

Koordinatennetzdefinition und Transformationsmethoden

GIS-Projekte in den neuen Bundesländern, speziell Berlin und Brandenburg, stellen die GIS-Verantwortlichen vor enorme Schwierigkeiten. Daten, die aus unterschiedlichen Quellen kommen, passen oft nicht zusammen. Die Koordinaten, Basis der raumbezogenen Daten, haben als Grundlage teilweise völlig verschiedene Raumbezugssysteme. Mit der Umstellung auf ein neues europaweit gültiges einheitliches Koordinatensystem stellen sich diese Probleme auch in den alten Bundesländern.

Allen raumbezogenen Objekten ist gemein, dass sie einen Teil der Erdoberfläche bedecken. In der Regel werden zur Verortung der räumlichen Bezugssysteme Landeskoordinaten der Vermessungsverwaltungen verwendet.



Abbildung 1: Basis der Abbildung, Erde als Kugelgestalt

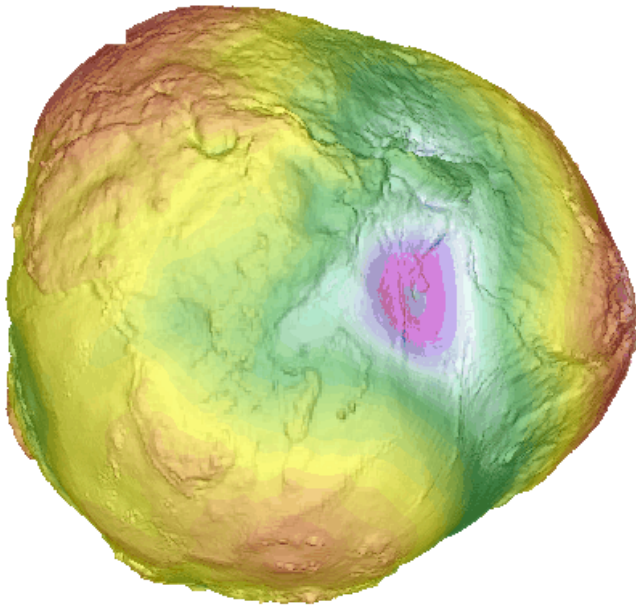


Abbildung 2: Geoid (stark überhöht dargestellt) als angenäherte Optimalform der Erdgestalt; als Basis für zweidimensionale Koordinatensysteme wird bei den Landesvermessungsämtern ein Ellipsoid verwendet (Quelle Geoforschungszentrum Potsdam)

Mittels kartographischer Projektionen (Kartennetzentwürfe) werden die Koordinaten der gekrümmten Erdoberfläche in die Ebene der Landeskartenwerke abgebildet (kartesische Koordinaten). Um die Verzerrungen zu minimieren, werden unterschiedlich breite Streifen (bzw. verschieden große Gebiete) jeweils für sich abgebildet.

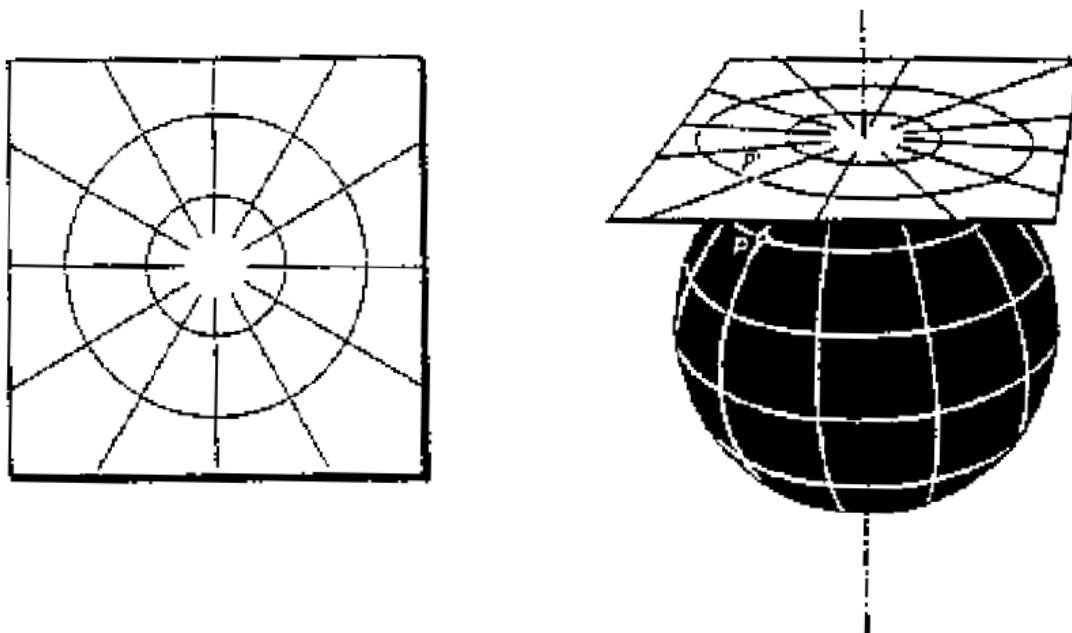


Abbildung 3: Azimutale Abbildungen

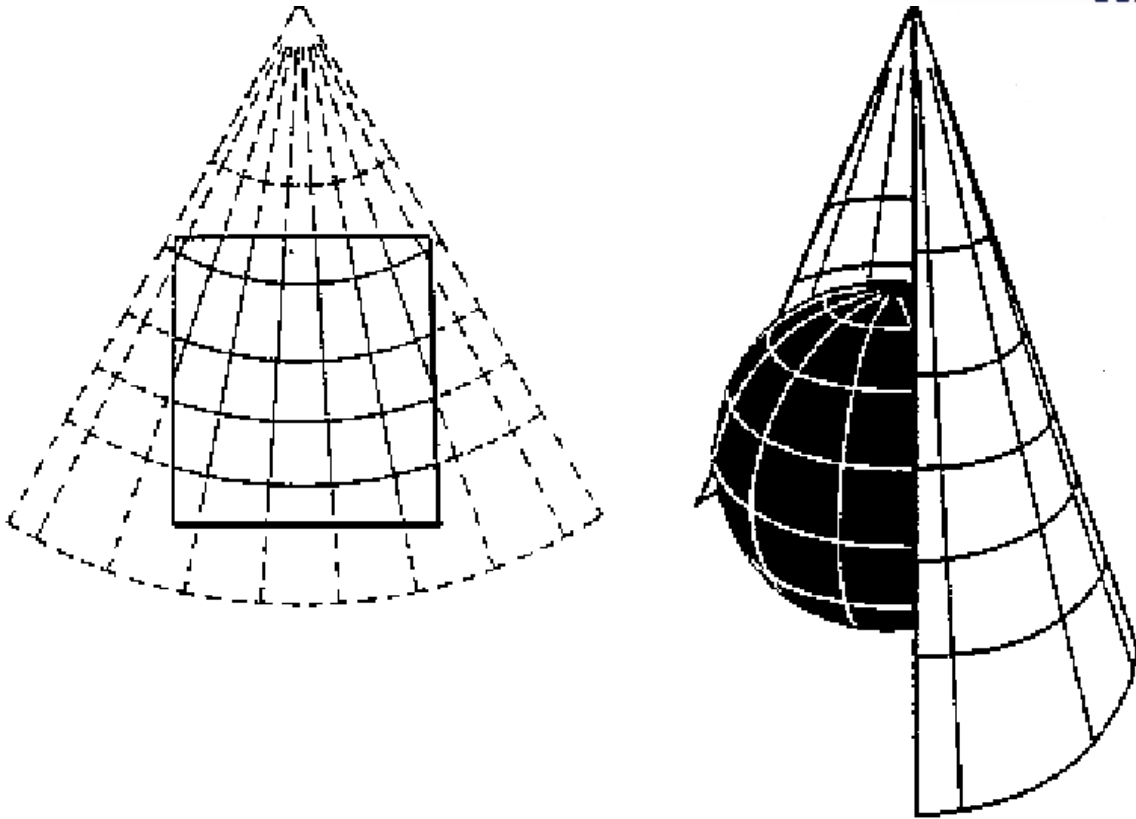


Abbildung 4: Konische Abbildungen

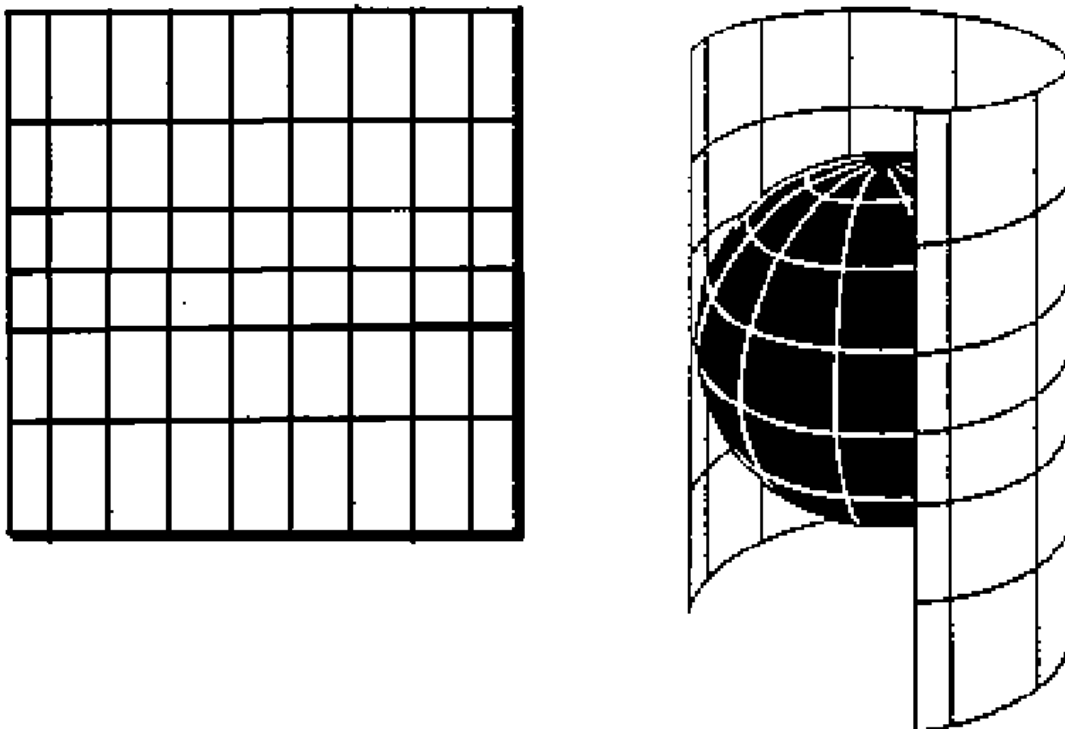


Abbildung 5: Zylindrische Abbildungen

Die Basis, um die Erdoberfläche als eine angenähert geschlossene kartographische Fläche abzubilden, bilden die Kartenabbildungen selbst. Hierbei kommen je nach Anforderungen, die an die Karte gestellt werden, verschiedene Abbildungen wie z.B. konische oder zylindrische Abbildungen zum Tragen. Eine weitere Basis bildet die zugrunde liegende Erdgestalt, die in den Abbildungen als Ellipsoidform eingesetzt wird.

Bei den Lagebezugssystemen der Landesvermessungsämter werden heute hauptsächlich die Ellipsoide Krassowski, Bessel, WGS84, ED50 und GRS80 verwendet. Das aus der jeweiligen Abbildung abgeleitete 2-dimensionale Koordinatensystem muss anschließend an das verwendete Rotationsellipsoid bestangepasst werden. Dazu wird ein geodätisches Datum verwendet. Das Datum kann als so genannter Ausgleichsparameterdatensatz verstanden werden (Datum = Lagerung eines lokalen Systems im geozentrisch gelagerten Globalsystem).

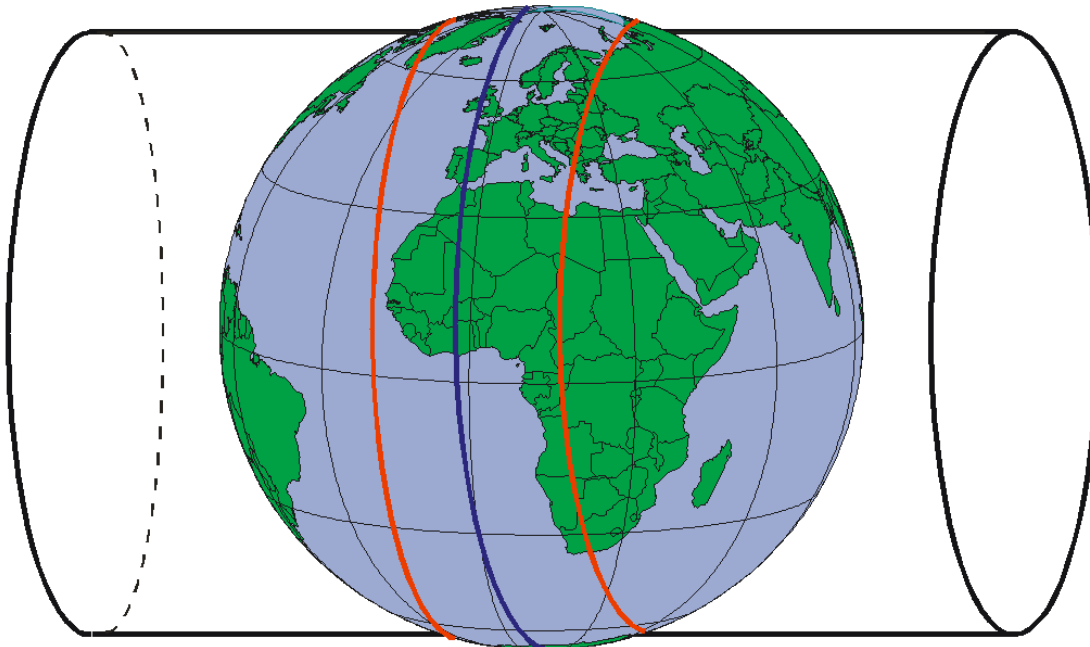


Abbildung 6: Basis des ETRS89 Koordinatensystems; Schnittzylinderprojektion mit dem Bezugsellipsoid GRS80

Je kleinräumiger eine Abbildung definiert ist, desto genauer ist die Angleichung an das jeweilige Rotationsellipsoid möglich. Als Parameter werden die große Halbachse, die Abplattung des Ellipsoids, die Achsdrehwinkel (so genannte Orientierungselemente), der Ortsvektor des Koordinatenursprunges und falls erforderlich eine Maßstabskorrektur verwendet.

Maßgeblich für Deutschland war bzw. ist die Gauß-Krüger-Projektion, eine Zylinderprojektion, die sich auf das Bessel-Ellipsoid bezieht. Gauß-Krüger-Koordinaten sind jeweils auf einen 3 Grad breiten Streifen bezogen, der sich längs des 3-ten, 6-ten, 9-ten 12-ten und 15-ten Meridians östlich Greenwich erstreckt. Die Koordinatenpaare (Hochwert und Rechtswert) ergeben sich aus der längentreuen Messung bis zum Äquator und einer lotrechten Messung zum Bezugsmeridian plus einer mittelmeridianabhängigen Vorgabe. Die Vorgabe leitet sich ab aus der Berechnung Mittelmeridian / 3 * 1 000 000 plus 500 000.

Für die neuen Bundesländer war bzw. ist das Ellipsoid von Krassowski die Grundlage. Außerdem galt ein anderer Nullpunkt für die Höhe. Die Zylinderprojektion, basierend auf dem Krassowski Ellipsoid, kam in 3° und 6° breiten Streifen zum Tragen (System 42/83). Zusätzlich kamen für das Kartenwerk AV die Systeme S40/83, RD83 und PD83 zur Anwendung. Das System ist ähnlich dem Gauß-Krüger-System der alten Bundesländer, doch gibt es an den Übergängen Spannungen, weil die Systeme auf einem anderen Datum beruhen. Das System in den alten Bundesländern beruht auf dem Deutschen Hauptdreiecksnetz und die Systeme der neuen Bundesländer auf dem Reichsdreiecksnetz.

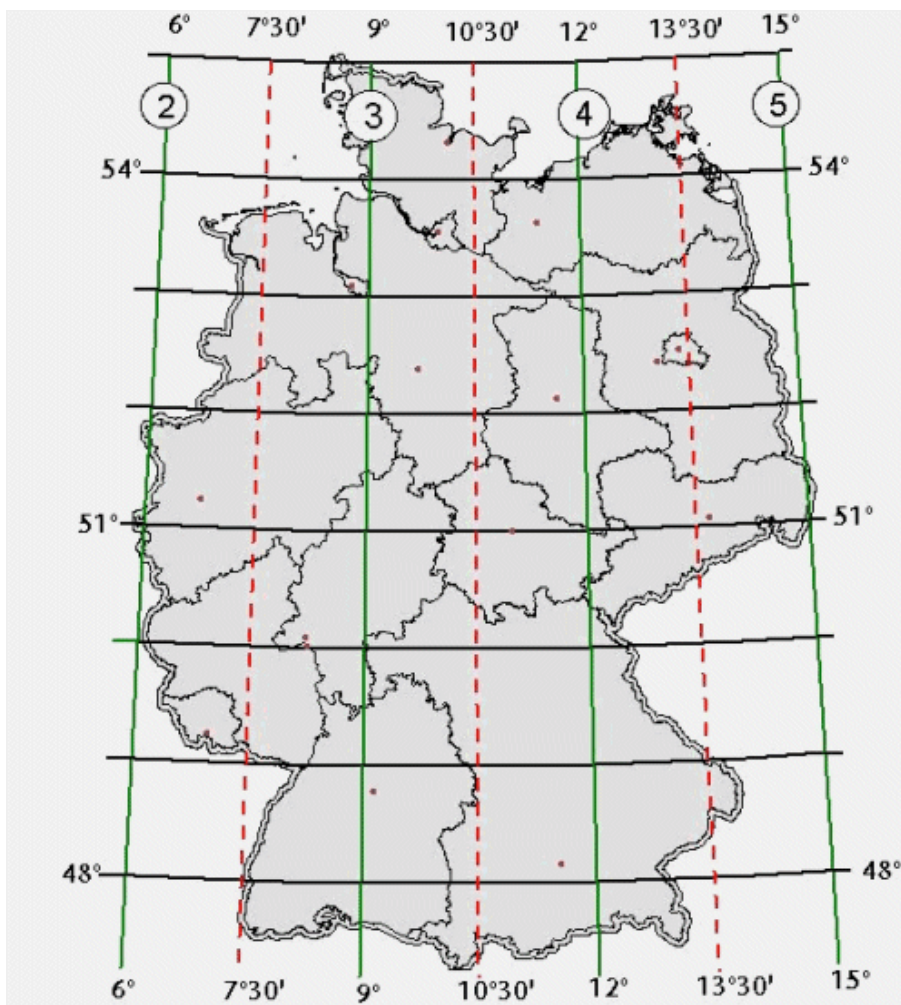


Abbildung 7: Gauß-Krüger-Koordinaten: (System DHDN für die alten Bundesländer, RDN für die neuen Bundesländer) Bezugsellipsoid Bessel mit 3° breiten Meridianstreifen, Bezugsmeridiane sind 6°, 9° und 12° östlich Greenwich

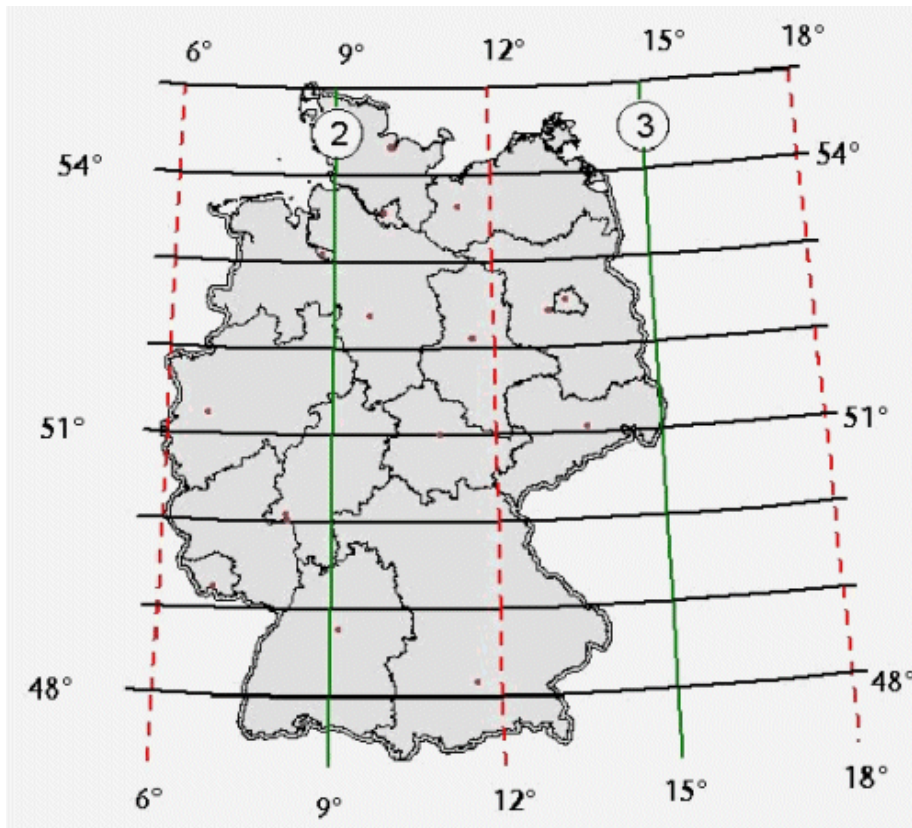


Abbildung 8: Gauß-Krüger-Koordinaten im System 42/83: Bezugsellipsoid Krassowski mit 6° breiten Meridianstreifen, Bezugsmeridiane sind 9° und 15° östlich Greenwich

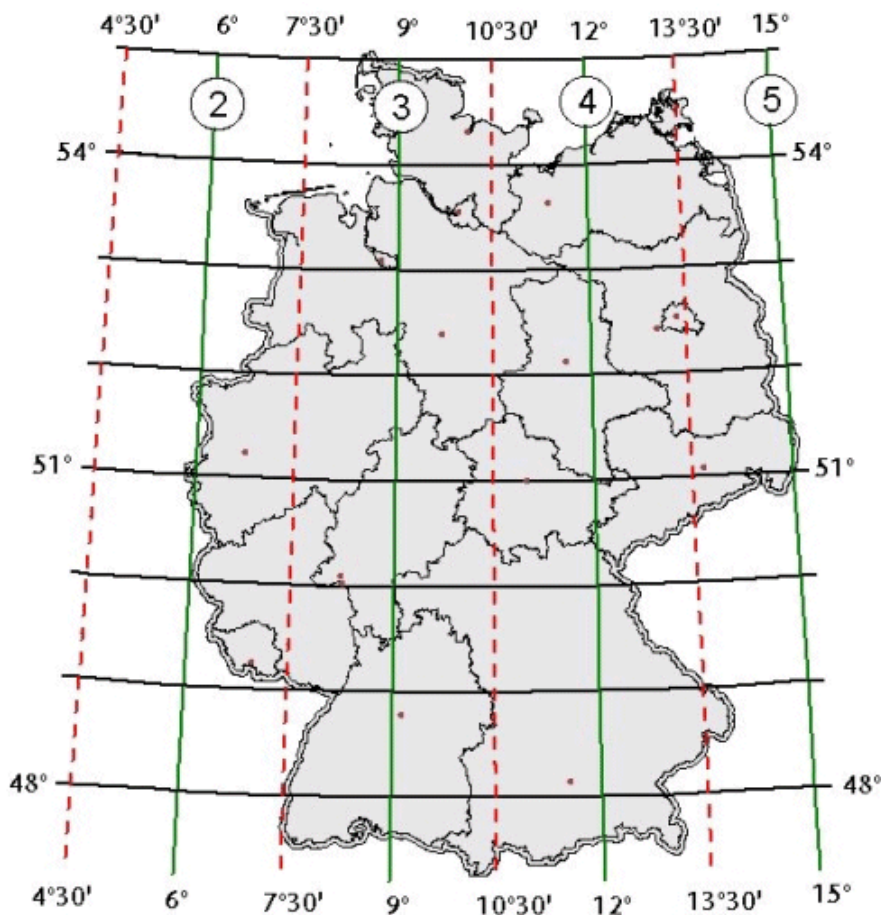


Abbildung 9: Gauß-Krüger Koordinaten im System 42/83: Bezugsellipsoid Krassowski mit 3° breiten Meridianstreifen, Bezugsmeridiane sind 6°, 9°, 12° und 15° östlich Greenwich

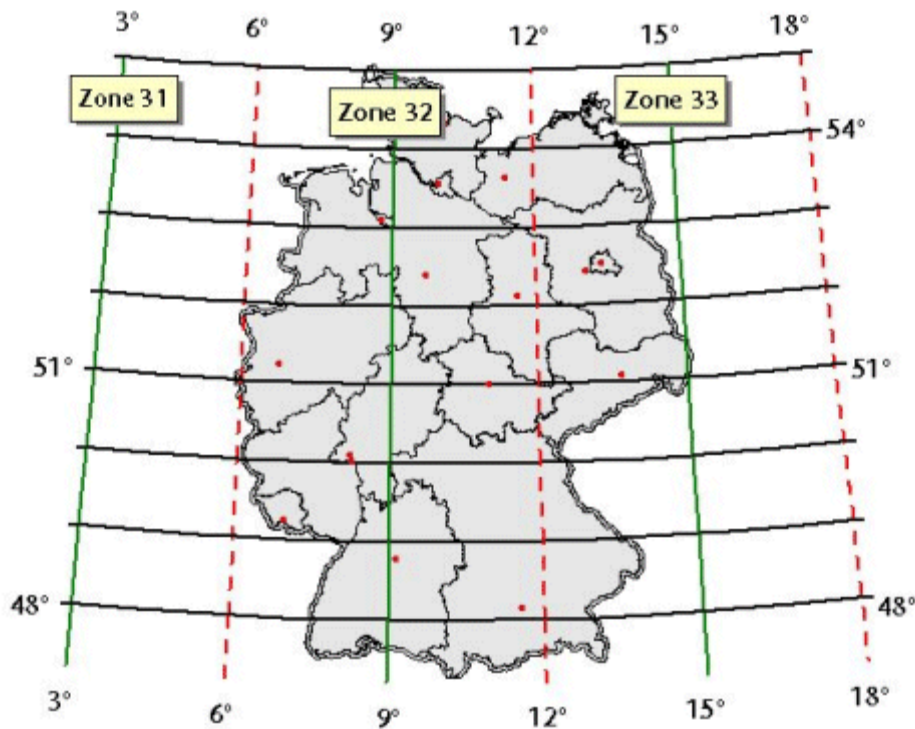


Abbildung 10: UTM Koordinaten im System ETRS 89: Bezugsellipsoid GRS80, Schnitzzylinderprojektion (vergl. Abb. 2), Mittelmeridian wird verjüngt dargestellt, Bezugsmeridiane 3°, 9° und 15° östlich Greenwich mit jeweils 6° breiten Zonen

Bezeichnung	Bezugsellipsoid	Zentralpunkt	Grundlegende Realisierung	Gauß-Krüger-Abbildung der Gebrauchsfestpunkte
System 42/83	Krassowski	Pulkowo	Einheitliches astronomisch-geodätisches Netz	3°- Meridianstreifensystem
System 42/83	Krassowski	Pulkowo	Einheitliches astronomisch-geodätisches Netz	6° - Meridianstreifensystem
System 40/83	Bessel	Rauenberg	Transformation des einheitlichen astronomisch-geodätischen Netzes	3° - Meridianstreifensystem
ETRS 89	GRS 80	ITRF89	Dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem mit Ursprung im Geozentrum	6° - Meridianstreifensystem

Übersicht über die zurzeit verwendeten Bezugssysteme der Lage in Brandenburg

In Berlin kommt das System Soldner zum Einsatz. Auf dem Bessel-Ellipsoiden wurde hierfür ein System sich rechtwinklig schneidender Parallelkoordinaten mit metrischen Einheiten eingeführt. Der Koordinatenursprung wurde hierbei passend für Berlin auf dem Müggelberg festgelegt. Um keine negativen Koordinaten zu erhalten, kommen hierbei auch verschiedene Systemausprägungen mit einem anderen Koordinatenursprung zum Zuge.

Im militärischen Bereich wird das UTM-System mit 6 Grad breiten Meridianstreifen verwendet.

Unsere Nachbarländer haben natürlich ebenfalls andere Koordinatensysteme, weil immer ein bestangepasstes Modell benötigt wird, um die Verzerrungen möglichst gering zu halten.

Um die Spannungen, die beim Zusammenführen der verschiedensten Koordinatensysteme entstehen, zu beseitigen wurde von den Landesvermessungsämtern beschlossen, ein einheitliches europaweit gültiges Koordinatensystem einzurichten. Das neue Koordinatensystem ist ein UTM-System, eine Zylinderprojektion basierend auf dem Ellipsoiden GRS80. Der Abbildungszyylinder berührt in diesem Fall nicht mehr den Ellipsoiden, sondern schneidet ihn. Daher wird der Mittelmeridian um den Faktor 0.9996 verjüngt dargestellt (Abbildung 6 und 10). Zum Tragen kommen hierbei 6° breite Meridianstreifensysteme, die als Zonen bezeichnet werden. Deutschland wird in den Zonen 31, 32 und 33 mit den Mittelmeridianen 3°, 9° und 15° überdeckt. Der daraus abgeleitete Rechtswert ist nicht mehr 7-, sondern 8-stellig. Um aber weiterhin mit 7-stelligen Rechtswerten zu arbeiten, wird die erste Stelle weggelassen.

Für die GIS-Benutzer ergibt sich nun die Schwierigkeit, die verschiedenen Projektionen dem GIS mitzuteilen und gegebenenfalls die raumbezogenen Daten umzurechnen. Hierzu arbeiten GIS in der Regel mit Hilfsprogrammen, in denen die Daten von einem Koordinatensystem in ein anderes umprojiziert werden. Da GIS in der Regel aber Allgemeingültigkeit besitzen und nicht mit allen örtlichen Gegebenheiten vertraut sind, besteht bei der Umsetzung die Gefahr, die Genauigkeit der originären Daten zu verlieren. Wie oben angeführt benötigen die GIS zum Umrechnen Angaben über den Ellipsoiden, die Abbildungsart und das Datum. Das Datum ist aber für das abdeckende Gebiet der jeweiligen Landesvermessung bestangepasst. Dieser bestangepasste Ausgleichsparameterdatensatz ist aber allgemeingültigen Projektionsprogrammen nicht bekannt. Hier werden nur Parameterdatensätze verwendet, die großräumigere Gebiete abdecken wie z. B. Gesamtdeutschland. Werden diese Parameterdatensätze verwendet, kann es zu Lageverschiebungen im Meterbereich kommen. Um hierbei eine amtliche Lagegenauigkeit zu erreichen, bieten die Landesvermessungsämter Umrechnungsprogramme an. Die Umrechnungsprogramme mit den lokalen Ausgleichsparametern haben eine Abweichung von maximal 3 cm. Der Nachteil dieser Umrechnungsprogramme ist, dass hierbei nur die reinen Koordinaten umgerechnet werden. Der GIS-Datensatz muss also erst in Koordinaten zerlegt, anschließend umgerechnet und dann wieder in einen GIS-Datensatz umgewandelt werden.

Um dieses zu vermeiden, hat die DHI-WASY GmbH in Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsamt Brandenburg und der Senatsverwaltung von Berlin die offiziellen amtlichen Umrechnungsroutinen in WGEO implementiert. Der Kunde ist jetzt in der Lage, seine GIS-Daten amtlich genau zwischen den bestehenden Koordinatensystemen umzurechnen.

In WGEO werden z. Z. die Koordinatensysteme von Berlin, Brandenburg und Sachsen-Anhalt unterstützt. Zudem ist die Projektionsroutine TROJA von Prof. Fröhlich, die ein Umrechnen zwischen den Systemen ED 50 (einheitliches europäisches Datum), 42/83, DHDN (Deutsches Hauptdreiecksnetz) und WGS 84 (für Zwecke der praktischen Anwendung entspricht dies dem System ETRS89) für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland erlaubt, implementiert.

Arbeitsablauf bei Projektionsübergang

Um eine bestmögliche Anpassung der digitalen Daten zu erreichen, werden bei einer Umrechnung zwischen zwei Projektionen die folgenden Schritte durchgeführt

1. Ellipsoidübergang z. B. von Bessel auf GRS80
2. Abbildungsänderung z. B. von Gauß-Krüger auf UTM
3. Datumsübergang z. B. vom Datum Rauenberg auf ITRF89

Die Änderung der Abbildungsvorschrift ist ein rein mathematischer Vorgang, während die Umrechnungen des Ellipsoid- und des Datumsüberganges ein Näherungsverfahren der Ausgleichsrechnung darstellen. Der Ellipsoid und Datumsübergang werden hierbei durch ein lokales Festpunktnetz abgeleitet.

Diese Umrechnung in ein anderes System wird von den GIS unterschiedlich gelöst. Hierbei kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz.

Graphische Umsetzung

Die Geometrien werden mit Hilfe von Passpunkten umgerechnet. Je nachdem, welche mathematischen Verfahren zum Tragen kommen, wird eine unterschiedliche Genauigkeit erreicht. In ArcInfo wäre hierfür die Transformation zu erwähnen. ArcView kann mit Hilfe von Zusatz-Scripten, die aus dem Internet heruntergeladen werden können, diese Funktionen erfüllen (z. B. Scripte auf der ESRI-Homepage).

Die Ergebnisse dieser Umrechnung sind aber nicht sehr genau, da die Abbildungseigenschaften, die Parameter des Ellipsoids und der Datumsübergang nicht mit berücksichtigt werden. Es findet nur eine Umrechnung auf Basis der gesetzten Referenzpunkte statt. Die geodätische Lage derjenigen Punkte, die zwischen den Referenzpunkten liegen, wird nur anhand von Transformationsroutinen errechnet. Die Abbildungseigenschaften gehen bei dieser Art der Umrechnung nicht mit ein.

Das Ergebnis einer Projektionsumrechnung über Transformationsgleichungen kann daher nur eine allgemeine graphische Übereinstimmung liefern.

Projektionen im mittelmaßstäbigen Bereich

Eine weitere Möglichkeit bieten die Werkzeuge eines GIS wie z. B. ArcGIS und ArcView zur Projektionsumrechnung.

Die Geometrien können hierbei für den mittelmaßstäbigen Bereich genau umgerechnet werden, da die Umrechnungsroutinen die unterschiedlichen Abbildungen berücksichtigen, die Datumsübergänge abbilden und den Ellipsoiden mit berücksichtigen.

Die Näherungsverfahren und Ausgleichsrechnungen, die sehr lokal durchgeführt werden, werden aber nicht mit einbezogen.

Diese Näherungsverfahren beruhen auf einem lokalen Festpunktnetz, das den Berechnungsverfahren Ausgleichsparameter liefert, die eine hochgenaue Projektion ermöglichen. Hierbei kommt der Nachteil der GIS zum Tragen, die eine weltweite Verbreitung besitzen. Lokale Ausgleichsverfahren werden in allgemein gehaltenen Projektionen, die GIS verwenden, nicht mit berücksichtigt. Aus diesem Grunde wird ein lokaler Ausgleich der Daten über die oben erwähnten Ausgleichsrechnungen und iterativen Näherungslösungen nicht durchgeführt.

Katastergenaue Projektionen

Wenn Daten katastergenau umgerechnet werden sollen, können die obigen genannten Verfahren bei einer Ellipsoid- und Abbildungsänderung nicht mehr verwendet werden. Tests mit den Umrechnungsmöglichkeiten ergaben, dass die Geometrien, die in den Systemen 40/83 Bessel oder 42/83 Krassowski vorlagen und in das System ETR89 umgerechnet wurden, eine Abweichung von 3 bis maximal 5 Metern aufwiesen.

Mit nachträglich durchgeführten Ausgleichsrechnungen über die Befehl Transform in ArcGIS oder ArcView können diese Abweichungen noch verringert werden, aber eine Genauigkeit unterhalb einem Meter ist mit diesen Verfahren sehr schwer zu erreichen.

Lösungsmöglichkeiten

Eine amtliche Umrechnung, die eine Katastergenauigkeit liefert, muss mit speziellen Programmen durchgeführt werden, die die lokalen Einflüsse mit berücksichtigen. Die lokalen Einflüsse werden mittels eines Festpunktnetzes in angepassten Näherungslösungen und mit Iterationsverfahren abgeleitet. Der Datumsübergang mit einer der Basisinformationen der Projektionen geht als Parameterdatensatz in die Berechnungsgrundlagen ein. Das Datum beschreibt daher die Lage der Abbildung und die Geometrie des Ellipsoiden, die lokal sehr stark schwanken können.

Diese Programme, die die lokalen Gegebenheiten berücksichtigen, werden von den jeweiligen Landesvermessungsämtern bereitgestellt.

Der Nachteil dieser Programme ist aber, dass sie nur einzelne ASCII-Koordinaten oder ASCII-Dateien umrechnen. Die vorliegenden GIS-Datenbestände müssen daher erst in das ASCII-Format umgesetzt, anschließend mit den Programmen projiziert und danach wieder in das Ausgangsformat umgesetzt werden. Dieses bedingt natürlich einen sehr hohen Aufwand des jeweiligen Nutzers.

WGEO

In Zusammenarbeit mit dem Senat von Berlin und dem Landesvermessungsamt Brandenburg hat die DHI-WASY GmbH Lösungen entwickelt, die amtlich genau Umrechnungen der Daten vornehmen, gleichzeitig aber GIS-Daten oberflächengeführt ein- und auslesen können.

Basis bildet das DHI-WASY-Tool WGEO, das speziell für die Georeferenzierung von Rasterdaten und das Projizieren von Raster- und Vektordaten entwickelt wurde. In WGEO sind die amtlichen Umrechnungsroutinen des Berliner Senats (u. a. auch für Soldner-Koordinaten und Koordinaten des Landes Sachsen-Anhalt) und des Landesvermessungsamtes Brandenburg integriert. Damit können z. B. die ETRS89 Transformationen von Shape-Dateien mit der WGEO-Transformation amtlich genau umgerechnet werden.