behandelt, die für das Thema direkt von Belang sind. D.h., es werden vor allem die Konsequenzen für die (Leitungs-)Netze der Energieversorger im Vordergrund stehen, wie weiter oben bereits betont wurde. Zur Vorbereitung einer landesweit einheitlichen Transformation aller Punkte für das Gebiet des Bundeslandes Hessen wurde dabei die folgende Vorgehensweise gewählt. Zunächst wurden aus Punkten des HREF und des Deutschen Hauptdreiecksnetzes (DHDN) – also der Materialisierung des aktuellen geodätischen Datums – Transformationsparameter für eine räumliche Ähnlichkeitstransformation abgeleitet. Es waren folglich sieben Parameter zu schätzen: 3 Translationen bzw. Verschiebungen, 3 Rotationen, jeweils um die x, y und z-Achse sowie ein gemeinsamer Maßstab.

Durch die Transformation entstanden in den identischen Punkten Klaffungen, da, wie bereits erwähnt, zwischen den Systemen kein strenger funktionaler Zusammenhang besteht. Diese Klaffungen betrugen bis zu 30 cm. Dieser Wert stellt allerdings das Maximum dar. In acht der elf untersuchten Teilgebieten lag die durchschnittliche Verschiebung zwischen zehn und zwanzig Zentimetern. In den übrigen drei waren die Residuen deutlich geringer (1,9 – 6,1 cm). Man kann die Klaffungen auch als Verschiebungsvektoren interpretieren, die man im Zweidimensionalen in eine x- und eine y-Komponente zerlegen kann.

Die auf diese Weise ermittelten Verschiebungen in die beiden Koordinatenrichtungen wurden dann dazu verwendet die Punkte mit dem LST 110 und LST 120, entsprechend ihrer Entfernung zu den benachbarten Punkten mit dem LST 100, zu verändern. Es wurde dabei davon ausgegangen, dass sich der Einfluss benachbarter Punkte umgekehrt proportional zur Entfernung verhält. Nahegelegene Punkte mit dem LST 100 hatten damit einen größeren Einfluss auf die Verschiebung als entfernt liegende Punkte. Diesen Vorgang kann man als Interpolation auffassen, wobei der zu interpolierende Wert die Verschiebung

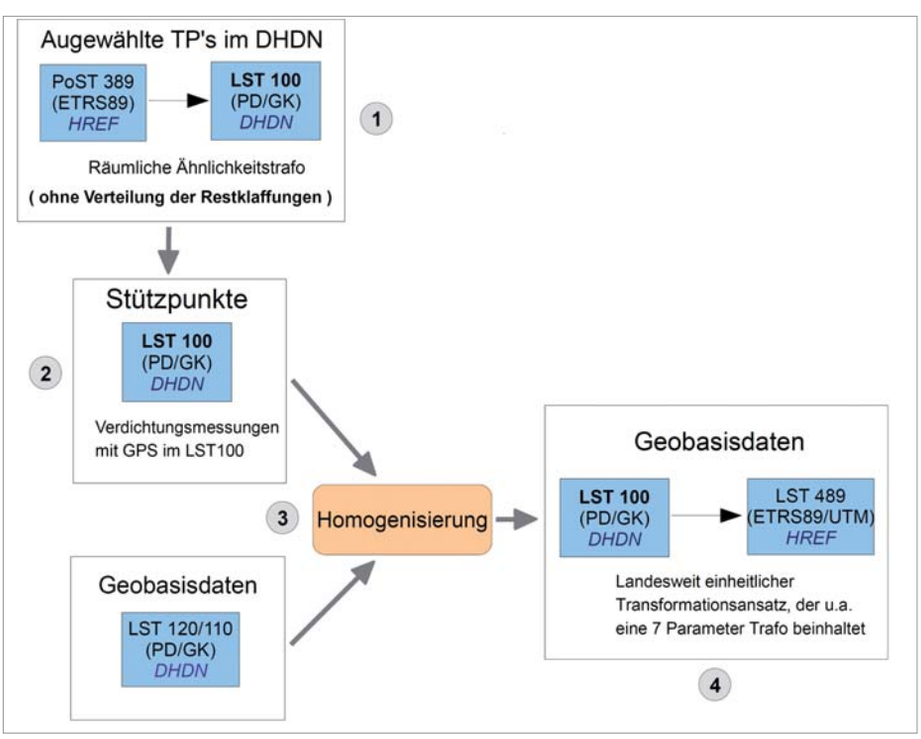

Abbildung 1: Die Erzeugung des LST 100

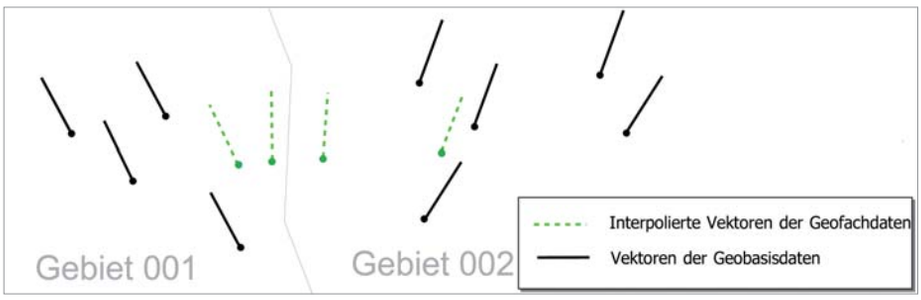

Abbildung 2: Die Verschiebungsvektoren

darstellt, dessen Wert von der Entfernung zu benachbarten Punkten abhängt.

Diese Vorgehensweise wurde gebietsweise angewendet. D.h., es wurden nicht alle Punkte von ganz Hessen in einem Guss prozessiert. Vielmehr wurden Teilgebiete – fortan Masche genannt – unterschiedlicher Größe gebildet (siehe dazu auch Abb. 2), auf die das beschriebene Verfahren angewendet wurde. Dies hatte zur Folge, dass an den Gebietsgrenzen die Verschiebungsvektoren ihre Richtung durchaus signifikant änderten.

Würde man auf die Homogenisierung verzichten, dann hätte das eine Änderung der Abstände von direkt benachbarten Punkten zur Folge. Im ungünstigsten Fall könnte sich die Strecke nach der Transformation – also dem Wechsel des Datums – um den Betrag der Länge des Verschiebungsvektors des nächstliegenden Punktes ändern.

Mit dieser sehr knappen Zusammenfassung ist das Verfahren der Homogenisierung natürlich nicht erschöpfend dargestellt. Leser, die mehr über dieses Thema erfahren wollen, seien beispielsweise an Heckmann (2005), Kern (2005) und Strauß (1998) verwiesen. Abschießend bleibt noch nachzutragen, dass die Lagegenauigkeit der Koordinaten durch dieses Verfahren nicht beeinflusst wird.

3. DIE VER- UND ENTSORGUNGSNETZE

Bevor in diesem Abschnitt auf die Details eingegangen wird, soll zunächst der Begriff Netz näher definiert werden. Netz, im Sinne dieser Publikation, wird als Oberbegriff für sämtliche Betriebsmittel einer bestimmten Sparte (z. B. Gas, Wasser, Strom …) verwendet. Er umfasst damit Objekte wie beispielsweise Muffen, Kabel ebenso wie Kanaldeckel, Lichtwellenleiter usw. ebenso wie die Vermassung der entsprechenden Sparte, die für gewöhnlich in einem eigenen Layer geführt wird. Diese Abstraktion kann ohne Bedenken vorgenommen werden, da die hier behandelte Fragestellung für alle Netze die gleichen sind. Ferner werden alle Netzbetreiber der Einfachheit halber unter dem Oberbegriff EVU zusammengefasst.

In der überwiegenden Anzahl der Fälle beziehen die Vermessungsabteilungen der EVU's das jeweilige Netz direkt oder indirekt auf Elemente der Grundkarte. Beispielsweise kann die Lage einer Leitung in Bezug auf eine Häuserkante oder eine Flurstücksgrenze festgelegt sein oder aber die Lage eines Kanaldeckels wird aus bekannten Punkten (z.B. APs) abgeleitet und von dort werden weitere Elemente des Netzes erfasst.

Die auf diese Art bestimmten Punkte werden dann anschließend in ein GIS überführt, das im Allg. auch die Geobasisdaten oder zumindest Teile davon enthält. Damit beziehen sich die digitalen Daten des EVUs oder genauer genommen desjenigen, der die digitale Dokumentation des Netzes führt, auf das aktuelle geodätische Datum der Landesvermessung.

Bezieht die Daten haltende Stelle ihre Fachdaten hingegen nicht auf das Landesnetz, weil sie beispielsweise ein eigenes Datum definiert hat, dann bleibt der Wechsel des Datums für diese Stelle ohne Konsequenzen. Wurden dagegen z. B. georeferenzierte Orthophotos verwendet, dann müsste theoretisch eine Homogenisierung durchgeführt werden. Die erschöpfende Diskussion dieses Schrittes würde allerdings den Rahmen dieses Beitrags sprengen.

Prinzipiell stehen zwei Vorgehensweisen zur Anpassung der Fachdaten an die neue räumliche Referenz zur Auswahl. Zum einen kann man den Prozess der Homogenisierung ignorieren und transformiert die digitalen Daten – das gesamte Netz wird hier als eine Menge von Punkten betrachtet, die als Träger der Geometrie gedeutet werden (Vektorgrafik) – mit den gegebenen Parametern in das neue Bezugssystem. Damit nimmt man in Kauf, dass sich die Punktlage um bis zu 30 cm verschlechtert. War die Lage der Leitungen im GIS zuvor schon ungenau, so wird sie sich durch diese Vorgehensweise sicherlich nicht verbessern.

Die zweite Möglichkeit, die Daten dem neuen Datum anzupassen, besteht darin, den Homogenisierungsprozess ebenfalls durchzuführen. Dies kann aber bestenfalls in analoger Art vollzogen werden, da sich ein Leitungsnetz im Normalfall über mehrere Maschen erstreckt (siehe Abschnitt „Homogenisierung"). Der Umring dieser Maschen stellte aber im Rahmen der Homogenisierung der Punkte mit dem LST110 und LST120 eine „harte" Grenze dar, jenseits der keine weiteren Punkte zu Homogenisierung herangezogen wurden. Wie Abb. 2 deutlich macht, führt dies dazu, dass sich die Richtungen der Verschiebungsvektoren zwischen zwei benachbarten Maschen teilweise stark unterscheiden.

Die bislang angestellten Überlegungen führen zu folgendem Ergebnis: Der Homogenisierungsprozess des Leitungsnetzes kann nicht in der gleichen Weise durchgeführt werden wie der des Punktfeldes der Landesvermessung. Denn das Versorgungsnetz geht im Allg. über mehrere Teilgebiete hinweg. Damit an der Maschengrenze keine Unstetigkeit entsteht, muss der Homogenisierungsalgorithmus auch Punkte der benachbarten Maschen berücksichtigen.
Zur Lösung dieser Fragestellung wurden insgesamt drei Ansätze verfolgt:

- Die zweidimensionale überbestimmte Ähnlichkeitstransformation (Helmert-Transformation)
- Das Verfahren Inverse Distance Weighted (IDW)
- Die Natural-Neighbor (NN)- oder Sibson-Interpolation

Die Helmert-Transformation hat sich nach ersten Voruntersuchungen als ungeeignet erwiesen, obwohl sie unstrittig einige Vorteile hat. So bleiben beispielsweise wesentliche geometrische Eigenschaften bei dieser Transformation erhalten. Zu nennen sind hier vor allem die Geradheit und die Rechtwinkligkeit, was z.B. für die Vermassung von herausragender Bedeutung ist. Nachteilig dagegen sind die besonders schlechten

Eigenschaften in Bezug auf die direkte Nachbarschaft.

Dies wird in Abb. 5 deutlich, in der die Verschiebungsvektoren benachbarter Maschen berechnet und mit in die Zeichnung aufgenommen wurden. Die Parametersätze zur Transformation wurden dabei für jede Masche gesondert bestimmt. Es zeigte sich dabei, dass sich die Richtungen der Verschiebungsvektoren des Leitungsnetzes, sofern sie auf der Grundlage der Helmert-Transformation berechnet wurden, von denen der Nachbarn aus dem Bereich der Vermessungspunkte deutlich unterschieden. Dies kann aber nicht hingenommen werden, wenn man davon ausgeht, dass sich das Versorgungsnetz auf die Punkte der Landesvermessung bezieht und daher die direkte Nachbarschaft auf jeden Fall berücksichtigt werden muss.

Im Folgenden werden daher nur noch die beiden anderen Lösungsansätze vorgestellt. Zunächst wird das Verfahren IDW erörtert und anschließend die Natural-Neighbor-Interpolation. Implizit wird damit auf die zuvor schon angesprochene Erhaltung der geometrischen Eigenschaften wie die Geradheit bzw. Parallelität und die Rechtwinkligkeit verzichtet. Um nochmals die Vermassung als Beispiel heranzuziehen bedeutet dies, dass ein Maß, das sich auf die Verlängerung einer Gebäudebegrenzung bezieht, nach der Transformation mit den genannten Verfahren, nicht mehr in der Flucht mit dieser Gebäudelinie liegen muss. Diese Aussage betrifft zwar nur die geometrische Darstellung, kann aber in der Praxis u. U. zu Missverständnissen führen.

In diesem Zusammenhang soll noch darauf hingewiesen werden, dass von Gielsdorf und Gründig (1997) ein Ansatz zur Homogenisierung unter Beibehaltung wesentlicher geometrischer Eigenschaften wie beispielsweise der Geradheit vorgestellt wurde. Der Beispieldatensatz, der im Rahmen dieser Untersuchung prozessiert wurde, beinhaltete lediglich die einfache geometrische Information zu den Objekten, umfasste aber keine zusätzlichen Restriktionen, wie beispielsweise Rechtwinkelbedingungen. Insofern war eine weitergehende Berücksichtigung der angesprochenen Eigenschaften nicht möglich. Ob oder wie man sie im Nachhinein aus den Daten ableiten kann bzw. könnte war nicht Gegenstand der Untersuchung.

4. DAS VERFAHREN IDW

Die Idee dieser Methode besteht darin, den Attributwert – fortan nur noch Attribut genannt – an einer Stelle x_0, an der das Attribut noch nicht vorliegt, aber geschätzt werden soll, aus den vorhandenen Stützpunkten abzuleiten. Stützpunkte sind dabei solche Punkte, an denen das entsprechende Attribut vorhanden ist. Im vorliegenden Fall dienen alle Geobasisdaten mit dem LST 100 als Stützpunkte. Nach der Homogenisierung der Geobasisdaten sind dies alle Punkte, da das Ziel der Homogenisierung darin besteht, alle Geobasisdate, also auch diejenigen, die vormals LST110 und LST120 hatten, in den LST100 zu überführen.

Bei der Berechnung des Attributs an der Stelle x_0 wird davon ausgegangen, dass der Einfluss der benachbarten Punkte mit zunehmender Entfernung abnimmt, also umgekehrt proportional ist. Gängige mathematische Modellierungen für diesen Zusammenhang sind $1/d$, $1/d^2$ bzw. allgemein $1/d^p$, wobei d die Distanz zwischen der Stelle x_0 und dem jeweils betrachteten Stützpunkt und p den Exponenten bezeichnet.

Formal kann das bisher gesagte durch

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i \cdot Z(x_i)$$

dargestellt werden. Der Index i steht dabei für die Stützpunkte, über die summiert wird und die Größe $Z(x_i)$ bezeichnet den Wert des Attributs an der Stelle x_i, also das Attribut des Stützpunktes. Die Gewichte λ_i, die entfernungsabhängig zu bestimmen sind (siehe vorigen Absatz), werden dabei so gewählt, dass ihre Summe 1 ergibt. Diesen Rechenschritt kann man als Normierung auffassen. Auf weitere Details braucht an dieser Stelle nicht eingegangen werden, da das hier vorgestellte Verfahren erst kürzlich in dieser Zeitschrift detailliert vorgestellt wurde (Peters 2009).

Es ist bei diesem Verfahren zunächst nicht festgelegt, wie viele benachbarte Stützpunkte zur Berechnung des zu schätzenden Attributs herangezogen werden müssen. Dies hängt wesentlich von der Problemstellung ab und muss in jedem Fall gesondert beurteilt werden. Im vorliegenden Beispiel wurden die Verschiebungen dx und dy der Geobasisdaten mit dem LST100 als Attribute aufgefasst, aus denen die Verschiebungen des Versorgungsnetzes abgeleitet wurden. D.h., für jeden Punkt des Versorgungsnetzes wurden die Komponenten des Verschiebungsvektors dx und dy aus den Geobasisdaten ermittelt.

Zur Bestimmung der Anzahl der benachbarten Geobasisdaten bot sich dabei im untersuchten Fall die folgende Vorgehensweise an. Ausgehend von der Stelle x_0, die einen Punkt des Versorgungsnetzes darstellt, wurde mit einem Fangradius von zunächst 40 m alle benachbarten Geobasisdaten ermittelt. Waren genügend vorhanden, dann wurde aus ihnen der Verschiebungsvektor berechnet. War die Anzahl der Stützpunkte zu gering, dann wurde die Berechnung der Verschiebung des Punktes mit dem verdoppelten Fangradius erneut durchgeführt.

5. DIE NATURAL-NEIGHBOR-INTERPOLATION

Diese Form der Interpolation berücksichtigt, wie der Name des Verfahrens schon vermuten lässt, die unmittelbaren Nachbarn des zu bearbeitenden Punktes, der im vorliegenden Fall der Menge der Geofachdaten entstammte. Ausgangspunkt der Rechenvorschrift zur Interpolation nach diesem Verfahren ist das Voronoi-Diagramm, das seinerseits aus der Menge der Stützpunkte, also den Geobasisdaten, gebildet wurde (siehe Abb. 3 und auch Boissant, Frederic 2000). Das Bildungsgesetz zur Erzeugung eines Voronoi-Diagramms (siehe Abb. 3) basiert auf einer Dreiecksvermaschung nach dem Delaunay-Kriterium (Bill 1999). Dieses Kriterium fordert, dass im Umkreis um ein Dreieck, dessen Eckpunkte aus Stützpunkten (in Abb. 3 als beprobte Punkte bezeichnet) gebildet werden, kein weiterer Stützpunkt aus der Menge aller Stützpunkte liegen darf. Die Verbindungen der benachbarten Umkreismittelpunkte bilden dann das Voronoi-Diagramm. Die durch das Voronoi-Diagramm gebildeten Flächen bilden eine ebene Pflasterung, d.h., es gibt keine Lücken und die Flächen überlappen sich nicht.

Nachdem das Voronoi-Diagramm vorliegt, das wie schon angedeutet zunächst aus den Geobasisdaten abgeleitet wird, wird aus der Menge der Geofachdaten ein Punkt hinzugefügt. Danach wird ein neues Voronoi-Diagramm mit der jetzt um einen

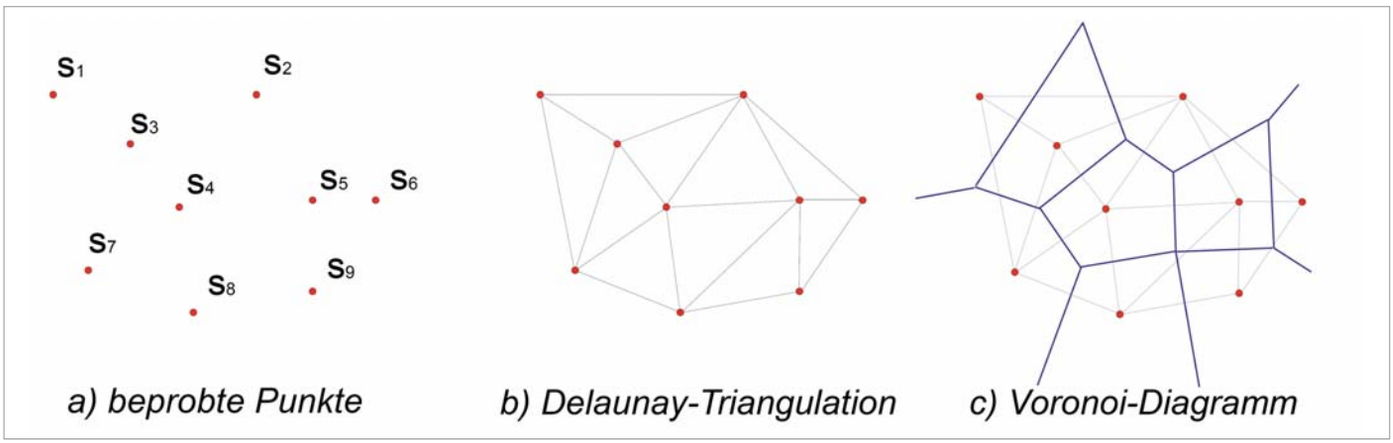

Abbildung 3: Von der Punktemenge zum Voronoi-Diagramm

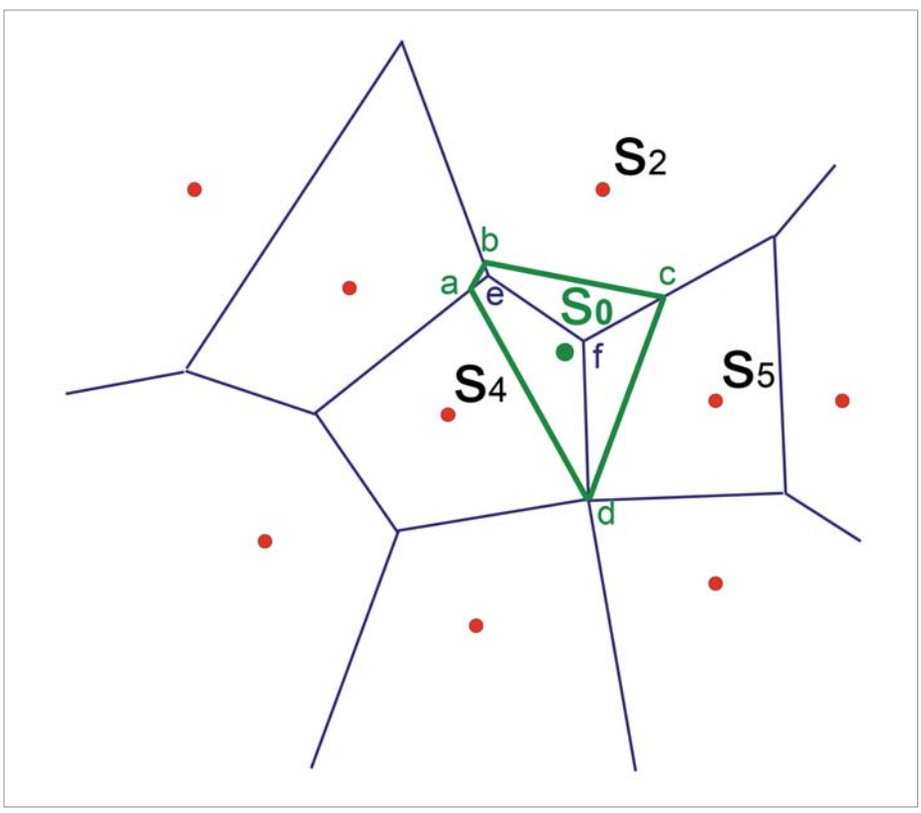

Abbildung 4: Die Natural-Neighbor-Interpolation

Punkt vergrößerten Menge berechnet (Punkt S_0 in Abb. 4). Im nächsten Schritt werden die beiden Diagramme – das Diagramm, das aus den Stützpunkten besteht und das um den zu interpolierenden Punkt erweiterte, übereinander gelegt. Es entstehen Schnittflächen zwischen den beiden Diagrammen (in Abb. 4 in grün dargestellt). Das zu schätzende Attribut wird über den Flächenanteil, der sich aus dem Schnitt ergibt, aus den direkt benachbarten Stützpunkten berechnet.

Damit das Verfahren in der beschriebenen Form durchgeführt werden kann, muss eine Bedingung eingehalten werden. Diese besagt, dass die Menge der zu interpolierenden Punkte, also die Geofachdaten, vollständig innerhalb der konvexen Hülle der Stützpunkte, im untersuchten Beispiel waren das die Geobasisdaten, liegen müssen. Der Sinn dieser Bedingung erschließt sich sofort aus der Anschauung, da sich im Falle des Nichteinhaltens dieser Forderung eine Singularität ergeben würde.

Die ausschließliche Implementierung mit dieser Interpolationsmethode würde also keinen Sinn machen. Um diesen Fall mit der Testsoftware dennoch auffangen zu können wurde auf das Entwurfsmuster „Strategie" zurückgegriffen (Rösch, Zimmermann 2005). Dabei wurde wie folgt verfahren: Grundsätzlich wird die NN-Interpolation angewendet. Die Singularität selbst entscheidet dann über die Strategie, also den Algorithmus, der angewendet wird. Ist der Punkt nicht singulär, dann wird zur Berechnung der Verschiebung die NN-Interpolation angewendet. Im anderen Fall kommt die Methode IDW zum Zug. Auf diese Weise wurde sicher gestellt, dass für jeden Punkt, unabhängig von seiner Lage, eine Lösung berechnet wird. Bei den Probeläufen mit den vorhandenen Daten, auf die an späterer Stelle noch eingegangen wird, trat in weniger als 0,005% aller Fälle eine Singularität auf.

An dieser Stelle muss ferner darauf hingewiesen werden, dass es für die NN-Interpolation sehr schnelle, laufzeitoptimierte Implementierungen gibt, die die Rechenvorschrift in vielen Details abkürzen. Besonders hervorgehoben sei die mehrfache Bildung des Vornoi-Diagramms. Dies geschieht tatsächlich in der vollständigen Form nur einmal. Durch die Erweiterung der Punktmenge um einen weiteren Punkt wird in der Praxis dann nur noch die nähere Umgebung des zu interpolierenden Punktes bearbeitet. Dadurch wird die Rechenzeit ganz erheblich verkürzt.

In diesem Zusammenhang soll noch kurz auf die Implementierung eingegangen werden, da der Prozess der Vermaschung an sich relativ aufwändig ist. Ein Algorithmus wie z. B. „divide and conquer", der ein

Laufzeitverhalten von O(n*log(n)) besitzt, eignet sich ganz hervorragend zur Erzeugung eines Voronoi-Diagramms mit vielen Stützpunkten. Allerdings relativiert sich dieser Vorteil, wenn in ein bestehendes Netz ein weiterer Punkt eingefügt werden soll. Hier erweisen sich dann Algorithmen wie z.B. „incremental insertion" als vorteilhaft. Diese Rechenvorschrift (genau genommen handelt es sich um eine Gruppe von Algorithmen) ermöglicht beispielsweise auch das elementweise Einfügen neuer Punkte in das vorhandene Netz. Dabei ist das Laufzeitverhalten mit $O(n^2)$ relativ schlecht. Aber die Tatsache, dass nur die nächste Umgebung des Punktes verändert wird, macht die Implementierung dieses Algorithmus in Verbindung mit der NN-Interpolation sehr interessant (Zalik, Kolingerova 2003).

Im folgenden Abschnitt werden die Verfahren miteinander verglichen. Wichtigstes Kriterium des Vergleichs ist die Lage des zu interpolierenden Punktes im Verhältnis zu seiner Umgebung. Das Maß war dabei der Verschiebungsvektor, der hinsichtlich seiner Richtung und seiner Länge untersucht wurde (siehe Abb. 2 in Verbindung mit Abb. 5).

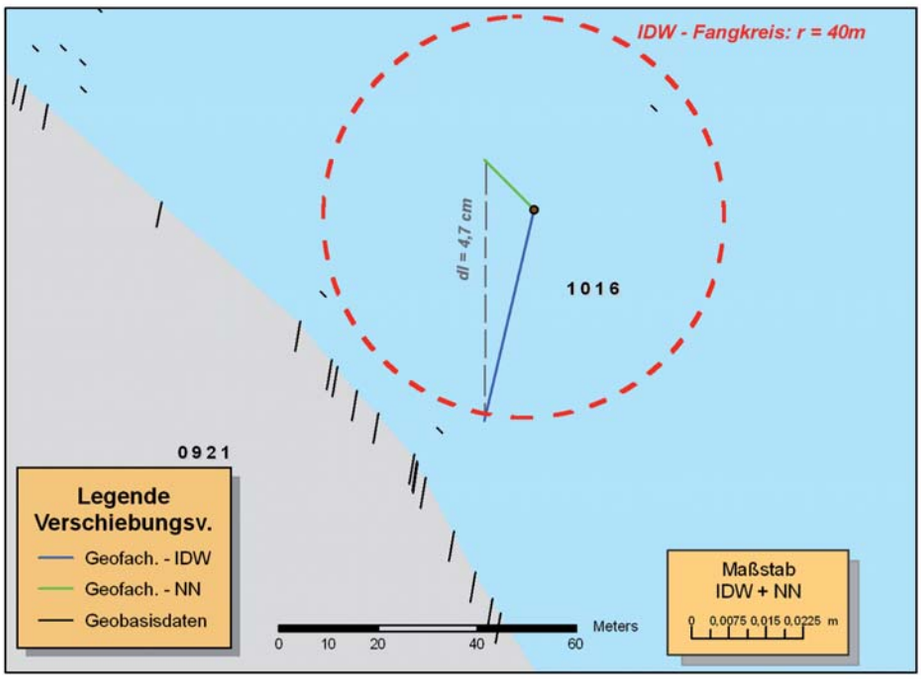

Abbildung 6: Die Verschiebung am Gebietsrand

6. VERGLEICH DER ERGEBNISSE

Die Grundlage zur Homogenisierung des Leitungsnetzes bildeten im untersuchten Beispiel die Geobasisdaten mit etwas mehr als einer halben Million Punkten. In diese Punktmenge wurde das Netz einer Sparte eines EVU mit etwa 300 000 Punkten angepasst. Dabei kamen drei Methoden zum Einsatz. Dies waren zum einen die Helmert-Transformation sowie das Verfahren IDW und die Natural-Neighbor- Interpolation. Aus den bereits genannten Gründen wurde die Helmert-Transformation nicht weiter beachtet. Im Zuge der Anwendung der beiden verbleibenden Verfahren wurden ferner keine weiteren geometrischen Bedingungen (z. B. Parallelität) berücksichtigt. Es wurde lediglich die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Methoden in der beschriebenen Form angewendet.

Die Untauglichkeit der Helmert-Transformation für die hier behandelte Problemstellung zeigte sich sehr schnell am Ergebnis. Denn während sich die beiden anderen Methoden weitestgehend gegenseitig bestätigten, zeigte die Helmert-Transformation in der endgültigen Punktlage (d.h. nach der Homogenisierung) Differenzen von bis zu 17cm. Im Vergleich dazu betrug die maximale Differenz zwischen NN und IDW knapp 5cm. Dabei ist zu betonen, dass die Unterschiede zwischen den beiden zuletzt genannten Verfahren bei 98% aller Punkte weniger als 1cm betrugen (siehe Abb. 5).

An dieser Stelle sei ferner noch angemerkt, dass das Verfahren IDW auf der Basis einer Untermenge der Geobasisdaten optimiert (über eine Kreuzvalidierung) wurde. Die Interpolation mit dem Exponenten p=2 lieferte dabei das beste Ergebnis. Dies lässt vermuten, dass die Geobasisdaten selbst mit diesem Exponenten berechnet wurden. Aufgrund dieser Feststellung wurde daher die Homogenisierung der Geofachdaten mit dem gleichen Exponenten vorgenommen.

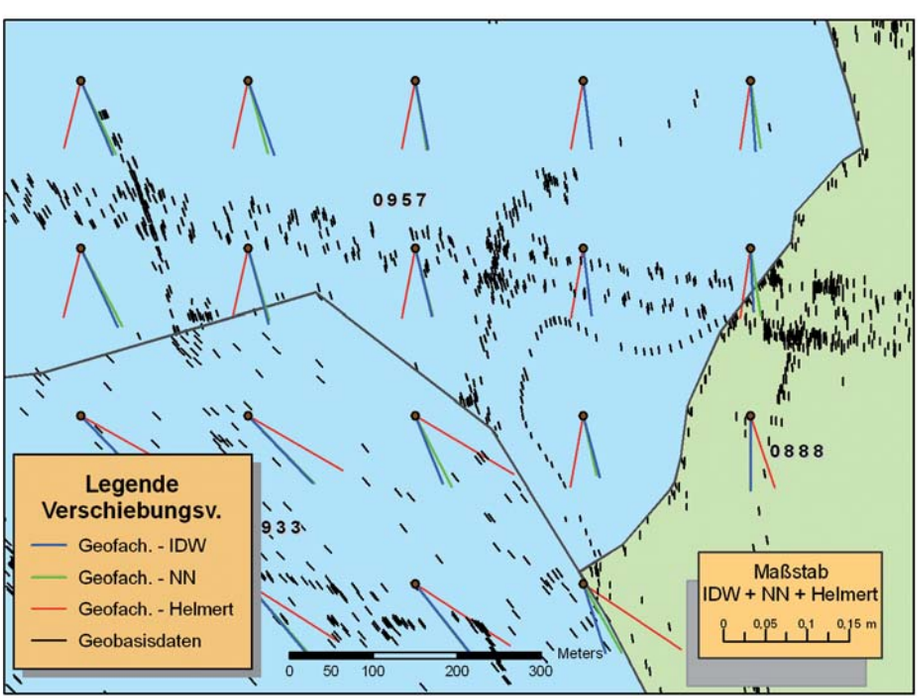

Abbildung 5: Die Verschiebungsvektoren (stark vergrößert) der Geofachdaten

Da die Richtung und die Länge der Verschiebungsvektoren zwischen NN und IDW nahezu identisch waren, wurde als weiteres Kriterium die Rechenzeit herangezogen. Dabei zeigte sich, dass die Implementierung der NN-Methode dem Verfahren IDW deutlich überlegen war. Unter den Randbedingungen hinsichtlich der Anzahl der Punkte, wie sie im ersten Absatz dieses Abschnitts genannt sind, benötigte die Berechnung der Verschiebungen auf der Basis von NN nur etwa 5% der Rechenzeit, die für IDW notwendig war.

Korrekterweise muss an dieser Stelle auf eine Einschränkung in Bezug auf den im vorigen Absatz vorgenommenen Vergleich aufmerksam gemacht werden. Diese betrifft die Implementierung der beiden Verfahren. Denn während bei der NN-Interpolation bei der Programmierung sehr auf das Laufzeitverhalten geachtet wurde, blieb dieser Aspekt bei der Methode IDW weitgehend unbeachtet. Insbesondere wurde bei der Suche nach direkten Nachbarn zu einem gegebenen Punkt darauf verzichtet, laufzeitoptimierte Verfahren einzusetzen. Von daher relativiert sich der Vergleich und bezieht sich nur auf die untersuchte Implementierung.

Ein weiteres Argument, das für das Verfahren NN spricht, ist das wesentlich realistischere Verhalten an den Übergängen von einer Masche zur nächsten. In Abb. 6 ist dies für einen ausgewählten Punkt aus der Menge der Geofachdaten exemplarisch dargestellt. Die beiden Maschen sind in dieser Abbildung mit unterschiedlichem Farbhintergrund wiedergegeben.

Hier zeigten die Verschiebungsvektoren direkt benachbarter Stützpunkte, die aber unterschiedlichen Maschen angehörten, ein etwas abweichendes Verhalten in Bezug auf die Ausrichtung der Verschiebungsvektoren (siehe ebenfalls Abb. 2). Hier lieferte IDW unter bestimmten Bedingungen etwas schlechtere Ergebnisse. Dies wurde bereits von Hettwer und Benning (2003) aufgezeigt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich im vorliegenden Beispiel die Natural-Neighbor-Interpolation von den untersuchten Methoden als die beste herausgestellt hat. Die mit diesem Verfahren erzeugten Ergebnisse berücksichtigen die direkte Nachbarschaft der Geobasisdaten in vollem Umfang und darüber hinaus hat sich der Algorithmus als sehr performant erwiesen.

7. FAZIT

Am Beispiel des Bundeslandes Hessen wurde in diesem Beitrag aufgezeigt, wie digitale Datenbestände mit Raumbezug, die sich auf die Geobasisdaten beziehen, für den Übergang auf den Raumbezug ETRS89/UTM homogenisiert werden können. Die Natural-Neighbor-Interpolation hat sich dabei unter den gegebenen Randbedingungen von den drei untersuchten Verfahren als das beste herausgestellt. Die raumbezogenen Daten eines Energieversorgers, der etwa 300 000 Punkte umfasste, konnte damit erfolgreich homogenisiert werden. Dabei blieben geometrische Bedingungen wie z. B. Parallelität oder Rechtwinkligkeit unberücksichtigt. Da die Interpolation aber nachbarschaftstreu durchgeführt wird, ist die Verletzung der zuvor genannten geometrischen Bedingungen vernachlässigbar.

Über kurz oder lang werden sich alle Institutionen, die raumbezogene Daten führen, die sich auf die Geobasisdaten und damit auf das amtliche Grundlagennetz beziehen, mit der Homogenisierung auseinandersetzen müssen. Entscheidend ist dabei, in welcher Genauigkeitsklasse die Nutzer der Geobasisdaten arbeiten. Handelt es sich um Genauigkeiten, die im Meterbereich angesiedelt sind (z.B. Nutzungsartengrenzen), dann besteht keine Veranlassung zur Homogenisierung. Wird eine Genauigkeit von deutlich unter einem Meter angestrebt, dann ist die Nachbearbeitung der Daten notwendig.

Da die Gesetzgebung im Bereich des Vermessungswesens Ländersache ist, beschreiten bzw. beschritten die verschiedenen Bundesländer beim Wechsel des geodätischen Datums unterschiedliche Wege. Dies macht es schwer, eine allgemeingültige Vorgehensweise vorzuschlagen. Dem Nutzer der Geobasisdaten kann von daher nur empfohlen werden, die Vorgehensweise der zuständigen Behörde zu analysieren, um sich daraufhin für einen Lösungsansatz zur Homogenisierung zu entscheiden. ◀

Literatur

Bill, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd. 2, Wichmann.

Boissant, J.-D.; Frederic, C. (2000): Smooth Surface Reconstruction via Natural Neighbor Interpolation of distance Functions. In: INRA, BP93, S. 223 – 232.

Gielsdorf F.; Gründig L. (1997): Nachbarschaftsteue Anpassung auf der Basis des Membranmodells. In: ZfV, Nr. 5, S. 208 – 218.

Heckmann, B. (2005): Einführung des Lagebezugssystems ETRS89/UTM beim Umstieg auf ALKIS. DVW-Hessen- / DVW-Thüringen-Mitteilungen, Nr. 1, S. 17 – 25.

Hettwer, J. ; Benning, W.(2003): Restklaffenverteilung mit der Natural-Neighbor-Interpolation, AVN, Heft 4, S. 122 – 129.

Ihde, J.; Lindstrot W. (1995): Bericht aus Forschung und Praxis – Datumstransformation zwischen den Bezugssystemen ETRF/WGS, DHDN und System 42. In: ZfV, Nr. 4, S. 192 – 196.

Kern, F. (2005): Im Labyrinth der Koordinatensysteme. DVW-Hessen- / DVW-Thüringen-Mitteilungen, Nr. 1, S. 2 – 16.

Peters, S. (2009): Vergleich räumlicher Interpolationsverfahren für Ertragswerte im Weinbau. In: gis.Science, Nr. 2, S. 50 – 56.

Rösch, N.; Zimmermann, J. (2005): Der Einsatz objektorientierter Entwurfsmuster am Beispiel der Koordinatentransformation. In: AVN, S.282 – 289.

Strauß, R. (1998): Das Hessische Referenznetz – Der Weg über den Lagestatus 100 zum ETRS 89 -, DVW-Hessen- / DVW-Thüringen-Mitteilungen, Nr. 2, S. 24 – 33.

Zalik, B; Kolingerova I.. (2003): An incremental construction algorithm for Delaunay triangulation using the nearest-point paradigm. In: Int. J. Geographical Information Science, Nr. 2, S. 119 – 138.

Zadravec, M.; Zalik, B. (2005): An almost distribution-independent incremental Delaunay triangulation algorithm, In: Visual Comput., Nr. 21, S, 385 – 396.