

ETRS89 als amtliches Bezugssystem für das Land Sachsen-Anhalt

Von Hans-Peter Bahnemann und Guido Hestermeyer, Magdeburg

Zusammenfassung

Mit der Einführung des neuen Datenmodells für die Geobasisdaten des Landes Sachsen-Anhalts erfolgt gleichzeitig die Umstellung auf das neue amtliche Bezugssystem ETRS89.

Der nachfolgende Beitrag beschreibt die unterschiedliche Vorgehensweise zur Überführung der Daten unter Berücksichtigung der Genauigkeitsanforderungen der einzelnen Fachverfahren.

I Motivation

Die Teilung Deutschlands war im 20. Jahrhundert lange Zeit ein unveränderlicher Status Quo. So verwundert es auch nicht, dass das Vermessungswesen in den beiden Teilen Deutschlands sich unabhängig voneinander entwickelte und unterschiedliche Wege gegangen ist. Während in den „alten“ Bundesländern nach dem 2. Weltkrieg das bestehende geodätische Datum des Reichsdreiecksnetzes (Rauenberg Datum) beibehalten wurde, hat man in der DDR die Chance eines Neuanfanges genutzt und das Trigonometrische Netz auf der Grundlage des Koordinatensystems 1942 (Pulkovo Datum) neu erstellt. Nach der Wiedervereinigung versuchte man die aktuelle Realisierung dieses Koordinatensystems (System 42/83) an das westdeutsche System anzubinden. Dieser Versuch ist [nach Augath 1996] nur aufgrund einer fehlenden gesamtdeutschen Alternative zu erklären. Mit dieser unbefriedigenden Situation sah sich die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) konfrontiert. Bereits im Mai 1991 hat die AdV daher in weiser Voraussicht die Einführung des erst kürzlich geschaffenen ETRS89 als einheitliches Bezugssystem im vereinigten Deutschland beschlossen. Neben der praktischen Notwendigkeit eines einheitlichen geodätischen Bezugssystems spricht für die Einführung des ETRS89 auch die weitgehende Übereinstimmung mit dem WGS84. Dieser Aspekt für das neue geodätische Bezugssystem kann gar nicht hoch genug bewertet werden, da schon in den neunziger Jahren ein Paradigmenwechsel in der Benutzung von Koordinaten erkennbar war. Erstmals kamen aufgrund preiswerter GPS-Empfänger auch viele Nutzer ohne Fachkenntnisse mit Koordinaten in Berührung. Die Festlegung eines geodätischen Datums hatte somit eine bedeutende Außenwirkung erhalten [Augath 1996].

Waren die Mitglieder der AdV schnell über die geodätische Grundlage einig, so war die Wahl des Abbildungssystems nicht so einfach, stand doch hier das Verfahren nach Gauß-Krüger dem UTM-Verfahren (UTM: Universal Transversale Mercatorprojektion) gegenüber. Lange und leidenschaftlich wurde über das Für und Wider der einzelnen Abbildungssysteme diskutiert. Am Ende fiel die Wahl auf das UTM. In seiner Entscheidung das Abbildungssystem UTM einzuführen, hatte die AdV nicht nur die Interessen des deutschen Vermessungswesens im Blickfeld, sondern auch die Interessen Europas. Im Beschluss der AdV vom Mai 1995 heißt es hierzu, dass die AdV sich nachhaltig um die verbindliche europaweite Einführung des Bezugssystems ETRS89 und des Abbildungssystems UTM bemüht.

„Wir haben die Kugel der historischen Entwicklung am Bein.“
Kohlschütter

Die UTM-Abbildung wird eingeführt.

Die Forderung nach einem europaweiten Bezugssystem wurde in den achtziger Jahren aus den Bereichen der europäischen Administration aufgestellt, z.B. von der europäischen Flugsicherungsstelle EUROCONTROL. Der Bedarf an überstaatlichen geodätischen Bezugssystemen konnte von den Vermessungsverwaltungen zunächst nicht gedeckt werden. In den Jahren 1999 und 2000 führte die Europäische Kommission zwei Workshops durch. Ziel war es u.a. ein geeignetes pan-europäisches Bezugssystem festzulegen. Die Ergebnisse dieser Workshops bildeten die Grundlage für die sogenannte INSPIRE-Richtlinie:

Abbildungsverfahren für unterschiedliche Anwendungen

- ◆ für statistische Analysen und Darstellungen soll die Lambertsche flächentreue Azimutalprojektion aus dem Koordinatenreferenzsystem ETRS89 verwendet werden,
- ◆ für Kartendarstellungen im Maßstab 1:500 000 und kleiner soll die Lambertsche Schnittkegelprojektion aus dem Koordinatenreferenzsystem ETRS89 verwendet werden und
- ◆ für Kartendarstellungen in einem größeren Maßstab als 1:500 000 soll die Transversale Mercatorprojektion aus dem Koordinatensystem ETRS89 verwendet werden.

In der Dokumentation des Workshops von 2000 wird noch dargestellt, dass man mit der Transversalen Mercatorprojektion die UTM-Abbildung meint [European Communities 2003]. Diese Information ist bei der Aufstellung der Richtlinie 2007/2/EG, die sogenannte INSPIRE-Richtlinie, leider nicht mit aufgenommen worden.

2 Frühzeitige Entwicklungen in Sachsen-Anhalt

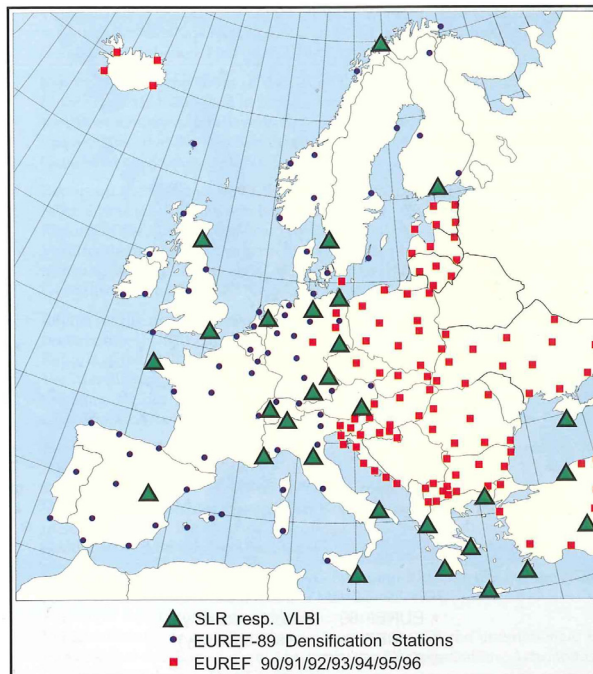


Abb. 1: EUREF-89/96
[BKG 1998]

Vorausgegangen ist die EUREF-89-GPS-Kampagne im Mai 1989. Zunächst nur für Westeuropa gedacht, war nach dem Fall des „Eisernen Vorhangs“ im Herbst 1989 von vielen osteuropäischen Staaten der Wunsch in das neue geodätische Bezugssystem ETRS89 einbezogen zu werden geäußert worden.

Heute sind 16 europäische Staaten in EUREF eingebunden. Die Vorbereitungen zur Schaffung eines deutschen GPS-Referenznetzes (DREF91) als Verdichtungsstufe des EUREF begannen bereits im Juni 1989. Die Ver-

messungen erfolgten im April 1991, an denen auch zwei Vermessungstrupps des Landes Sachsen-Anhalt beteiligt waren. Als Verdichtungsstufe des DREF91 wurde 1994 das SANREF (Sachsen-Anhaltisches-Referenznetz) eingerichtet. Es war das erste GPS-Referenznetz der Hierarchiestufe C in der Bundesrepublik Deutschland. Das SANREF und die vier auf dem Gebiet des Landes Sachsen-Anhalt liegenden DREF91 Festpunkte realisieren in unserem Bundesland derzeit das ETRS89. Zukünftig wird diese Funktion von Geodätischen Grundnetzpunkten, die bundesweit einheitlich eingerichtet werden, übernommen. Der Aufbau eines GPS-Referenzstationsnetzes erfolgte von 1993 an zügig, schon Mitte der neunziger Jahre lag es flächendeckend vor. Die Erstbestimmung der GPS-Referenzstationen im ETRS89-Koordinatensystem erfolgte mittels GNSS-Vermessungsverfahren (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) aus dem umliegenden SANREF-Netz heraus. Ebenfalls mittels GNSS-Vermessungsverfahren wurden durch Einzelpunkteinschaltung I 063 ausgewählte Trigonometrische Punkte im Netz der Referenzstationen neu bestimmt. Somit lag bereits im Jahr 2004 in Sachsen-Anhalt ein gebietsdeckendes Lagefestpunktfeld mit einem Punktabstand von ca. 5 km im ETRS89-Koordinatensystem vor.

Die AdV beschloss in 2006 eine neue Strategie eines einheitlichen Raumbezugs des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland einzuführen. Realisiert wird dieses bundeseinheitliche und homogene Festpunktfeld durch neu zu schaffende Geodätische Grundnetzpunkte, durch die Höhenfestpunkte I. Ordnung im Bezugssystem DHHN92, durch die Schwerefestpunkte des Schweregrundnetzes und des Schwerenetzes I. Ordnung im Bezugssystem DHSN96 und die Referenzstationspunkte. Die Geodätischen Grundnetzpunkte erhalten eine 3D-Vermarkung, die satellitengeodätisch

hochgenau im ETRS89-Koordinatensystem bestimmt werden. Der Anschluss an das amtliche Höhenfestpunktfeld erfolgt mittels Präzisionsnivellement im System DHHN92. Mittels Absolutgravimetrie erfolgt der Anschluss an das amtliche Schwerefestpunktfeld. Der Punktabstand zwischen den Geodätischen Grundnetzpunkten soll bis 30 km betragen. In Sachsen-Anhalt werden ca. 43 Geodätische Grundnetzpunkte eingerichtet.



Abb. 2: Referenzstationen
(Stand 1996)

3 Überführungsmodelle für die Geobasisdaten

3.1 Meridianzuordnungen

Das Landesgebiet Sachsen-Anhalts erstreckt sich in seiner Ost-West-Ausdehnung zwischen 10,5° und 13° östlicher Länge. Im bisherigen amtlichen Bezugssystem Gauß-Krüger-Koordinatensystem 42/83 (Pulkovo Datum) und im bisherigen Bezugssystem Gauß-Krüger-Koordinatensystem RD83 (Rauenberg Datum) der Topographischen Landeskartenwerke wurde die gesamte Landesfläche in einem Meridianstreifen abgebildet. Der 4. Streifen in der Gauß-Krüger-Abbildung ermöglichte eine komplette Datenhaltung in einem Meridianstreifen ohne zusätzliche Transformationen. Mit dem Wechsel des Bezugssystems und dem Übergang nach UTM in 6°-Zonen wird Sachsen-Anhalt am 12°-Längengrad in die UTM-Zonen 32 und 33 unterteilt, wobei der in der Zone 33 liegende Anteil etwa ein Drittel der Gesamtfläche ausmacht. Hieraus resultieren unterschiedliche Varianten für Datenhaltung und Benutzung. Mit zunehmendem Abstand vom Mittelmeridian nehmen die Streckenverzerrungen zu, die Richtungsverzerrungen sind in einer Gauß-Krüger- und UTM-Abbildung in der Regel vernachlässigbar klein.

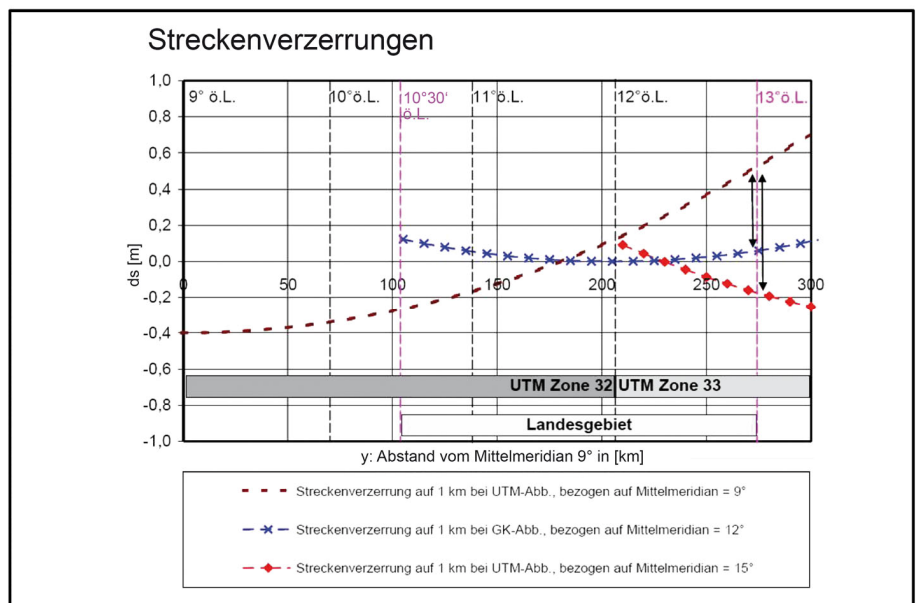


Abb. 3: Darstellung der Projektionsverzerrungen [Thoß, Sievers 1998]

Betrachtet man die Streckenverzerrungen der unterschiedlichen Abbildungsverfahren an der östlichen Grenze Sachsen-Anhalts, so sind die erheblichen Unterschiede leicht erkennbar. Zwischen der auf den Mittelmeridian 9° bezogenen UTM-Abbildung und der Gauß-Krüger-Abbildung beträgt der Unterschied zwischen beiden Streckenverzerrungen ca. 40 cm pro Kilometer. Der Unterschied zwischen den beiden UTM-Zonen 32 und 33 ist immerhin 70 cm pro Kilometer. Die Führung des gesamten Landesgebietes in einer UTM-Zone erleichtert die datentechnische Verarbeitung erheblich, insbesondere für flächen- und linienhafte Objekte. Objektbildung und Datenhaltung können in einem konsistenten System vorgenommen werden. Es stellt sich nun die Frage, wie sich der o.g. Unterschied von 70 cm pro Kilometer auswirkt. Für die Darstellung der Landschaft im Amtlichen Topogra-

phisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) spielt er keine Rolle, da hier eine Lagegenauigkeit von 3 m vorgegeben ist. Eine wesentlich höhere Lagegenauigkeit fordert die amtliche Liegenschaftskarte im Maßstab 1:1 000. Bei einem Auszug der Liegenschaftskarte im DIN-A3 Format einmal im Koordinatensystem der UTM-Zone 32 und einmal im Koordinatensystem der UTM-Zone 33 würde das Bild der beiden Liegenschaftskarten weniger als 0,5 mm differieren. Diese Differenz kann toleriert werden.

Als technisch führendes Koordinatensystem (CRS) wurde daher das ETRS89_UTM32 für Sachsen-Anhalt festgelegt. Auf eine generelle Speicherung der Objekt-Punktorte ETRS89_UTM32 und ETRS89_UTM33 konnte verzichtet werden, da der Übergang von UTM-Zone 32 in UTM-Zone 33 streng mathematisch erfolgt. In der DAVID-Geodatenbank als AAA-Datenhaltungskomponente (DHK) wird der Grundriss im System ETRS89_UTM32 abgespeichert. Bei der Ausgabe ist das bevorzugte Koordinatensystem (ETRS89_UTM32 oder ETRS89_UTM33) anzugeben. Die Angabe ist optional, fehlt sie, dann werden die Koordinaten so ausgegeben, wie sie in die DHK eingelesen worden sind. Daten des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) werden im Rahmen der Migration in die UTM-Zone 32 überführt und in die DHK übernommen (Originalkoordinatensystem). Für das ATKIS wurde dieser Schritt bereits mit Einführung des Basis-DLM im LVermGeo vollzogen. Daten des Amtlichen Festpunktinformationssystem (AFIS) liegen je nach Lage in den UTM-Zonen 32 und 33 vor. Eine Transformation wie bei ATKIS oder ALKIS erfolgt nicht. Daher ist das in der DHK hinterlegte Originalkoordinatensystem des AFIS für die eingespielten Daten entweder ETRS89_UTM32 oder ETRS_UTM33. Entsprechend würde ein Benutzungsauftrag ohne Angabe des Koordinatensystems die Ergebnisse zonentreu bereitstellen.

Eine elegante Methode den Grenzmeridian zu umgehen wurde 2001 für den Bereich der Liegenschaftsvermessungen gefunden. Bekanntlich werden die Liegenschaftsvermessungen in Sachsen-Anhalt ausschließlich mit originären Vermessungszahlen in Lokalen temporären Koordinatensystemen (LTK) durchgeführt. Die originären Vermessungszahlen werden in Dateneinheiten gespeichert. Die Verknüpfungsinformation zwischen den Bezugspunkten der einzelnen Dateneinheiten wird seit 2001 durch die Koordinaten des ETRS89 bereitgestellt. Für die Berechnung des LTK wird als Zwischenschritt eine lokal angepasste Abbildungsebene mit einem lokalen Bezugsmeridian im Vermessungsgebiet bestimmt. Der Vorteil ist hier, dass bei der Wahl der Länge des LTK der Abstand des Vermessungsgebietes zum Mittelmeridian aufgrund der in der lokal angepassten Abbildungsebene zu vernachlässigenden Projektionsverzerrungen nicht mehr berücksichtigt werden muss und dass Grenzmeridiane aufhören zu existieren. Leider konnte dieser Gedanke nicht auf das neue Datenmodell gemäß der Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) übertragen werden.

**Festlegung des
ETRS89 in der UTM-
Zone 32 als technisch
führendes
Koordinatensystem in
Sachsen-Anhalt**

3.2 Die Überführung der Daten der Festpunktfelder

Die Umstellung auf das neue Bezugssystem für die Lage ist in Sachsen-Anhalt mit der Einführung des AAA-Modells synchronisiert und erfolgt mit Einführung des jeweiligen neuen Datenmodells.

Mit Einführung des AFIS sind die bislang in der ALK-Punktdatei geführten Daten der Festpunktfelder in die DHK des neuen Datenmodells zu migrieren. Die Modellierung der Festpunktdaten erfolgt in AFIS objektorientiert durch einen eigenen Objektartenkatalog. Für den Bezugssystemwechsel sind keine Transformationsberechnungen erforderlich, da in Sachsen-Anhalt schon frühzeitig für das Lagefestpunktfeld neben dem amtlichen Bezugssystem (Datum Pulkovo 42/83) Koordinaten im ETRS89 bestimmt und geführt wurden. Ebenso wurden im Bereich Höhenfestpunktfeld und Schwerfestpunktfeld Parameter des ETRS89 für Neuberechnungen und für die Punktkoordinaten verwendet [Kummer 1995]. Begünstigt wurde die Bestimmung und Führung eines weiteren Bezugssystems in der Datenhaltung durch die vorangeschrittene Entwicklung im Einsatz satellitengestützter Vermessungsverfahren.

3.3 Die Überführung der Daten der Geotopographie

Für den Bereich ATKIS ist die Umstellung vom Gauß-Krüger-Koordinatensystem RD83 nach ETRS89 in der UTM-Zone 32 im Zuge der Migration der Daten des digitalen Basis-Landschaftsmodell (ATKIS-BASIS-DLM) im Juli 2010 vorgenommen worden.

Ein Vorteil der Führung in einer objektorientierten Struktur ist die multifunktionale Verwendung der Daten. Das ATKIS-Basis-DLM bildet die Grundlage zur Ableitung weiterer Produkte des LVerGeo wie z.B. das DLM50 oder die Topographischen Karten. Bereits im Maßstab 1:10 000 werden die topographischen Objekte aufgrund der grundrissähnlichen Darstellung überwiegend anhand von Signaturen abgebildet.

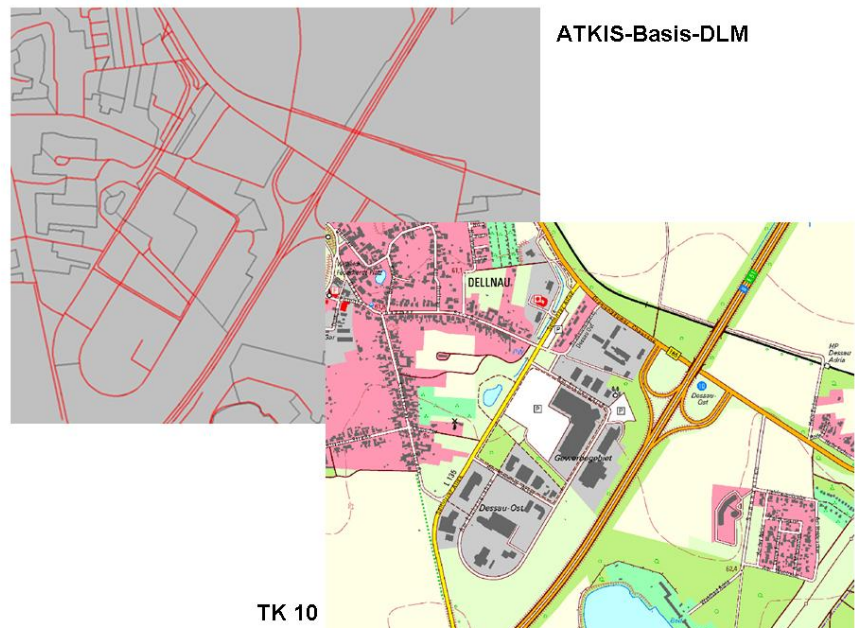


Abb. 4: Ableitung der Topographischen Karte aus dem ATKIS-Basis-DLM

Die Einführung des ETRS89 für das Liegenschaftskataster in Sachsen-Anhalt betrifft nur den Teil des Vermessungszahlenwerkes, der sich auf die reduzierten Vermessungszahlen bezieht. Nicht umgestellt werden muss der Bereich der Liegenschaftsvermessungen mit den originären Vermessungszahlen. Die Liegenschaftskarte weist die Liegenschaften (Flurstücke und Gebäude) nach. Teile der Liegenschaftskarte unterliegen dem öffentlichen Glauben. Bei der Wahl des Transformationsverfahrens ist u.a. aus diesen Gründen darauf zu achten, dass das äußere Erscheinungsbild der Liegenschaftskarte (Geometrie) nicht geändert wird. Die Abwägung der Entscheidung zur Festlegung des Verfahrens zur Überführung der Daten fiel daher auf eine kleinräumige, maschenweise Affin-Transformation. Die Dreiecksmaschen sind nach dem Prinzip der Delaunay-Triangulation einmalig gebildet worden. Hiermit wird auch eine bessere lokale Anpassung erreicht, da die Dreiecksseiten in der Regel ca. 4 bis 7 km lang sind, in Ausnahmefällen maximal 15 km.

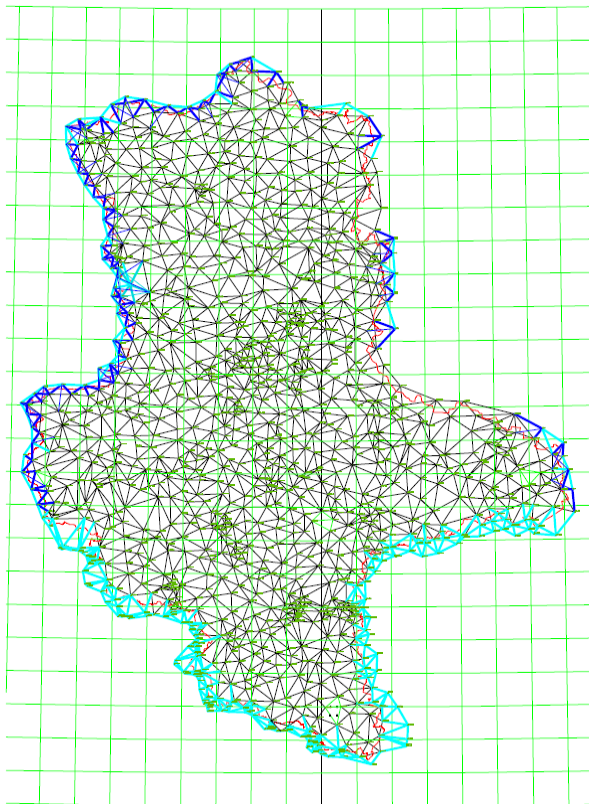


Abb. 6: Dreiecksvermaschung

Die Delaunay-Triangulation beruht auf ca. 1 200 Trigonometrischen Punkten. Nach Durchführung umfangreicher Tests, zunächst in ausgewählten und im Land verteilten Regionen, später aber auch für das gesamte Landesgebiet, wurde die Eignung dieser Trigonometrischen Punkte geprüft. Fehlerhafte Passpunkte und Ausreißer wurden daraufhin aus der Dreiecksvermaschung entfernt. An den Grenzen zu Nachbarländern, wo nicht genügend identische Punkte existierten oder nicht flächendeckend verfügbar waren, musste die Dreiecksvermaschung extrapoliert werden.

Im Zuge der Transformationsberechnung werden für jeden Punkt baryzentrische Koordinaten ermittelt. Das sind lokale Koordinaten bezüglich des Dreiecks, die durch lineare Interpolation berechnet werden. Mit dieser Art der Transformation werden keine Spannungen zwischen den benachbarten Dreiecksmaschen erzeugt, da die baryzentrischen Koordinaten eines Punktes als Gewichte in der Dreiecksmasche zu verstehen ist. Mit dieser Transformation wird eine durchschnittliche Lagegenauigkeit von 3,5 cm erreicht.

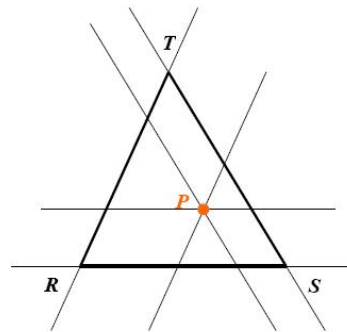


Abb. 7: Berechnung der baryzentrischen Koordinaten im Dreieck

Der Wechsel des Bezugssystems hat ebenfalls Auswirkungen auf das Punktkennzeichen der Objektpunkte. Das Punktkennzeichen setzt sich zusammen aus dem Nummerierungsbezirk, der Punktart und der Punktnummer. Der Nummerierungsbezirk wird im Liegenschaftskataster nach dem Rechts- und Hochwert des südwestlichen Gitterschnittpunktes der 1-km-Gitterlinien des Gauß-Krüger-Koordinatensystems 42/83 (3°-Meridianstreifen) benannt. Nach Umstellung auf ETRS89 erfolgt die Vergabe von Punktkennzeichen für Neupunkte im Liegenschaftskataster auf der Grundlage des UTM-Gitters und ohne Angabe der Punktart. Vorangestellt wird hierbei die Zonenkennung 32 oder 33. Um massive Umstellarbeiten für die Altpunkte aufgrund der Verschiebung des Blattschnittes zu minimieren, wird diesen Punkten im Rahmen der Migration ein „G“ vorangestellt. In den Punktkennzeichen der Grundlagenvermessung gibt es bis auf den Fortfall der Punktart keine Änderungen. Aufnahmepunkte, als Bestandteil des Festpunktfeldes, sind gemäß GeoInfoDok in ALKIS modelliert und werden entsprechend der dort geführten Objektpunkte nummeriert.

Die Überführung der Geobasisdaten in ein neues Bezugssystem macht gleichzeitig eine Umstellung der Geofachdaten bei Nutzern erforderlich. Wichtig hierbei ist, dass die Fachdaten mit dem gleichen Modell überführt werden, um Verschiebungen zu vermeiden. Das LVermGeo bietet in diesem Zusammenhang allen Nutzern kostenlos das Transformationsprogramm LSA_TRANS an, das bei der Überführung der Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters als Grundlage verwendet wird.

Geofachdaten müssen auch mit BeTA2007 bzw. LSA_TRANS überführt werden.

Ausblick

Es gibt keinen Königsweg für die Überführung von Daten von einem Koordinatensystem in ein anderes Koordinatensystem. Die Wahl der Transformationsart hängt u.a. vom Verwendungszweck und von der geforderten Genauigkeit ab. In Sachsen-Anhalt stehen hierfür die Verfahren BeTA2007 und LSA_TRANS zur Verfügung. Darüber hinaus können für spezielle Anwendungen Koordinaten vom LVermGeo individuell transformiert werden.

Die Führung und die Bereitstellung der Daten des amtlichen Vermessungswesens im Bezugssystem ETRS89 mit der UTM-Abbildung vereinfacht die Verknüpfung unterschiedlicher Daten. Zusammen mit dem gemeinsamen Datenmodell des AFIS, ALKIS und ATKIS wird der Nutzer in die Lage versetzt, seine Aufgaben sicher zu bewältigen und neue Produkte zu schaffen. Die sich hieraus ergebenden Möglichkeiten sind nur durch die Phantasie und von der Kreativität begrenzt. Die zu lösenden Aufgaben sind heute vielfältiger und komplexer geworden. Geoinformationssysteme

werden in vielen öffentlichen Bereichen und Lebenslagen eingesetzt, vermehrt auch im privaten Alltag. Es kann durchaus von einer Mainstream-Anwendung gesprochen werden.

Anschrift der Autoren Hans-Peter Bahnemann

Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 15
39104 Magdeburg
E-Mail: Hans-Peter.Bahnemann@lvermgeo.sachsen-anhalt.de

Guido Hestermeyer

Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 15
39104 Magdeburg
E-Mail: Guido.Hestermeyer@lvermgeo.sachsen-anhalt.de

Literaturverzeichnis

AdV 2010: Bundeseinheitliche Transformation für ATKIS (BeTA2007), Version 1.4.

Augath, W. 1996: GPS-Anwendungsmethoden und Bedeutung für das amtliche Vermessungswesen, in: Zeitschrift für das Öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt (LSA VERM), 2. Jahrgang, Heft 2, Seite 127-139, Magdeburg 1996.

BKG 1998: Seeger, H., Y. Altiner, G. Engelhardt, P. Franke, H. Habrich, W. Schlüter: EUREF – 10 Jahre Aufbauarbeit an einem neuen geodätischen Bezugssystem für Europa, in: Geodätische Vernetzung Europas, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 1, 1998.

European Communities 2003: Annoni et al. 2003, Map Projection for Europe, Institute for Environment and Sustainability, (EUR 20120 EN).

Kummer, K. 1995: Zur Einführung und Auswertung des ETRS im Land Sachsen-Anhalt, in: Zeitschrift für das Öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt (LSA VERM), 1. Jahrgang, Heft 2, Seite 80-90, Magdeburg 1995.

Thoß, Sievers, 1998: Umstellung des amtlichen Bezugssystems in Sachsen-Anhalt, n.v.