

3-D Referenzsysteme in Österreich

MGI
Gauß-Krüger-Abbildung

ETRS89
UTM-Abbildung

Homogenisierung

Transformation

EPSG-Codes

Historische Katastersysteme

INHALTSVERZEICHNIS

1. Das System MGI	4
1.1. Das geodätische Datum	4
1.2. Physische Realisierung des Systems durch Festpunkte	7
1.3. Punktkarte MGI	10
1.4. Die Gauß-Krüger-Abbildung	13
1.5. Bundesmeldenetz (BMN)	20
1.6. Blattschnitte in der Gauß-Krüger-Abbildung	21
2. Das System ETRS89.....	26
2.1. Einleitung	26
2.2. World Geodetic System 84 (WGS84)	26
2.3. International Terrestrial Reference System (ITRS).....	27
2.4. Das europäische Referenzsystem ETRS89.....	28
2.5. Realisierung von ETRS89 in Österreich	29
2.6. APOS - Austrian Positioning Service	32
2.7. Punktkarte ETRS89	38
2.8. Die universale transversale Mercatorprojektion UTM	42
2.9. Der Blattschnitt der UTM-Kartenprodukte	43
2.10. Die Lambert-Abbildung	46
2.11. Gegenüberstellung MGI \leftrightarrow ETRS89.....	47
3. Homogenisierung des Festpunktfeldes.....	48
3.1. Status Quo des österreichischen Festpunktfeldes	48
3.2. Inhomogenitäten	48
3.3. Das Homogenvektormodell	49
3.4. Möglichkeiten zur Ermittlung des Homogenvektors.....	50
3.5. Realisierungsstufen der Homogenisierung	52
3.6. Detektion von Bodenbewegungen	53
4. Transformation zwischen MGI und ETRS89.....	55

4.1.	7-Parameter-Transformation	55
4.2.	Flächenbasierte Transformation.....	57
5.	EPSG-Codes	60
6.	Historische Katastersysteme	62
7.	ANHANG.....	65
7.1.	Gleichungen der Gauß-Krüger- und der UTM-Abbildung	65
7.2.	Kartesische Koordinaten \leftrightarrow Ellipsoidische Koordinaten.....	70
8.	LITERATUR	71

1. Das System MGI

Das System MGI ist das gegenwärtige Koordinatensystem der österreichischen Landesvermessung. Sein Ursprung reicht bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück. MGI steht dabei für Militärgeographisches Institut, eine Vorgängerinstitution des BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen), welches damals die Grundlagen für dieses Koordinatensystem legte.

1.1. Das geodätische Datum

Festgelegt wird ein Landesvermessungssystem über das geodätische Datum. Darunter versteht man die Festlegung einer Bezugsfläche, die Lagerung und Orientierung dieser Fläche im Raum, sowie den Maßstab des Systems.

- Bezugsfläche
- Lagerung
- Orientierung
- Maßstab

1.1.1. Bezugsfläche

Um verschiedene Punkte der Erdoberfläche auf ein einheitliches System beziehen zu können, bedarf es einer geeigneten Bezugsfläche. Für die Annäherung der Erdgestalt können, abhängig von der Größe des darzustellenden Gebietes, verschiedene geometrische Flächen herangezogen werden:

- die Ebene
- die Kugel
- das Ellipsoid

Eine Ebene als Bezugsfläche lässt sich wegen der gekrümmten Erdfigur nur für einen sehr begrenzten Bereich einsetzen. Dieser Bereich ergibt sich dadurch, dass die durch die Erdkrümmung verursachten Verzerrungen kleiner als die bei einer Vermessung zu erwartenden Messfehler bleiben sollen. Für lokale Detailvermessungen ist daher die Annahme einer ebenen Bezugsfläche oftmals ausreichend, für größere Gebiete werden die Verzerrungen bald zu groß. Eine Kugel passt sich der Erdkrümmung bereits wesentlich besser an und wäre als Bezugsfläche für eine Region oder ein Bundesland einsetzbar. Auch hier gilt für die Größe der betreffenden Region, dass die durch die tatsächliche Erdkrümmung hervorgerufenen Verzerrungen die zu erwartenden Messfehler nicht übersteigen sollen.

Für die bestmögliche Annäherung eines ganzen Staates wie Österreich ist das Rotationsellipsoid am Besten geeignet. Dessen geometrische Figur ist eindeutig bestimmt, wenn man die große und kleine Halbachse, bzw. nur eine der beiden Halbachsen und die Abplattung des Ellipsoids, kennt.

Bestimmung des Erdellipsoide

Die Bestimmung des Ellipsoide erfolgte in der Vergangenheit durch so genannte Gradmessungen. Dabei wurden die Längen einzelner Meridianbögen über Dreiecksnetzen bestimmt, und die geographischen Positionen der Bogenendpunkte durch astronomische Ortsbestimmung ermittelt. Daraus lässt sich für polnahe Bögen die kleine Halbachse b und aus äquatornahen Bögen die große Halbachse a ableiten (siehe Abbildung 1).

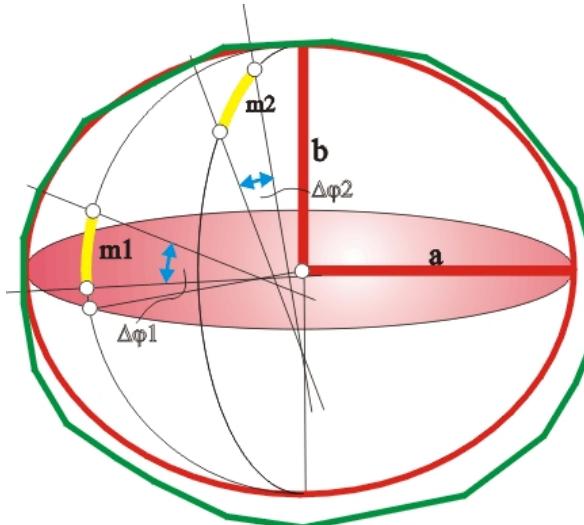


Abbildung 1: Bestimmung des Erdellipsoide

$$a = m_1 \cdot \frac{\rho}{\Delta\varphi_1}, \quad b = m_2 \cdot \frac{\rho}{\Delta\varphi_2}$$

Der österreichischen Landesvermessung liegt das Bessel-Ellipsoid zugrunde. Es wurde im Jahr 1841 von Friedrich Wilhelm Bessel, einem bedeutenden Mathematiker und Astronomen, bestimmt. Für die Berechnungen wurden dabei insgesamt 10 polnahe und äquatornahe Meridianbögen herangezogen.

Große Halbachse	a	6 377 397,155 m
Kleine Halbachse	b	6 356 078,963 m
Abplattung	f	1 / 299,1528128
1. Exzentrizität	e^2	0.00667 43722
2. Exzentrizität	e'^2	0.00671 92188

Tabelle 1: Parameter des Bessel-Ellipsoid 1841

1.1.2. Lagerung

Zur Lagerung des Ellipsoide wird die geographische Position eines ausgewählten Punktes, auch als Fundamentalpunkt bezeichnet, durch astronomische Ortsbestimmung ermittelt und auf das Ellipsoid übernommen. Für Österreich erfolgte die Lagerung des Bessel-Ellipsoide im Jahre 1892 auf den Fundamentalpunkt Hermannskogel (Habsburgwarte, Festpunktsbezeichnung T10-40).

1.1.3. Orientierung

Darunter versteht man das Parallelstellen der Rotationsachse des Ellipsoide zur Rotationsachse der Erde. Dazu ist es notwendig am Fundamentalpunkt das astronomisches Azimut zu mindestens einem irdischen Punkt zu kennen. Als astronomisches Azimut bezeichnet man dabei den Winkel zwischen astronomisch Nord (entspricht ungefähr Polarstern) und der Richtung zu einem irdischen Ziel. Für das System MGI wurde die Messung eines astronomischen Azimuts zum Punkt Hundsheimer Berg vorgenommen.

1.1.4. Maßstab

Die Realisierung des Landessystems mit weiteren Punkten erfolgte über Winkelmessung in Dreiecksnetzen. Da diese ausschließlich die Form, aber nicht die Größe des Dreiecks bestimmen, benötigte man auch Strecken zur Bestimmung des Maßstabs.

In ebenem Gebiet wurde eine kurze Strecke von wenigen Kilometern (Basen) über sehr genaue Messverfahren mittels Invardraht bestimmt und dieser Maßstab über Winkelmessung in Dreiecken (Basisentwicklungsnetz) auf eine Dreieckseite 1. Ordnung übertragen. Im gegenwärtigen System MGI ist die 1862 bei Josefstadt in Böhmen gemessene Basis maßstabsbestimmend.

Bezugsfläche	Bessel-Ellipsoid 1841
Lagerung	Fundamentalpunkt Hermannskogel geogr. Breite $48^{\circ} 16' 15,29''$ geogr. Länge $33^{\circ} 57' 41,06''$
Orientierung	astronomisches Azimut vom Hermannskogel zum Hundsheimer Berg $107^{\circ} 31' 41,70''$
Maßstab	Basis bei Josefstadt in Böhmen

Tabelle 2: Geodätisches Datum MGI

1.2. Physische Realisierung des Systems durch Festpunkte

Die Realisierung des Landesvermessungssystems MGI erfolgte durch stabilisierte Punkte (Festpunkte) welche durch Messungen in das System eingebunden wurden. Das heute bestehende Festpunktfeld ist historisch gewachsen und entstand in mehreren Schritten, den so genannten Ordnungen der Festpunkte. Man spricht von Festpunkten erster bis sechster Ordnung.

Festpunkte 1. Ordnung

Die Messungen zur Punktbestimmung erfolgten grundsätzlich in einem so genannten Triangulationsnetzwerk. War die Länge einer Dreiecksseite und die geographischen Positionen von 2 Punkten bekannt, konnten durch reine Winkelmessungen weitere Punkte bestimmt werden (Netzausbreitung). Mit der Methode der Netzausbreitung wurde ein möglichst regelmäßiges Netz von Punkten in ca. 35 km Abständen angelegt und durch reine Richtungsbeobachtungen bestimmt.

Es wurde dabei nicht nur auf möglichst gleichmäßige Verteilung der Punkte geachtet, sondern auch darauf, dass in jedem Fall Sichtverbindung zu allen umliegenden Punkten bestand. Um die für die Richtungsmessungen notwendigen Sichten gewährleisten zu können wurden die Punkte an möglichst hohen und exponierten Lagen (Bergland) vermarktet. In eher flachen Gebieten wurden für die Richtungsmessungen eigene Hochstände über den Festpunkten errichtet, um alle notwendigen Richtungen messen zu können.

Die Berechnung der geographischen Koordinaten der Punkte 1. Ordnung wurde mit den Formeln der sphärischen Trigonometrie auf dem Bezugsellipsoid (Bessel) durchgeführt und war mit den Mitteln der damaligen Zeit sehr aufwendig.

Festpunkte 2. und 3. Ordnung

Diese Punkte wurden in größeren Netzverbänden durch Richtungsbeobachtungen in das Netz der 1. Ordnung eingeschaltet, der mittlere Punktabstand beträgt ca. 11-18 km. Aufgrund der damalig begrenzten Auswertemöglichkeiten (keine EDV) wurden die ellipsoidischen Koordinaten der Punkte 1. Ordnung über die Gauß-Krüger-Abbildung in die Ebene projiziert und die Koordinaten der abgeleiteten Punkte mit den Formeln der ebenen Trigonometrie berechnet.

Festpunkte 4. Ordnung

Lagen die Punkte bis zur 3. Ordnung noch weitgehend an exponierten Lagen (Gipfelflur), so ist in der 4. Ordnung der Einfluss der Topographie bereits deutlich spürbar. Die Anlage eines regelmäßigen Netzwerkes von Festpunkten war in dieser Ordnung aufgrund von Sichthindernissen oft nicht mehr möglich.

Festpunkte 5. Ordnung

Für die Punkte der 5. Ordnung gilt ähnliches wie für die der 4. Ordnung. Das Netz schmiegt sich immer mehr dem kupierten Gelände an, es wurden daher auch steilere Visuren benötigt. Dies wiederum hatte größere systematische Schwerefeldeinflüsse (Lotabweichung) auf die Strecken- und Winkelmessung zur Folge.

Festpunkte 6. Ordnung

In der Katastervermessung ist seit dem Vermessungsgesetz (VermG 1969) ein engmaschiges Festpunktfeld gefordert. Deshalb wurde es notwendig, Punkte mit einem mittleren Punktabstand von ca. 300m einzuschalten - die so genannten Einschaltpunkte. Diese Punkte der 6. Ordnung werden von den Vermessungsämtern bestimmt und betreut.

Ordnung	mittl. Entfernung [km]	Anzahl
1.	35	122
2.	18	409
3.	11	1.527
4.	4	8.601
5.	1	46.810
6.(EP)	0,3	178.268

Tabelle 3: Anzahl der Festpunkte im MGI (Stand 05/2015)

1.2.1. Stabilisierungsarten der Festpunkte

Zahlreiche Stabilisierungsformen werden zur dauerhaften Kennzeichnung von Festpunkten eingesetzt. Aus der nachfolgenden Abbildung sind dabei die gängigsten Formen ersichtlich.

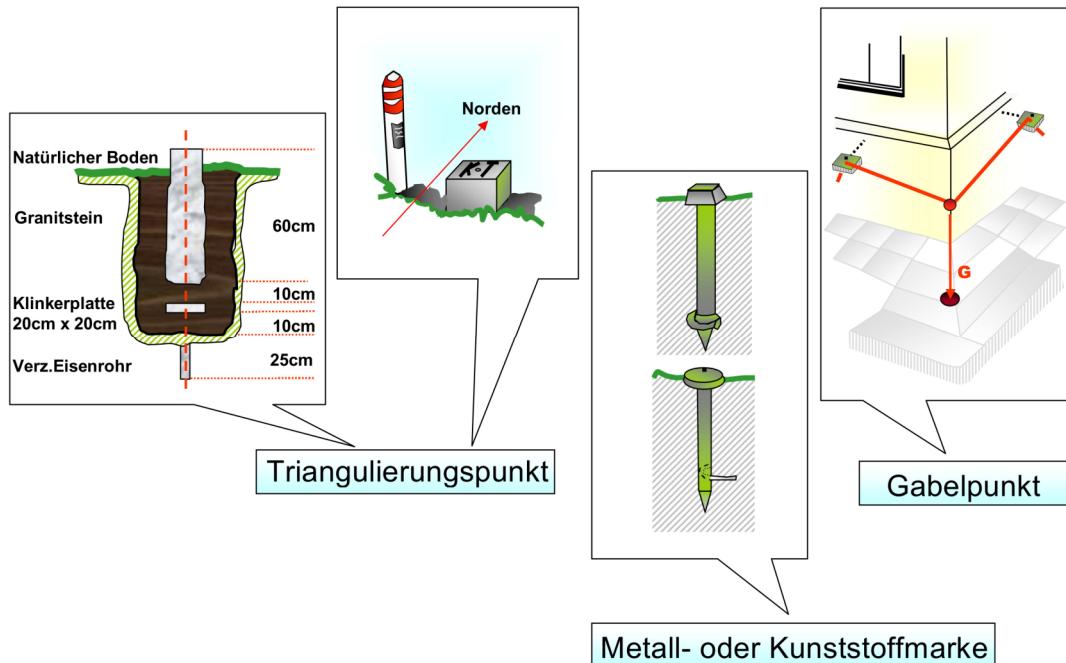


Abbildung 2: gängige Stabilisierungsarten

Während bei Triangulierungspunkten die Stabilisierung mit Stein und zentrischer unterirdischer Versicherung mit einer Klinkerplatte und einem Eisenrohr bei nahezu allen Punkten vorherrscht, ist dies bei den Einschaltpunkten (Punkte 6.Ordnung) eine Metall- oder Kunststoffmarke. In verbautem Gebiet wird bei beiden Punktarten die indirekte Stabilisierung mittels Gabelpunkt durch zwei in der Mauer eingelassene Ringbolzen bevorzugt.

1.2.2. Signalisierungsarten der Festpunkte

Punkte für Messungen sichtbar zu machen wird als Signalisierung bezeichnet. Diese sind entweder vorübergehend für die Dauer von Messungen (Stangensignal) oder dauerhaft für Folgearbeiten (Scheibensignal, Kirchenknauf) ausgeführt. Aus der nachfolgenden Abbildung sind dabei die gängigsten Formen ersichtlich.

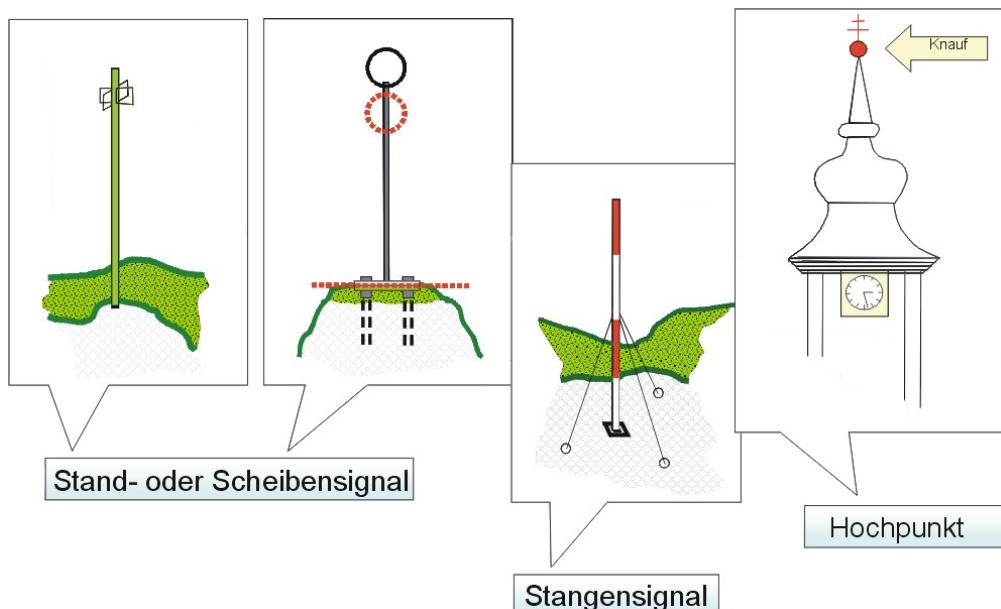
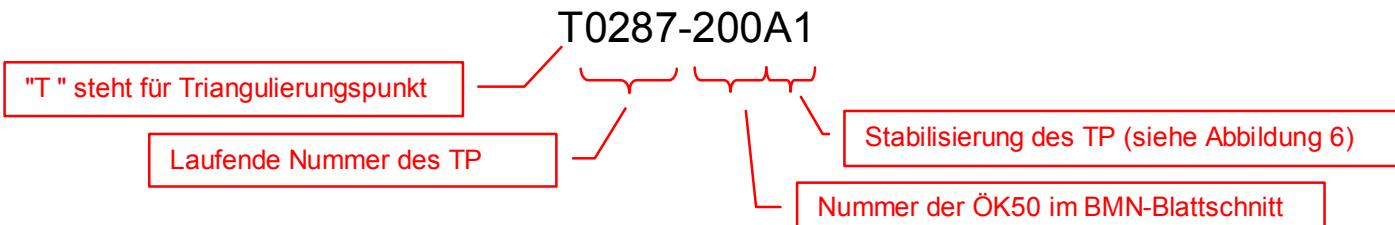


Abbildung 3: gängige Signalisierungsarten

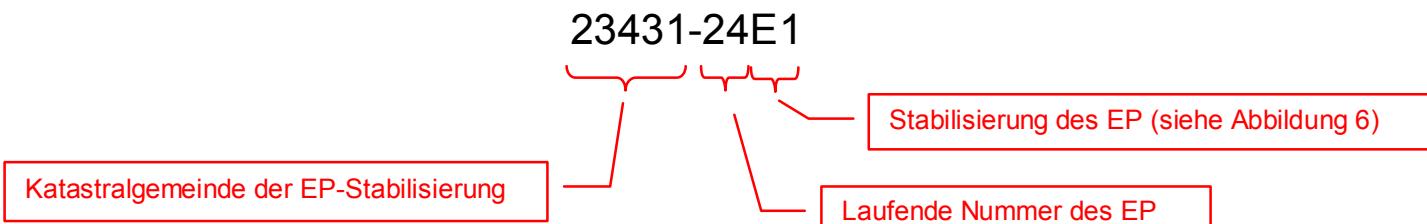
1.2.3. Bezeichnung der Festpunkte

Die Punktbezeichnung der Festpunkte der 1. bis 5. Ordnung (Triangulierungspunkte TP) und die der Festpunkte 6. Ordnung (Einschaltpunkte EP) sind hier anhand von zwei Beispielen erläutert.

Beispiel Triangulierungspunkt (TP):



Beispiel Einschaltpunkt (EP):



1.3. Punktkarte MGI

Die Punktkarte ist als Produkt des BEV für jeden Festpunkt erhältlich. Diese beinhaltet alle wesentlichen Daten eines Festpunktes wie Koordinaten aller Stabilisierungen, Datum der letzten Begehung, Fernziele und eine Punktskizze zum leichteren Auffinden des Punktes in der Natur (siehe dazu Abbildung 4). Ein Festpunkt kann auch mehr als eine Stabilisierung aufweisen. Die einzelnen Stabilisierungen eines Festpunktes werden nach Abbildung 6 kodiert. Dem Kennzeichen wird noch eine laufende Kennziffer, aufsteigend von 1 beginnend, beigelegt (z.B. A1, A2, E1).

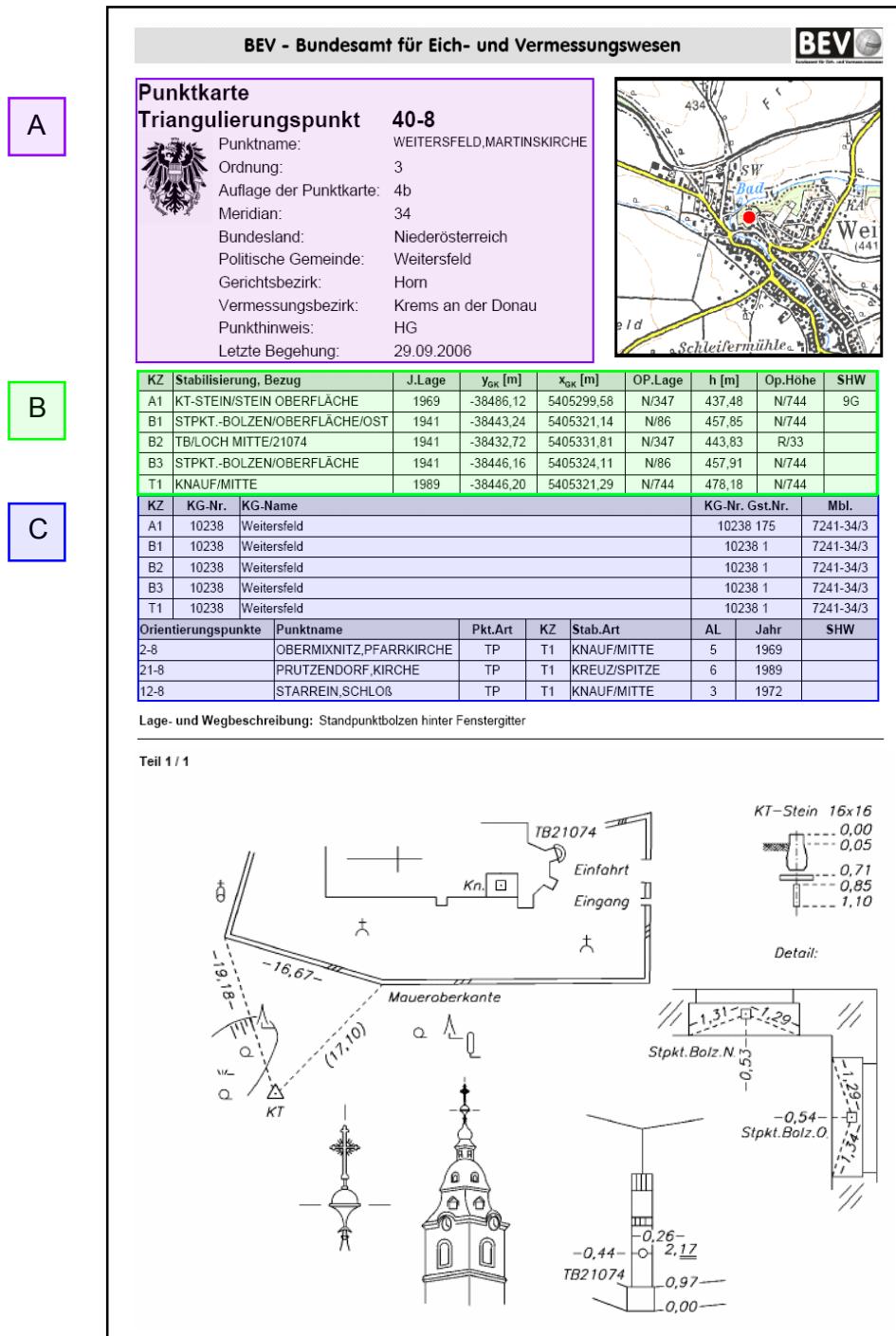


Abbildung 4: Punktkarte MGI

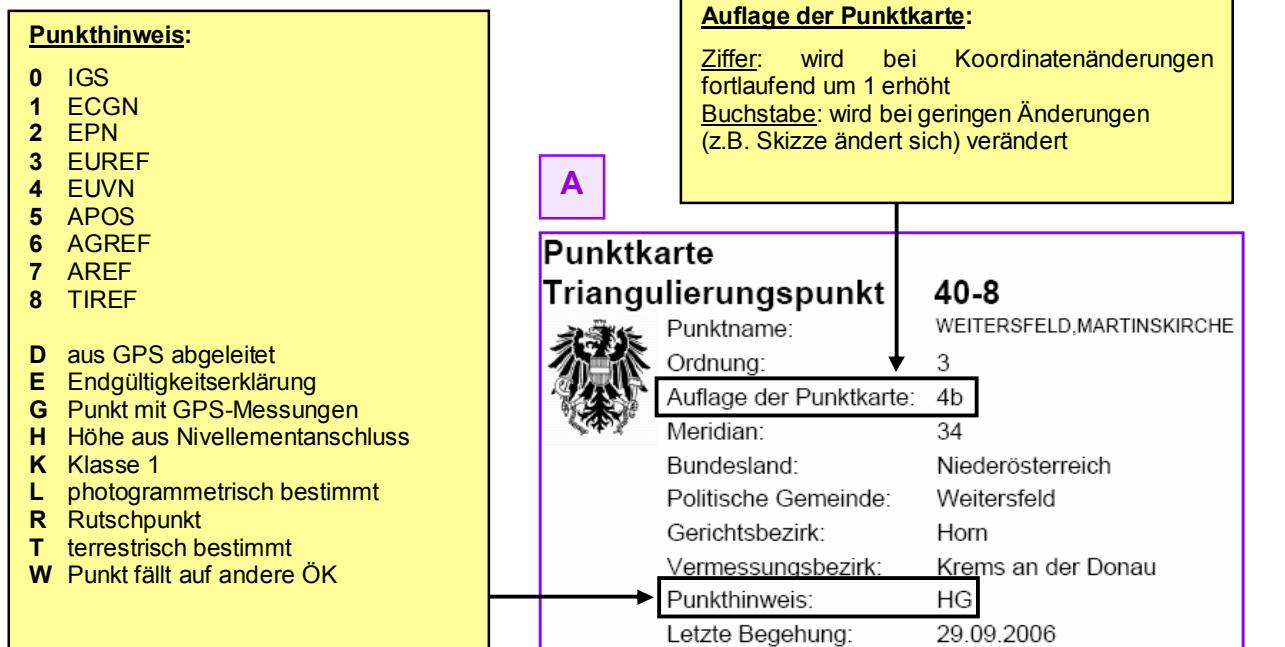


Abbildung 5: Punktkarte MGI – Detail A

Kennzeichen (KZ):

A Stein (KT-, TP-, EP-Stein, Nivellementstein) B Bolzen (KT-Bolzen, Standpunktbolzen, Tumbolzen) C Rohr (Eisenrohr, Rohr mit Schutzring) D Platte (Klinker-, Stein-, Betonplatte) E EP-Marke (Metall-, Kunststoffmarke) F Marke im Boden (Kreuz im Fels, im Beton,...) G Indirekte Stabilisierung (Gabelpunkte u. a.) H Höhenbolzen, Höhenmarken, Kugelbolzen J Eisensignal, Scheibensignal K Kreuz (Gipfel-, Feldkreuz, gemauerter Bildstock, Kreuz Spitze, Fußpunkt, Querbalken) L Blitzableiter (Fußpunkt, Spitze, Dachständer, Fernsehantenne)	M Mast (Fahnenmast, Leitungsmast aus Holz, Tragmast, Sendemast) N Giebel, Dachreiter P Pyramide Q Standsignal R Ringbolzen S Schlot, Kamin T Turm (Turm Süd, Turm Nord, Turmziele: Dachspitze, Kreuz Fußpunkt, Querbalken, Spitze, Knauf Mitte) U Stabilisierung exzentrisch neu stabilisiert V Stabilisierung oder Hochziel verloren W Warte
---	--

Einstellige Zahl = laufende Nummer

Jahr der Stabilisierung:

bei Bodenpunkten: Stabilisierungsjahr
bei Hochpunkten: Einmessungsjahr

B	Gauß-Krüger Koordinaten (GK)	Operat in dem die Lagekoordinaten bestimmt wurden	Operat in dem die Höhe bestimmt wurde					
KZ	Stabilisierung, Bezug	J.Lage	y_{GK} [m]	x_{GK} [m]	OP.Lage	h [m]	Op.Höhe	SHW
A1	KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE	1969	-38486,12	5405299,58	N/347	437,48	N/744	9G
B1	STPKT.-BOLZEN/OBERFLÄCHE/OST	1941	-38443,24	5405321,14	N/86	457,85	N/744	
B2	TB/LOCH MITTE/21074	1941	-38432,72	5405331,81	N/347	443,83	R/33	
B3	STPKT.-BOLZEN/OBERFLÄCHE	1941	-38446,16	5405324,11	N/86	457,91	N/744	
T1	KNAUF/MITTE	1989	-38446,20	5405321,29	N/744	478,18	N/744	

Abbildung 6: Punktkarte MGI – Detail B

Mbl....Mappenblatt auf dem sich die Stabilisierung befindet

KG-Nr. Gst.Nr....Katastralgemeindenummer und Grundstücksnummer auf dem sich die Stabilisierung befindet

C

KZ	KG-Nr.	KG-Name			KG-Nr. Gst.Nr.	Mbl.	
A1	10238	Weitersfeld			10238 175	7241-34/3	
Orientierungspunkte	Punktname	Pkt.Art	KZ	Stab.Art	AL	Jahr	SHW
2-8	OBERMIXNITZ,PFARRKIRCHE	TP	T1	KNAUF/MITTE	5	1969	
21-8	PRUTZENDORF,KIRCHE	TP	T1	KREUZ/SPITZE	6	1989	
12-8	STARREIN,SCHLOß	TP	T1	KNAUF/MITTE	3	1972	

AL....Auflage der Punktkarte

Jahr...Jahr der Stabilisierung

Stabilisierungshinweis (SHW):

- 4** Hochziel nur für Orientierung
- 5** Höhe vorläufig
- 6** Koordinaten vorläufig (PÜK)
- 8** OEST17 (=Operatsbezeichnung) 1.Ordnung
- 9** OEST17 2.-3.Ordnung
- G** Stabilisierung GPS tauglich
- R** Stabilisierung mit Bodenbewegung
- W** ID-Wechsel auf andere Stabilisierung
- Z** Zentrisch neu stabilisiert

Abbildung 7: Punktkarte MGI – Detail C

1.4. Die Gauß-Krüger-Abbildung

Um einerseits die Natur in der Ebene abbilden, und andererseits Berechnungen mit den einfacheren Formeln der ebenen Trigonometrie durchführen zu können, bedarf es einer Abbildungsvorschrift vom Ellipsoid in die Ebene. Da die Punktbestimmung in früherer Zeit fast ausschließlich auf Winkelmessungen beruhte, wählte man dazu eine winkeltreue Abbildung.

Die Gauß-Krüger-Abbildung ist eine transversale (querachsige) Zylinderprojektion. Dabei werden Punkte eines die Erdfigur beschreibenden Ellipsoids auf einen elliptischen Zylinder abgebildet, der das Ellipsoid entlang eines Meridians, auch als Bezugsmeridian bezeichnet, berührt.

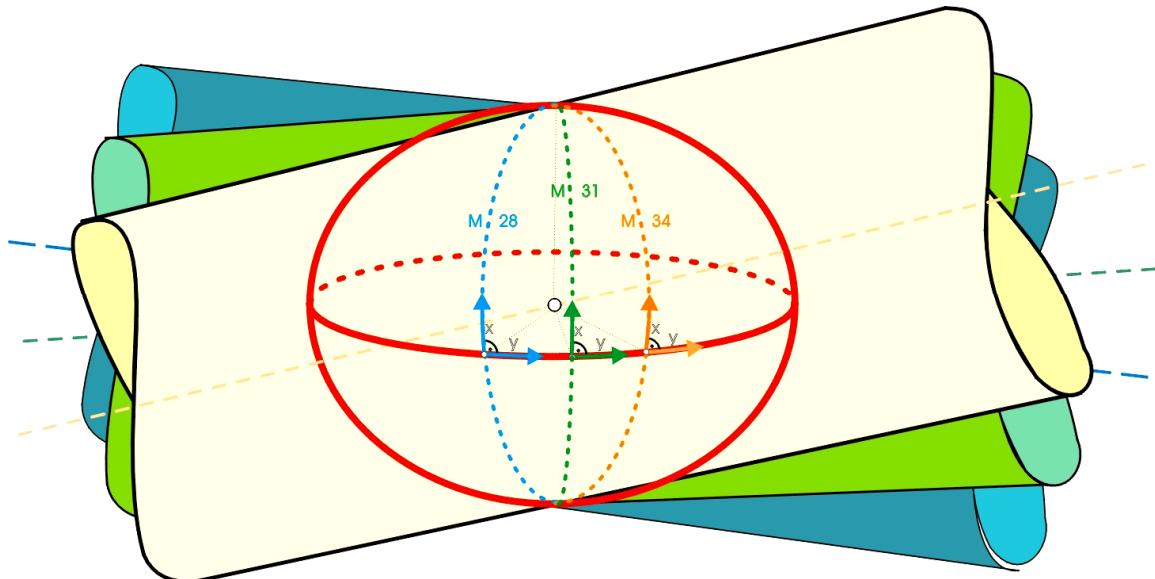


Abbildung 8: Gauß-Krüger-Abbildung

Die Abbildung erfolgt, wie schon einleitend gefordert, winkeltreu, d.h. der Winkel am Ellipsoid erscheint auch in der Projektion mit dem gleichen Wert. Längentreu wird nur der Berührmeridian abgebildet. Um die Streckenverzerrung δl , welche mit dem Quadrat des Abstands vom Bezugsmeridian zunimmt (siehe Formel), gering zu halten, wird jeweils nur ein schmaler Streifen beiderseits des Bezugsmeridians abgebildet. Die Abbildung erfolgt jeweils $1,5^\circ$ (das entspricht ca. 112,2 km) westlich und östlich eines Bezugsmeridians, die Streckenverzerrung in diesem Abstand beträgt bereits etwa 15cm pro Kilometer.

$$\delta l = \frac{y_M^2}{2R^2}$$

y_M ist der mittlere Meridianabstand der Strecke, R der mittlere Krümmungsradius.

1.4.1. Bezugsmeridian Ferro

Ferro (heute El Hierro) ist die westlichste der Kanarischen Inseln im Atlantischen Ozean und wird seit der Antike als Bezugsmeridian verwendet. Zuletzt wurde seine Lage mit genau 20° westlich der Sternwarte Paris festgelegt. Da die Seemacht Großbritannien bei der Herstellung von Seekarten führend war, setzte sich schließlich bei Seekarten der Nullmeridian Greenwich durch. Erst 1884 wurde der Bezugspunkt Greenwich international als Empfehlung vereinbart, verbindlich wurde er dann auf der internationalen Weltkartenkonferenz 1913.

Während sich Deutschland im Zuge der Umstellung auf das Gauß-Krüger-System 1923 auf den Bezugsmeridian Greenwich bezog, behielt Österreich den Bezugsmeridian Ferro bei. Beim Umstieg auf Greenwich wären vier Meridianstreifensysteme notwendig gewesen, durch den Bezug zu Ferro kommt man mit insgesamt drei Meridianstreifensystemen (28° , 31° und 34° östl. von Ferro) für ganz Österreich aus.

Zur eindeutigen Zuordnung der Lage eines Punktes ist deshalb zusätzlich zu den Koordinaten auch die Angabe des Meridianstreifens (M28, M31 oder M34) erforderlich.
 Die geographische Länge bezogen auf Ferro entspricht der geographischen Länge bezogen auf Greenwich zuzüglich $17^{\circ}40'$ Längendifferenz.

1.4.2. Anwendung in der österreichischen Landesvermessung

Gemäß Vermessungsgesetz (VermG) und zugehöriger Vermessungsverordnung (VermV) ist das System MGI mit der Abbildung Gauß-Krüger für alle Belange des Katasters (Festpunkte, Katastralmappe, Vermessungsurkunden, etc.) anzuwenden.

Vor der Umstellung der Landkartenwerke des BEV auf UTM (siehe Kapitel 2.8 bis 2.9) war die Gauß-Krüger-Abbildung auch die Grundlage der Kartendarstellung des BEV.

1.4.3. Koordinatendarstellung

Die senkrechte Achse (Abszissenachse) ist das Abbild des jeweiligen Bezugsmeridians und wird mit x bezeichnet. Die waagrechte y-Achse (Ordinatenachse) ist das Abbild des Äquators. Beim Anschreiben der Koordinaten wird in der Regel zuerst der y-Wert und dann der x-Wert angegeben.

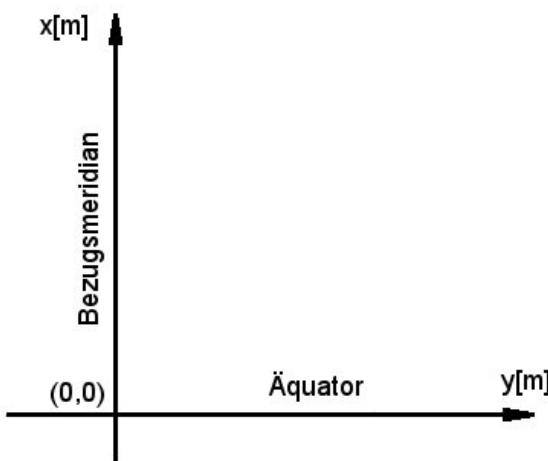


Abbildung 9: Koordinatenachsen der Gauß-Krüger-Abbildung

Der entlang der Abszisse gemessene Abstand vom Äquator liegt für sämtliche x-Werte innerhalb des österreichischen Staatsgebiets über 5.000.000 Meter. Deshalb werden oft bei der Koordinatenangabe die 5 Mio. nicht angeschrieben und der x-Wert nur mit sechs Stellen vor dem Komma angegeben.

1.4.4. Zuordnung der Bundesländer zu den Meridianstreifen

Die Zuordnung der Gebiete zu den Meridianstreifen erfolgte möglichst entlang von Bundesländergrenzen. Da die Streifenbreite eines Meridianstreifensystems etwa $1,5^\circ$ nach Ost und West betragen soll (siehe Kapitel 1.4), war die bundesländerweise Zuordnung nicht immer möglich. In diesem Fall wurde die Gebietstrennung entlang von Katastralgemeindegrenzen durchgeführt. Entlang welcher Katastralgemeinden (KG) die Grenzlinie zwischen den Meridianstreifen verläuft, zeigen die folgenden Abbildungen.

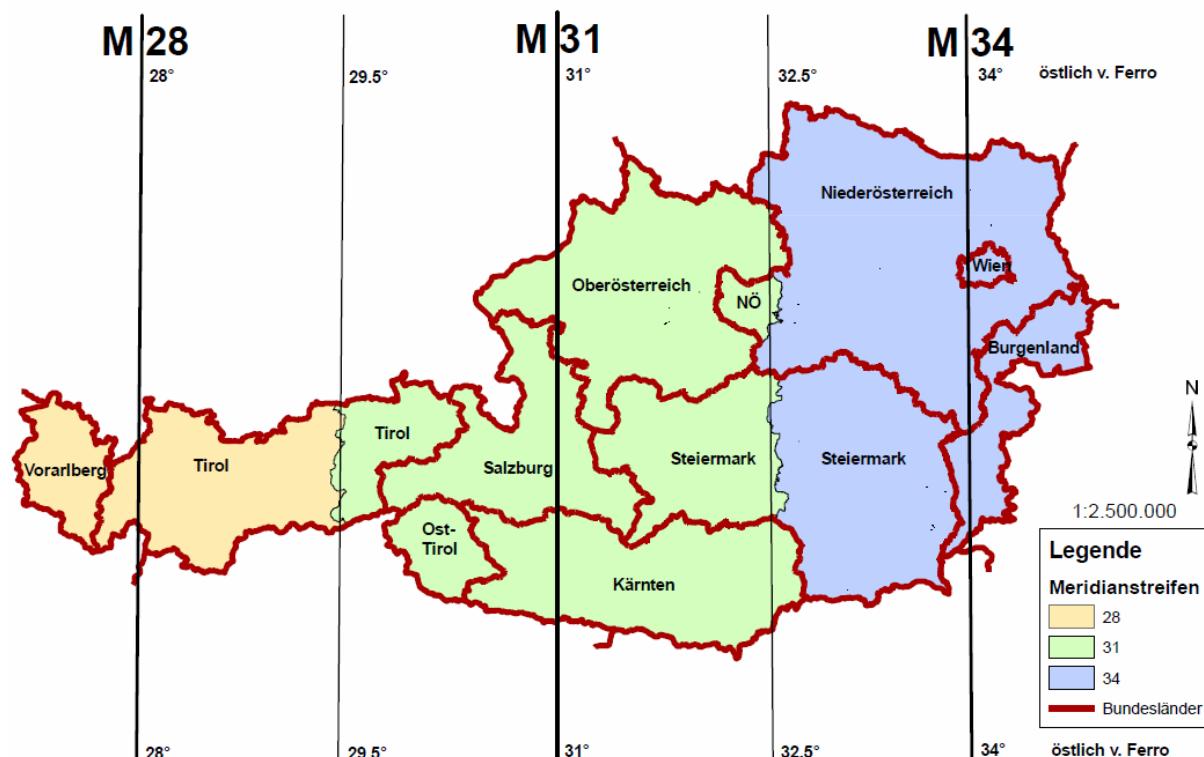


Abbildung 10: Zuordnung der Bundesländer zu den Meridianstreifen

Bundesland	Meridianstreifen	Gebietsanteil
Vorarlberg	M 28	zur Gänze
Nordtirol	M 28 / M 31	KG-weise geteilt (siehe Abbildung 11)
Osttirol	M 31	zur Gänze
Salzburg	M 31	zur Gänze
Oberösterreich	M 31	zur Gänze
Kärnten	M 31	zur Gänze
Niederösterreich	M 31 / M 34	KG-weise geteilt (siehe Abbildung 12)
Steiermark	M 31 / M 34	KG-weise geteilt (siehe Abbildung 13)
Wien	M 34	zur Gänze
Burgenland	M 34	zur Gänze

Tabelle 4: Zuordnung der Bundesländer zu den Meridianstreifen

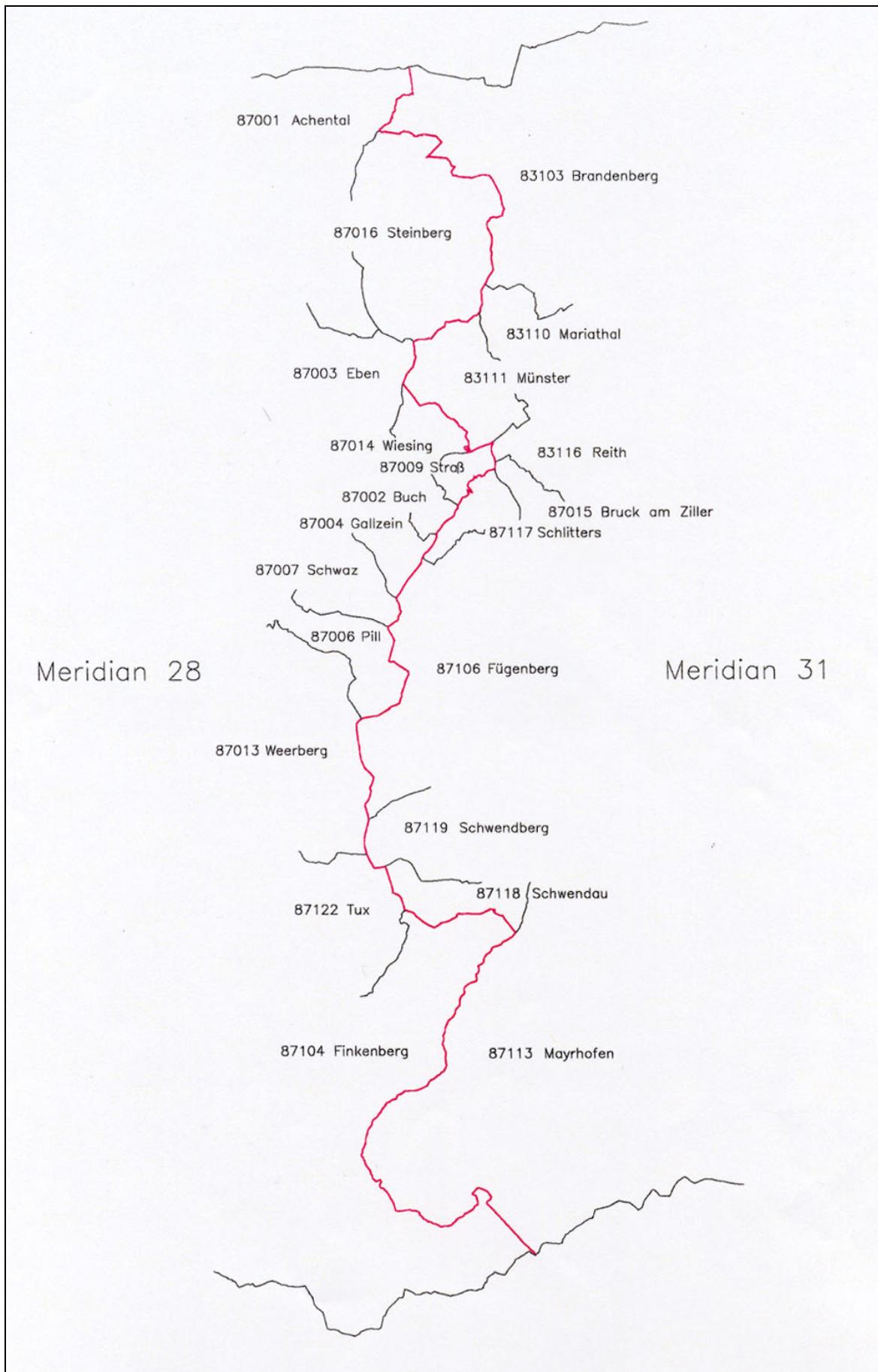


Abbildung 11: Zuordnung der Katastralgemeinden in Nordtirol zu den Meridianstreifen

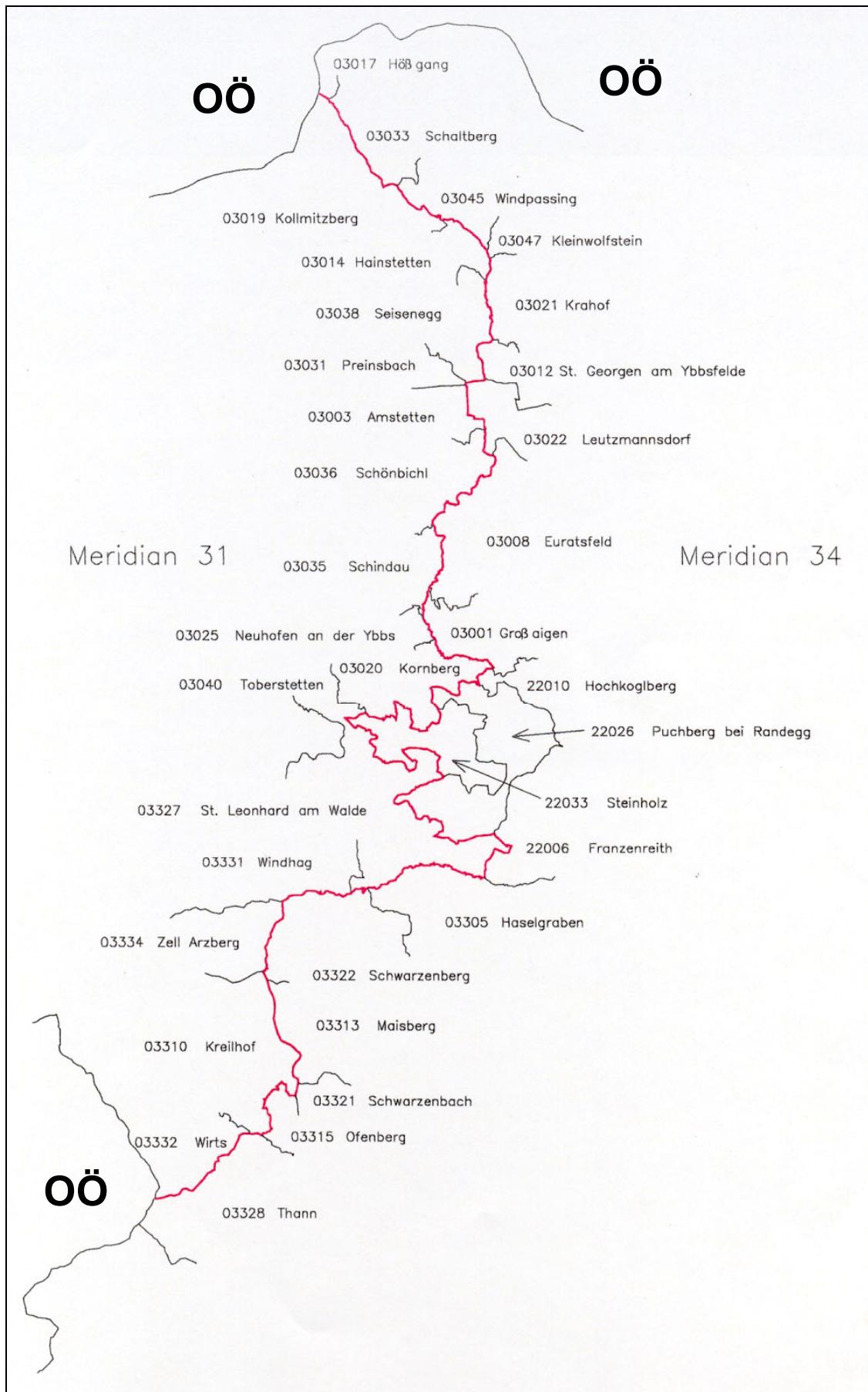


Abbildung 12: Zuordnung der Katastralgemeinden in Niederösterreich zu den Meridianstreifen



Abbildung 13: Zuordnung der Katastralgemeinden in der Steiermark zu den Meridianstreifen

1.4.5. Zuteilung der Festpunkte zu den Meridianstreifen

Die Koordinaten der Festpunkte werden in jenem Meridianstreifen angegeben der sich aus der Lage des Festpunktes innerhalb der Gebiete gemäß Kapitel 1.4.4 ergibt.

1.4.6. Transformation zwischen den Meridianstreifen

Ein häufig auftretendes Problem ist die Umrechnung der Koordinaten eines Punktes von einem Meridianstreifensystem in ein benachbartes Meridianstreifensystem. Es gibt Formeln die den direkten Zusammenhang zwischen den ebenen Koordinaten zweier Streifen vermittelt, diese haben jedoch im Zeitalter der EDV ihre Bedeutung verloren und werden hier nicht mehr angegeben. Heute geht man den folgenden Weg:

1. Bestimmung der ellipsoidischen Koordinaten am Bessel-Ellipsoid in der Lagerung MGI aus den GK-Koordinaten im Ausgangsmeridian (Formeln siehe Kapitel 7.1).
2. Abbilden der ellipsoidischen Koordinaten im Zielmeridian nach Gauß-Krüger (Formeln siehe Kapitel 7.1)

1.5. Bundesmeldenetz (BMN)

Das Bundesmeldenetz wurde ursprünglich als Ortsangabeverfahren für die damals noch in MGI mit Gauß-Krüger-Abbildung produzierte Österreichische Karte 1:50 000 (ÖK50) eingeführt. Mit Umstellung der Karten auf UTM wird es in den Karten des BEV nicht mehr verwendet. Da das BMN aber immer noch in einigen Anwendungen (AMAP, div. Kartenmaterial, GPS-Handheld, etc.) vertreten ist, wird es hier dennoch behandelt.

Um ausschließlich mit positiven Koordinaten arbeiten zu können wird der y-Koordinate der Gauß-Krüger-Abbildung eine bestimmte Additionskonstante hinzugefügt. Die stets positive x-Koordinate wird ohne Angabe der 5 Mio. als Hochwert, die um die Additionskonstante veränderte y-Koordinate wird als Rechtswert ausgewiesen.

Umrechnung vom Landessystem in das BMN

$$y_{BMN} = y_{GK} + 150\,000 \text{ m} \quad \text{für Meridian M 28}$$

$$y_{BMN} = y_{GK} + 450\,000 \text{ m} \quad \text{für Meridian M 31}$$

$$y_{BMN} = y_{GK} + 750\,000 \text{ m} \quad \text{für Meridian M 34}$$

$$x_{BMN} = x_{GK} (\text{ohne } 5 \text{ Mio.})$$

Umrechnung vom BMN in das Landessystem

Erfolgt im umgekehrten Sinne durch Subtraktion der jeweiligen Additionskonstante.

$$y_{GK} = y_{BMN} - 150\,000 \text{ m} \quad \text{für Meridian M 28}$$

$$y_{GK} = y_{BMN} - 450\,000 \text{ m} \quad \text{für Meridian M 31}$$

$$y_{GK} = y_{BMN} - 750\,000 \text{ m} \quad \text{für Meridian M 34}$$

$$x_{GK} = x_{BMN} (+ 5 \text{ Mio.})$$

Beispiel:

Ein Punkt mit den Gauß-Krüger-Koordinaten:

$$y_{GK} = -1235.12$$

$$x_{GK} = 5\,345\,412.65$$

Bezugsmeridian M31

ergibt in BMN-Koordinaten:

$$y_{BMN} = 448\,764.88$$

$$x_{BMN} = 345\,412.65$$

1.6. Blattschnitte in der Gauß-Krüger-Abbildung

Zur Einteilung der mit Gauß-Krüger-Abbildung darzustellenden Fläche des österreichischen Staatsgebiets in übersichtliche und bearbeitbare Einheiten, hat man für unterschiedliche Zwecke folgende Blattschnitte realisiert.

1.6.1. BMN-Blattschnitt der Österreichischen Karte 1:50000 (ÖK50)

Vor Umstellung sämtlicher Kartenwerke des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen auf UTM wurden die Karten im MGI/Gauß-Krüger-System abgebildet. Der Blattschnitt dieser Karten sei hier deshalb noch angeführt, weil die Punktbezeichnung der in Kapitel 1.2 beschriebenen Festpunkte der 1. bis 5. Ordnung, also der Triangulierungspunkte, noch auf diesem Blattschnitt basiert.

Die Ausdehnung eines Kartenblattes in geographischer Länge und Breite ist 15' x 15'. Eine Übersicht der 213 Kartenblätter zeigt Abbildung 14.

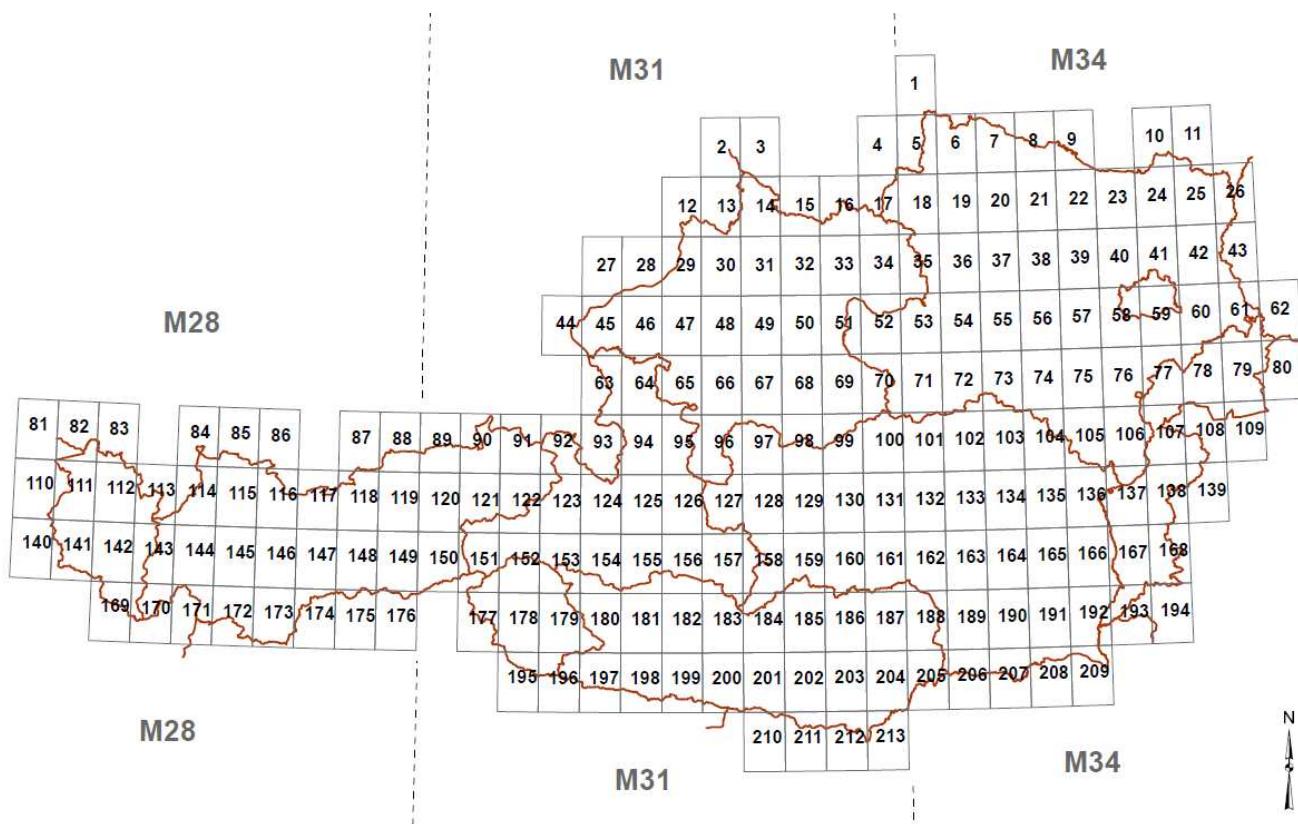


Abbildung 14: BMN-Blattschnitt der ÖK50

1.6.2. Triangulierungsblätter

Die Triangulierungsblätter bilden die Grundlage für die Einteilung und Bezeichnung der in Folge beschriebenen Mappenblätter 1:1000, 1:2000 und 1:5000 zur Darstellung der Katastralmappe. Ein Triangulierungsblatt deckt einen Bereich von 10.000m x 10.000m ab. Die Einteilung erfolgt zu beiden Seiten eines Bezugsmeridians in je 15 Längsstreifen von 10.000 m Breite. Quer dazu werden die Meridianstreifen vom Äquator bis zum Nordpol in je 10.000 m breite Querstreifen unterteilt.

Die Längsstreifen werden im Westen beginnend fortlaufend mit den Zahlen 01 bis 90 bezeichnet; die Längsstreifen 01 bis 08 und 83 bis 90 liegen zur Gänze außerhalb des Staatsgebiets und werden daher nicht weiter behandelt.

System	Längsstreifen
M28	09 bis 30
M31	31 bis 60
M34	61 bis 82

Tabelle 5: Zuweisung der Längsstreifen zu den Bezugsmeridianen

Die Querstreifen werden am Äquator mit 01 beginnend nach Norden fortlaufend bis 1012 bezeichnet. Für das Bundesgebiet kommen die Querstreifen 514 bis zum 544 zum Tragen. Da zur Erhaltung der Eindeutigkeit die Hunderterstelle weggelassen werden kann, gelten für Österreich die Querstreifen 14 bis 44.

Die Bezeichnung eines Triangulierungsblatt ist eine vierstellige Zahl, die ersten beiden Ziffern sind die Nummer des Längsstreifens und die letzten beiden Ziffern sind die Nummer des entsprechenden Querstreifens.

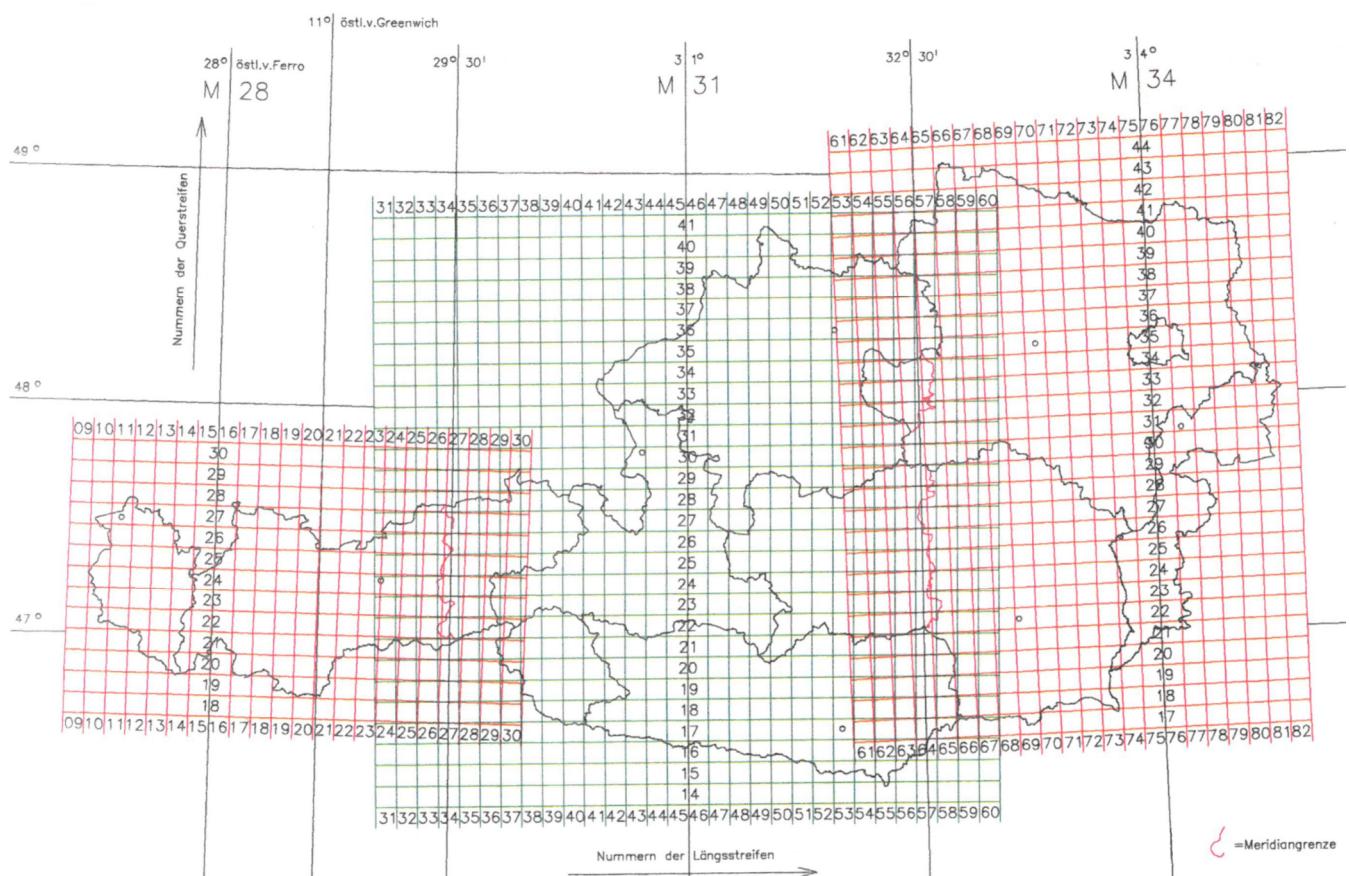


Abbildung 15: Übersicht der Triangulierungsblätter

Abszisse y [m]	Längsstreifennr.			Abszisse y [m]	Längsstreifennr.		
	M28	M31	M34		M28	M31	M34
-150 000 bis -140 000		31	61	0 bis 10 000	16	46	76
-140 000 bis -130 000		32	62	10 000 bis 20 000	17	47	77
-130 000 bis -120 000		33	63	20 000 bis 30 000	18	48	78
-120 000 bis -110 000		34	64	30 000 bis 40 000	19	49	79
-110 000 bis -100 000		35	65	40 000 bis 50 000	20	50	80
-100 000 bis -90 000		36	66	50 000 bis 60 000	21	51	81
-90 000 bis -80 000		37	67	60 000 bis 70 000	22	52	82
-80 000 bis -70 000		38	68	70 000 bis 80 000	23	53	
-70 000 bis -60 000	09	39	69	80 000 bis 90 000	24	54	
-60 000 bis -50 000	10	40	70	90 000 bis 100 000	25	55	
-50 000 bis -40 000	11	41	71	100 000 bis 110 000	26	56	
-40 000 bis -30 000	12	42	72	110 000 bis 120 000	27	57	
-30 000 bis -20 000	13	43	73	120 000 bis 130 000	28	58	
-20 000 bis -10 000	14	44	74	130 000 bis 140 000	29	59	
-10 000 bis 0	15	45	75	140 000 bis 150 000	30	60	

Tabelle 6: Bezeichnung der Längsstreifen der Triangulierungsblätter

Ordinate x [m]	Querstreifen nummer	Ordinate x [m]	Querstreifen nummer
5 130 000 bis 5 140 000	14	5 290 000 bis 5 300 000	30
5 140 000 bis 5 150 000	15	5 300 000 bis 5 310 000	31
5 150 000 bis 5 160 000	16	5 310 000 bis 5 320 000	32
5 160 000 bis 5 170 000	17	5 320 000 bis 5 330 000	33
5 170 000 bis 5 180 000	18	5 330 000 bis 5 340 000	34
5 180 000 bis 5 190 000	19	5 340 000 bis 5 350 000	35
5 190 000 bis 5 200 000	20	5 350 000 bis 5 360 000	36
5 200 000 bis 5 210 000	21	5 360 000 bis 5 370 000	37
5 210 000 bis 5 220 000	22	5 370 000 bis 5 380 000	38
5 220 000 bis 5 230 000	23	5 380 000 bis 5 390 000	39
5 230 000 bis 5 240 000	24	5 390 000 bis 5 400 000	40
5 240 000 bis 5 250 000	25	5 400 000 bis 5 410 000	41
5 250 000 bis 5 260 000	26	5 410 000 bis 5 420 000	42
5 260 000 bis 5 270 000	27	5 420 000 bis 5 430 000	43
5 270 000 bis 5 280 000	28	5 430 000 bis 5 440 000	44
5 280 000 bis 5 290 000	29		

Tabelle 7: Bezeichnung der Querstreifen der Triangulierungsblätter

1.6.3. Mappenblatt 1 : 5000

Das Triangulierungsblatt wird durch parallele Linien in 4 Längs- und 5 Querstreifen unterteilt, wodurch 20 Rechtecke von je 2500 m x 2000 m entstehen. Ein solches Rechteck hat in der Natur einen Flächeninhalt von 500 ha und bildet den Rahmen eines Mappenblattes, das im Maßstab 1:5000 einen Plan mit den Abmessungen 500 mm x 400 mm ergibt. Die Mappenblätter 1:5000 werden innerhalb jedes Triangulierungsblattes in der Nordwestecke beginnend fortlaufend mit den Nummern 81 bis 99 und 00 bezeichnet (siehe Abbildung 16, Beispiel 4629-96).

Der vollständigen Bezeichnung der Mappenblätter 1:5000 wird zur eindeutigen Zuordnung die Triangulierungsblattnummer vorangestellt.

1.6.4. Mappenblatt 1 : 2000

Das Triangulierungsblatt wird in 8 Längs- und 10 Querstreifen unterteilt, wodurch 80 Rechtecke von je 1250 m x 1000 m entstehen. Ein solches Rechteck bildet den Rahmen eines Mappenblattes 1:2000, hat in der Natur einen Flächeninhalt von 125 ha und ergibt im Maßstab 1:2000 einen Plan mit den Abmessungen 625 mm x 500 mm. Die Mappenblätter 1:2000 werden innerhalb jedes Triangulierungsblattes in der Nordwestecke beginnend fortlaufend mit den Nummern 1 bis 80 bezeichnet (siehe Abbildung 16, Beispiel 4629-44).

Der vollständigen Bezeichnung der Mappenblätter 1:2000 wird zur eindeutigen Zuordnung die Triangulierungsblattnummer vorangestellt.

1.6.5. Mappenblatt 1 : 1000

Das Mappenblatt 1:1000 entsteht durch Teilung des Mappenblattes 1:2000 in vier gleich große Rechtecke. Ein solches Rechteck bildet den Rahmen eines Mappenblattes 1:1000, hat in der Natur eine Fläche von 31,25 ha und ergibt im Maßstab 1:1000 einen Plan mit den Abmessungen 625 mm x 500 mm. Die Mappenblätter 1:1000 werden mit der Nummer des Triangulierungsblattes, nach einem Bindestrich mit der Nummer des zugehörigen Mappenblattes 1:2000 und nach einem Schrägstrich je nach Lage des Blattes mit der Ziffer 1 bis 4 bezeichnet (siehe Abbildung 16, Beispiel 4629-18/1).

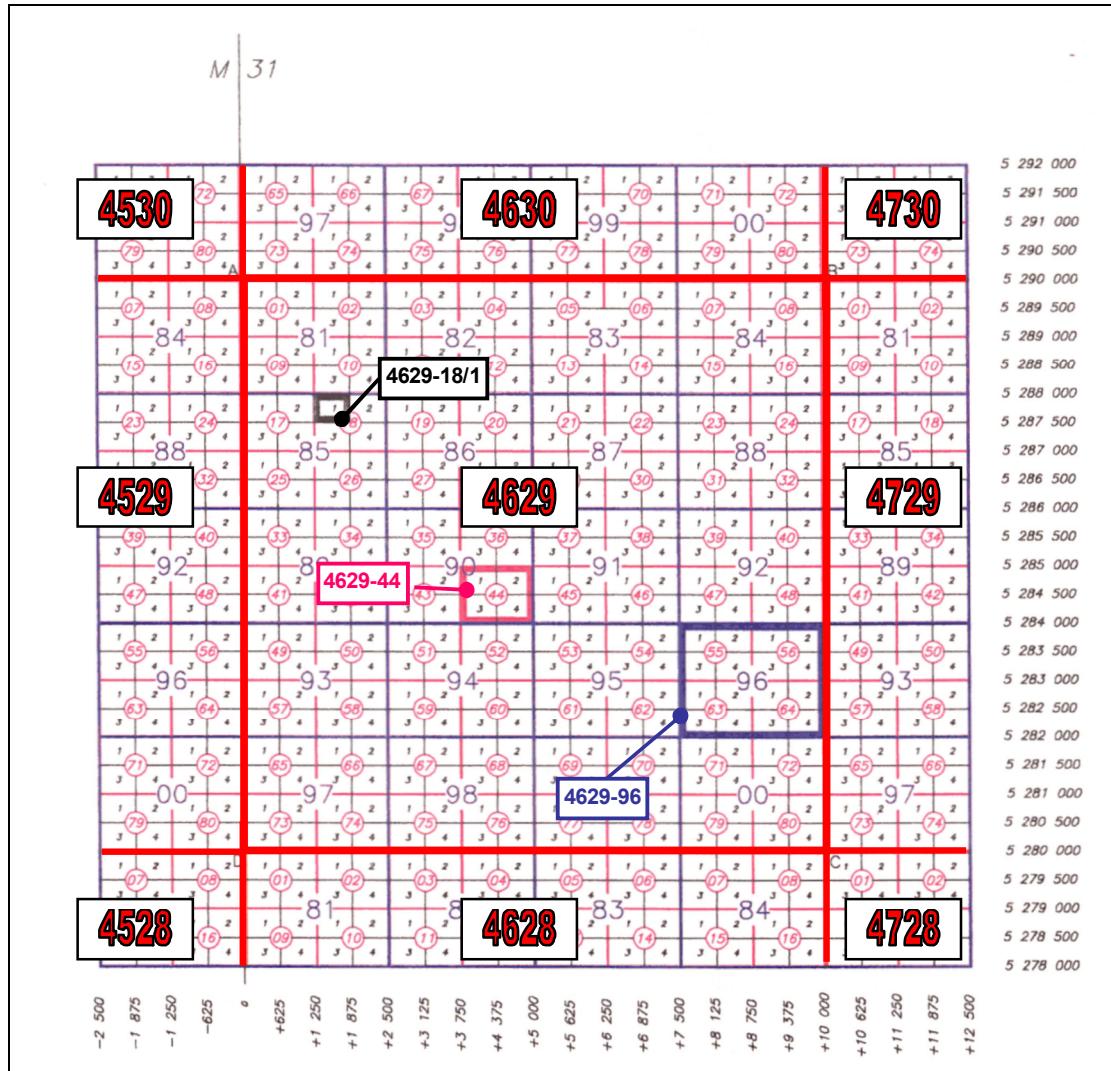


Abbildung 16: Beispiel zur Einteilung der Mappenblätter 1:1000, 1:2000 und 1:5000

2. Das System ETRS89

2.1. Einleitung

Das zuvor beschriebene System MGI ist eines von weltweit in großer Zahl existierenden nationalen Systemen. Diese unterscheiden sich in ihrer Definition und Realisierung selbst von jenen der jeweiligen Nachbarstaaten und auch die Koordinatenwerte sind untereinander nicht kompatibel. Nur durch aufwändige Koordinatentransformationen lassen sich diese Systeme miteinander verbinden.

Mit dem Einsatz von Navigationssatelliten für Vermessungszwecke wurde die Definition eines weltweiten, globalen Systems notwendig. Durch wirtschaftliche Verflechtungen und länderübergreifende Projekte wird auch der internationale Datenaustausch immer wichtiger.

Die verschiedenen Referenzsysteme und deren Realisierungen sind für den Anwender nicht gerade einfach zu durchschauen, wodurch oft Missinterpretationen und Verwechslungen entstehen. Sehr verbreitet ist meist nur der Begriff WGS84, der - obwohl nur für die Navigation maßgebend - fälschlicherweise generell für alle aus Satellitensystemen abgeleiteten Koordinaten verwendet wird. Die Problematik ist jedoch etwas differenzierter zu sehen, denn gerade für die genaueren geodätischen Verfahren kommen andere Referenzsysteme in Betracht (siehe Tabelle 8).

System	Verwendung	Genauigkeit
WGS84	Handempfänger (Navigation); Broadcast-Ephemeris von GPS	1-3 Meter
ITRS	globales geozentrisches System; Bestimmung von Geschwindigkeiten der Punktbewegungen aufgrund globaler Plattentektonik; Wissenschaft; Stationen des IGS und EPN; Precise-Ephemeris	1 mm Lage 3 mm Höhe
ETRS89	Europäisches System; Verwaltung; EUREF, AGREF, AREF, APOS	5 mm Lage 1 cm Höhe

Tabelle 8: Gegenüberstellung globaler Referenzsysteme

Um die Unterschiede zwischen diesen Systemen aufzuzeigen, wird in den nächsten Kapiteln genauer auf die einzelnen Referenzsysteme eingegangen. Als Referenzfläche für diese globalen terrestrischen Systeme wird das Ellipsoid GRS80 angewendet da es die Erdgestalt global möglichst gut annähert. Dieses Ellipsoid hat folgende Dimension:

Große Halbachse	a	6 378 137.000 m
Kleine Halbachse	b	6 356 752.314 m

Tabelle 9: Dimension des GRS80-Ellipsoids

2.2. World Geodetic System 84 (WGS84)

Das WGS84 bildet die Grundlage zur Berechnung der so genannten "Broadcast-Ephemeris". Dies sind jene Bahndaten, welche von den im Navigationssystem NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System, kurz GPS) eingesetzten Satelliten an die Empfangseinheit eines Nutzers übertragen werden.

Diese Bahndaten werden stündlich von derzeit drei "Upload Stations" in die Bordcomputer der einzelnen Satelliten eingespeist. Diese beschreiben die Satellitenbahn für einen Zeitintervall von etwa zwei Stunden vor und nach dem Bezugszeitpunkt. Bei Messung mit einem Empfänger werden diese Informationen vom Satelliten im Daten-Code mitgeteilt, und es kann in diesem Zeitraum von vier Stunden für einen bestimmten Zeitpunkt extrapoliert werden.

Realisiert wird das WGS84 durch derzeit 11 (ursprünglich 5, wie in Abbildung 17) Bodenstationen des so genannten GPS-Kontrollsegments. Es dient nur Navigationszwecken und ist in der Realisierung eines geozentrischen Referenzsystems weniger exakt wie das in Folge beschriebene ITRS. In den Jahren 1994 - 1997 wurde WGS84 so weit an ITRS

angenähert, dass die systematische Differenz seither weniger als 1 m beträgt. Allerdings wurde dadurch die Genauigkeit nicht verbessert.

GPS - Kontrollsegment

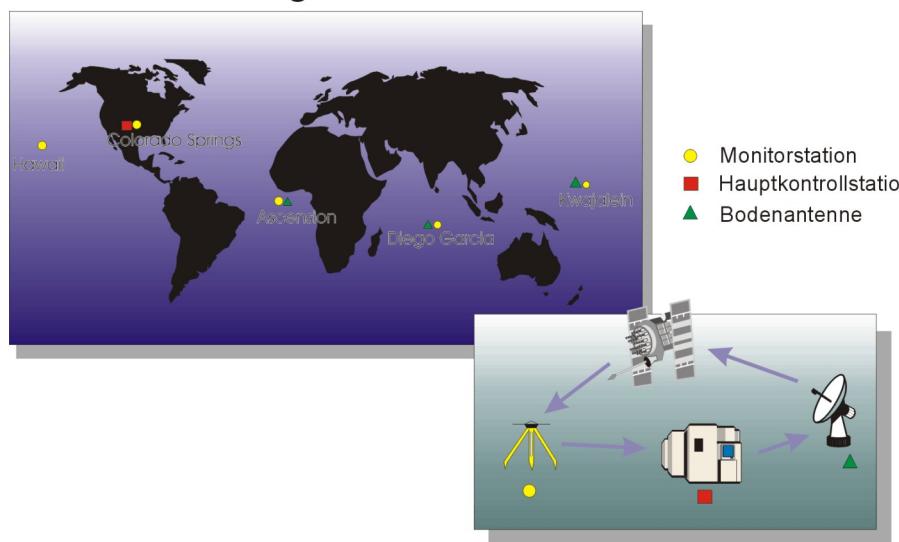


Abbildung 17: GPS-Kontrollsegment

2.3. International Terrestrial Reference System (ITRS)

Das ITRS [1] ist wie WGS84 ein weltweites Referenzsystem und wurde 1988 wie folgt definiert:

- Koordinatensystem ist mit der Erde mitrotierend
- Ursprung liegt im Erdschwerpunkt, dem Geozentrum
- Polachse weist in Richtung des Conventional International Origin (CIO), gemittelt über die Jahre 1900-1905
- XZ-Ebene beinhaltet den Meridian von Greenwich
- Summe aller Bewegungen auf der Erdoberfläche ist null

Die Bestimmung des ITRS ist das Ergebnis einer laufenden Kooperation von Institutionen aus der Geodäsie, Raumfahrt und Astronomie und ein wichtiger Teil des Erdrotationsdienstes IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). Der IERS wurde 1987 von der IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) und der IAU (International Astronomical Union) gegründet.

Das System ITRS wurde 1991 als internationales Bezugssystem festgelegt. Es wird durch ein weltumspannendes Netz von permanent arbeitenden Messstationen realisiert und überwacht. Die Realisierung erfolgt dabei durch Kombination der vier Messmethoden GPS, VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) und DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite).

Die IAG (International Association of Geodesy) als Teil der IUGG betreibt verschiedene internationale Dienste, wobei vier davon für die Realisierung des ITRS wesentlich sind:

- International VLBI Service (IVS)
- International Laser Ranging Service (ILRS)
- International GNSS Service (IGS)
- International DORIS Service (IDS)

Unter den weltweit ca. 450 Stationen befindet sich auch die österreichische Station GRAZ (OLG = Observatorium Lustbühel in Graz). Die absolute Genauigkeit der Stationen erreicht weltweit $\pm 3\text{-}6 \text{ mm}$. Die Realisierung durch Koordinatenwerte an den Stationen wird als der Koordinatenrahmen ITRF (International Terrestrial Reference Frame) bezeichnet. Das Jahr der jeweiligen Realisierung wird mit angeschrieben, z.B. ITRF89 oder ITRF2008.

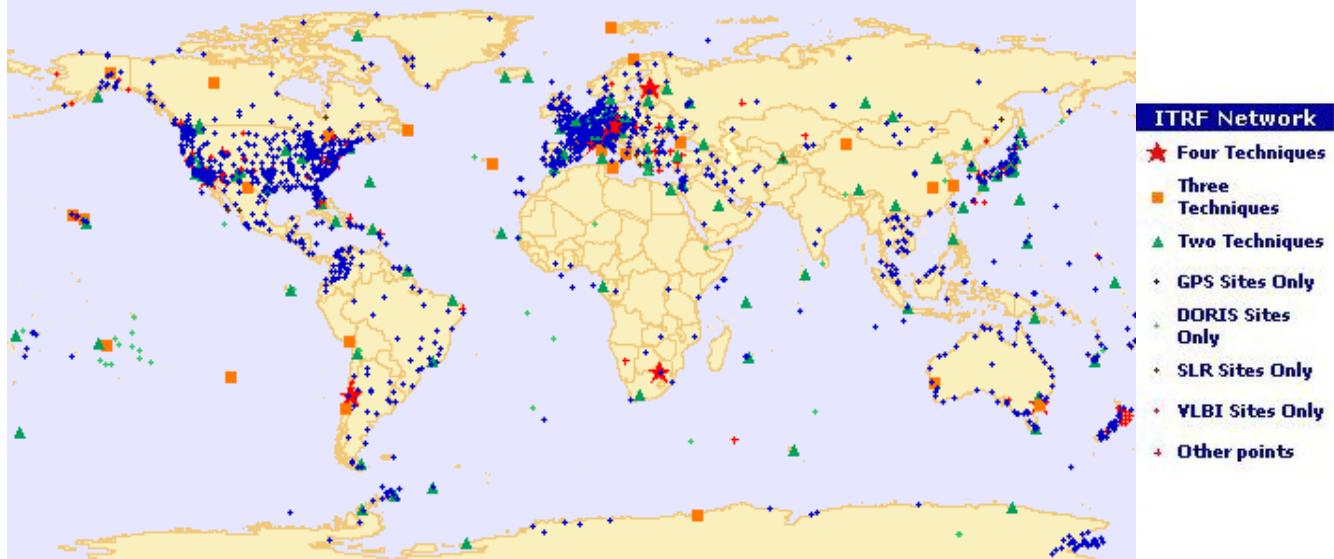


Abbildung 18: weltweite ITRS-Stationen

2.4. Das europäische Referenzsystem ETRS89

Aufgrund der Kontinentalverschiebung und anderer globaler Einflüsse unterliegen die erdverbundenen ITRS-Stationen einer ständigen Positionsänderung. So bewegt sich die eurasische Platte, welche auch Österreich beinhaltet, um etwa 2.5 cm/Jahr in Richtung Nordost. In Abbildung 19 sind die jährlichen globalen Koordinatenänderungen dargestellt.

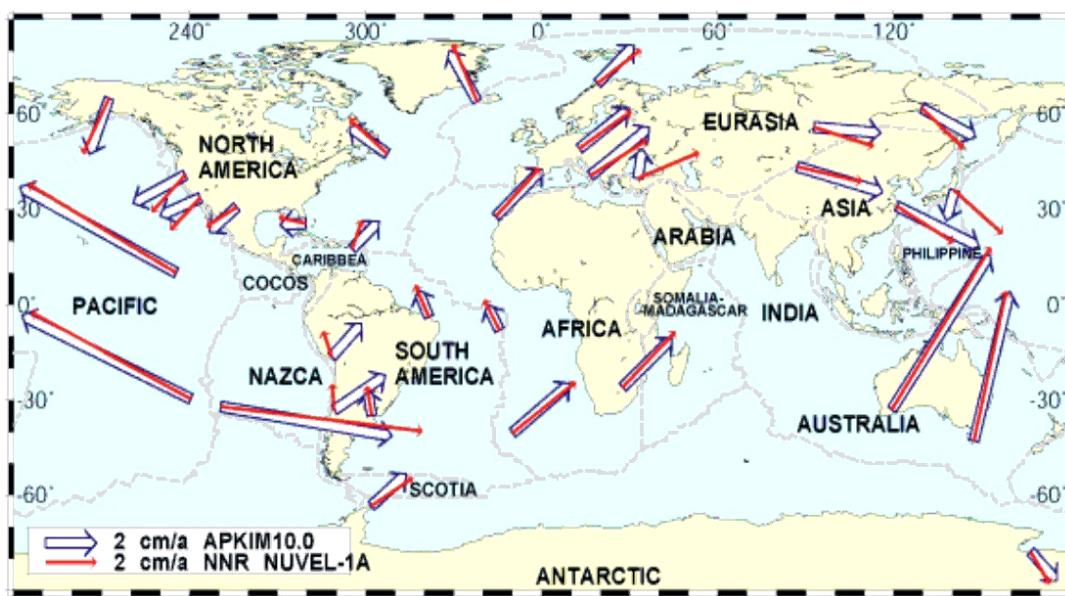


Abbildung 19: globale Geschwindigkeiten im ITRS

Durch diese Umstände ist das Bezugssystem ITRS für viele technische Anwendungen nicht einsetzbar. Um sich deshalb von den ständigen Koordinatenänderungen zu lösen wurde für Europa ein Datum festgelegt, welches sich nur auf jene Stationen stützt, die auf der eurasischen Platte liegen.

Es wurde daher im Jahr 1987 im Rahmen der IAG die EUREF (European Reference System) Subkommission geschaffen, deren Aufgabe die Entwicklung, die Realisierung und der Betrieb eines europäischen Referenzsystems darstellt. Im Jahre 1990 wurde auf dem EUREF-Symposium in Florenz ein 3D-System für Europa definiert. Dieses so genannte ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) leitet sich vom globalen Koordinatensystem ITRS ab, indem zum Zeitpunkt 1989.0 die Koordinaten von 17 Referenzstationen aus dem ITRS übernommen wurden.

Für jede Realisierung des ITRS (ITRF $_{yyyy}$) gibt es theoretisch auch eine Realisierung des ETRS89 (ETRF $_{yyyy}$), welche sich aus den Koordinaten jener Stationen ableitet, die laut

Definition auf der eurasischen Platte liegen. So wie die Realisierungen des ITRS Koordinatenänderungen aufweisen, besitzen die einzelnen Realisierungen des ETRS89 ebenfalls Differenzen von mehreren Zentimetern.

Da diese Referenzsprünge im nationalen System durch Nachziehen aller abgeleiteten Koordinaten aus Kostengründen nicht angebracht werden können, wurde von EUREF ein Kompromiss gefunden, der ETRF2000 in Zukunft für die Landesvermessungen als Referenz empfiehlt. Alle späteren Realisierungen des ITRS (dzt. ITRF2008) werden mithilfe von derzeit 95 Stationen auf ETRF2000 transformiert, sodass zwar verbesserte Koordinaten entstehen, die Referenz (eurasische Platte) aber „eingefroren“ bleibt.

Grundlage für die Realisierung von ETRS89 in Europa ist seit 1996 das EPN (EUREF Permanent Network). Es handelt sich dabei um etwa 200 permanente GNSS Stationen mit öffentlich zugänglichen Daten, welche nach den Vorgaben der EUREF Kommission betrieben werden.

2.5. Realisierung von ETRS89 in Österreich

Auf nationaler Ebene wurde das EPN weiter verdichtet (siehe Abbildung 20). Die Realisierung von ETRS89 in Österreich ist ein mehrstufiges Verfahren, welches sich aus den folgenden Hierarchieebenen zusammensetzt:

- International akzeptierte Lösung EUREF Austria 2002
- APOS Permanentstationen (AMON)
- AGREF, AREF, TIREF
- APOS - Austrian Positioning Service
- Weiterführende Realisierung

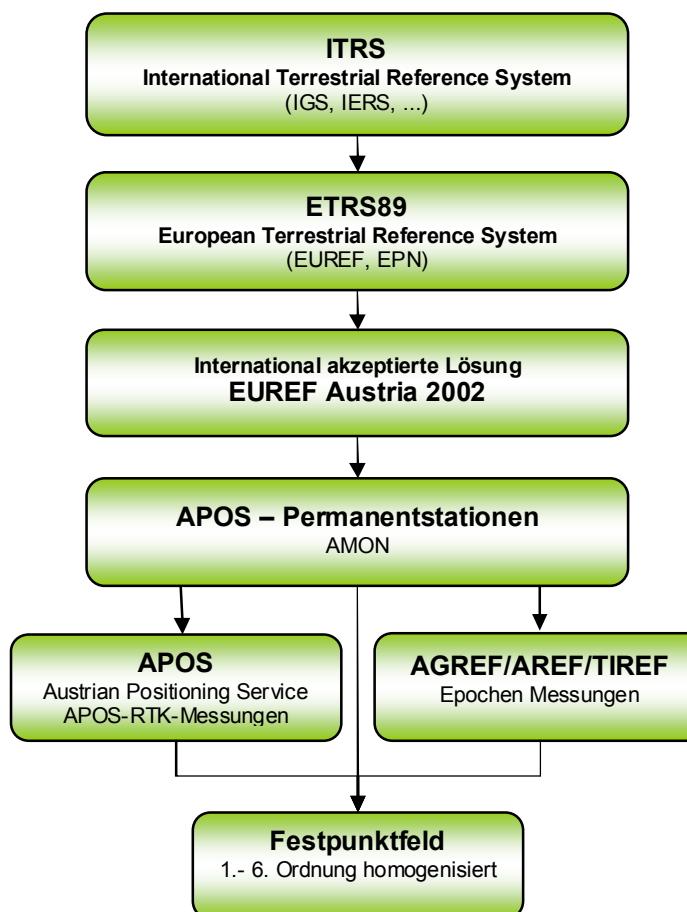


Abbildung 20: Hierarchieschema für die Realisierung von ETRS89 in Österreich

2.5.1. International akzeptierte Lösung EUREF Austria 2002

Im Jahre 2003 wurde der EUREF Subkommission eine Koordinatenlösung für 11 Punkte (10 Permanentstationen und 1 Epochenstation) in Österreich für die GPS-Woche 1176 (Juni 2002) vorgelegt, welche nach den damals gültigen Kriterien eine ETRS89 Koordinatenberechnung beinhaltete. Diese Berechnung, basierend auf ETRF2000, wurde als eine dem internationalen Standard entsprechende Realisierung von ETRS89 akzeptiert und ist als Lösung EUREF Austria 2002 (exakt: ETRS89/ETRF2000 Austria 2002.56) in der Resolution 1 von EUREF aus 2003 bestätigt worden [8]. Allerdings ist diese Lösung obsolet, da seit November 2006 und seit Juni 2010 international andere Modelle für Troposphäre und Antennenkorrekturen gelten, welche vor allem die Höhenkomponente der Koordinaten verändert haben. Es wurde jedoch beschlossen, die Referenz von EUREF Austria 2002 beizubehalten und nur die Koordinaten einzelner Stationen bei Abweichungen über einen gewissen Betrag von mehreren Zentimetern zu ändern. Jede moderne Lösung wird daher mittels einer Helmert-Transformation (6 Parameter ohne Maßstab) auf identische Punkte von EUREF Austria 2002 transformiert.

2.5.2. AMON (Austrian Monitoring Network)

APOS (Austrian Positioning Service) ist der GNSS-Echtzeitpositionierungs-Service des BEV und wird im Kapitel 2.6 eingehend behandelt. Er nutzt derzeit 43 GPS/GNSS-Permanentstationen in Österreich, davon werden 33 vom BEV und jeweils eine von der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (LFI) und der Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW) und acht von der KELAG (Kärntner Energieversorger) betrieben. Zusätzlich stehen 34 GPS/GNSS Permanentstationen im grenznahen Ausland für den Empfang und die Aufzeichnung von GPS/GNSS-Rohdaten zur Verfügung. Die APOS Permanentstationen in Österreich dienen zur Realisierung von ETRS89 in Österreich, sieben dieser Stationen waren bereits in der international akzeptierten Lösung ETRS89 Austria 2002 enthalten. Sie werden aus den Zeitreihen der einzelnen Stationen vom Jahr 2000 bis zur Gegenwart bestimmt, und auf eine modifizierte Lösung von EUREF Austria 2002 transformiert. Die Koordinaten der APOS Stationen werden im Rahmen des AMON einer wöchentlichen Kontrolle nach den Standards des EPN unterzogen. Nach Abschluss eines kompletten Jahres werden alle Messdaten des Jahres in einer gemeinsamen Auswertung zu einer Mehrjahreslösung zusammengefasst und Koordinaten und Geschwindigkeiten geschätzt. Die Auswertungen finden in Zusammenarbeit mit der ÖAW statt, als Software wird die Bernese Software Version 5.2 (GNSS-Auswertungssoftware, entwickelt in Bern in der Schweiz) eingesetzt [9].

2.5.3. AGREF (Austrian Geodynamic Reference Frame)

Diese 87 Epochenstationen wurden seit 1990 vom BEV in Zusammenarbeit mit der ÖAW zum Zwecke des Monitorings von geodynamischen Vorgängen in ganz Österreich vermarktet, wobei die Punktdichte in speziell ausgesuchten tektonischen Zonen erhöht wurde. Die Messungen erfolgten mit einer Beobachtungsdauer von mehr als 24 Stunden, typischerweise 2-3 Tagen. Als Messpunkte wurden in erster Linie Nebenpunkte zu Triangulierungspunkten in Fels oder Beton neu stabilisiert. Im Jahre 1997 wurden erste Ergebnisse veröffentlicht [10]. Die Lösungen der AGREF Kampagnen wurden vom BEV in den Referenzrahmen EUREF Austria 2002 transformiert.

2.5.4. AREF (Austrian Reference Frame)

Diese Stationen wurden 1996 von der GPS-Netz Ziviltechniker GmbH, eine über eine Initiative der BAIK (Bundeskammer für Architekten und Ingenieurkonsulenten) gegründete Arbeitsgemeinschaft, bestimmt, wobei es sich um ca. 300 Punkte handelt.

Im Jahre 2002 wurden die Ergebnisse von AREF durch das BEV übernommen. In den Jahren 2004-2009 wurde die Qualität der Erstmessung durch Kontrollmessungen geprüft (Messdauer > 24 h), wo erforderlich verbessert, und in den österreichischen Referenzrahmen EUREF Austria 2002 eingerechnet. AGREF und AREF wurde ab 2007 bis heute mit Messungen von ca. 24 Stunden überprüft.

2.5.5. TIREF (Verdichtung des AREF-Netzes in Tirol)

TIREF (Tyrolean Reference Frame) wurde von der Tiroler Landesregierung gemessen. Die dabei entstandenen Messdaten von 35 Punkten wurden im Zuge eines Leistungsausgleiches durch das BEV im Jahre 2000 übernommen und in den Referenzrahmen EUREF Austria 2002 eingerechnet.

2.5.6. APOS Echtzeitpositionierungsdienst

APOS besitzt eine Doppelfunktion bei der Realisierung von ETRS89 in Österreich. Einerseits bilden die Referenzstationen von APOS die höchste Hierarchiestufe in der Realisierung von ETRS89 in Österreich. Durch die Bereitstellung von GNSS Messdaten der Referenzstationen im RINEX-Format (siehe APOS) dienen sie gleichzeitig auch als Referenzpunkte für alle mit diesen RINEX-Daten durchgeführten Berechnungen. Andererseits sind die APOS-Stationen auch die Grundlage für den Echtzeitpositionierungsdienst des BEV, welcher am Rover-Messgerät direkt ETRS89-Koordinaten auf der Basis von EUREF Austria 2002 liefert [4].

2.5.7. Das österreichische Grundnetz

Die Summe aller Messpunkte, sowohl Permanentstationen als auch Epochestationen (Stationen mit Beobachtungsdauer von mehr als 24 Stunden), welche das ETRS89 in Österreich realisieren, wird als das österreichische Grundnetz bezeichnet. Die derzeitige Dichte der Punkte ist aus der nachstehenden Abbildung ersichtlich. Alle Punkte besitzen Messungen von mindestens 24 Stunden und sind mit einer Genauigkeit von ca. 1cm bekannt.

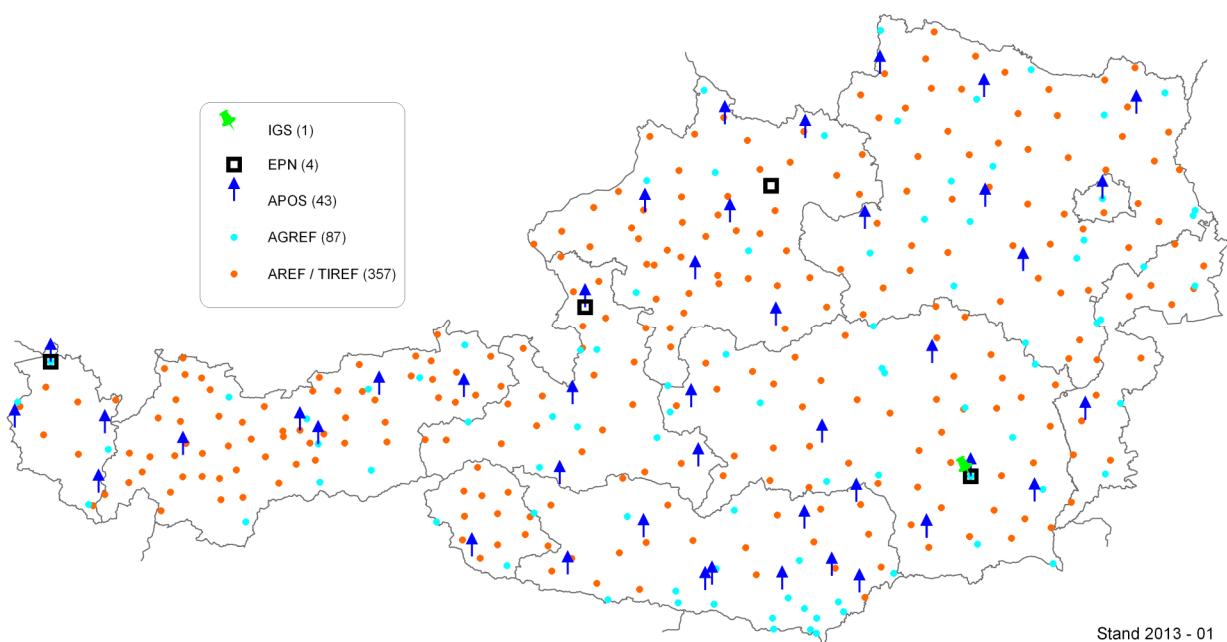


Abbildung 21: Modernes österreichisches Grundnetz im System ETRS89

2.5.8. Weiterführende Realisierung von ETRS89

Ausgehend von den Punkten des Grundnetzes werden zurzeit vom BEV sämtliche Festpunkte 1. – 6. Ordnung im System ETRS89 bestimmt. Diese bilden die Basis für eine Überführung sämtlicher im System MGI (Gauß-Krüger Koordinaten) geführten Produkte in das System ETRS89 (UTM).

Die Bestimmung der ETRS89-Koordinaten der Festpunkte 1. - 6. Ordnung wird vom BEV als Homogenisierung des Festpunktfeldes bezeichnet. Im Kapitel 3 wird diese Thematik ausführlich behandelt.

2.6. APOS - Austrian Positioning Service

Seit einigen Jahren werden in verschiedenen Ländern Echtzeitpositionierungsdienste angeboten, welche Navigationssatellitensysteme zur Positionierung verwenden. Mit diesen kann in einem GNSS-gestützten Koordinatensystem wie ETRS89 die Positionsbestimmung vor Ort in Echtzeit mit hoher Genauigkeit (wenige Zentimeter) erfolgen. Der Anwender benötigt für die Erreichung dieser hohen Genauigkeit nicht mehr 2 Empfänger, wie es sonst bei der relativen Punktbestimmung notwendig ist, sondern lediglich eine Empfangseinheit. Um ein derartiges System zu etablieren mussten allerdings von Seiten der Provider zunächst einige Investitionen getätigt werden. Für Österreich hat das BEV den APOS - Austrian Positioning Service [4], [19] in den Jahren 2003 – 2008 für Messgenauigkeiten im cm-Bereich flächendeckend eingerichtet. Die Umstellung des gesamten APOS Produktivsystems von GPS auf GNSS (GPS in Kombination mit GLONASS) ist im zweiten Halbjahr 2011 erfolgt.

2.6.1. Generelles Prinzip

Jede GNSS-Messung ist von verschiedenen systematischen Fehlern beeinflusst. Bei guter Kenntnis dieser Fehler kann der Einfluss rechnerisch eliminiert und dadurch die Genauigkeit gesteigert werden. Misst man beispielsweise auf zwei benachbarten Punkten gleichzeitig, so ist das Fehlerbudget beider Punkte ähnlich (relative Punktbestimmung). Diesen Umstand macht sich auch das Echtzeitpositionierungssystem zunutze, bei dem entweder Korrekturwerte oder Messwerte einer nahe gelegenen Station übertragen werden.

Kennt man die Koordinaten des Referenzpunktes bzw. Referenzstation sehr genau kann man über den Vergleich mit den gerade an dieser Station aufgrund von Beobachtungen erhaltenen Koordinaten auf die Fehlereineinflüsse schließen, die sich in der Differenz der Koordinaten äußert (Sollwert minus Istwert). Gibt man nun diese Abweichung, z.B. in Form von Korrekturen, an die benachbarte Station (= Roverstation bzw. Empfänger des Anwenders) weiter, kann diese Station ebenfalls ihre zur selben Zeit bzw. Epoche gemessene Position durch Anbringen der Korrekturen verbessern.

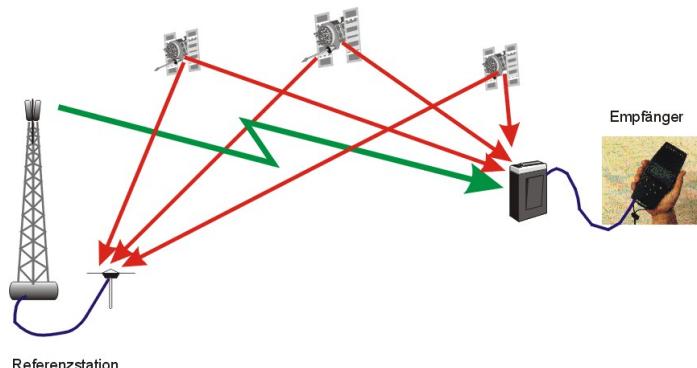


Abbildung 22: Echtzeitpositionierung - generelles Prinzip

Eine weitere Möglichkeit ist die Übertragung von Messdaten einer sehr nahe gelegenen realen oder virtuellen Station für eine differentielle Auswertung im Rover. In der Praxis bedient man sich für die Übermittlung der Korrekturen oder Messwerte verschiedener Dienste bzw. Service-Provider, welche den Datentransfer via GSM und/oder GPRS (Mobile Internet) anbieten. Auch immer besser arbeitende Modelle und Konzepte zur Ermittlung der Korrekturen selbst werden eingesetzt. Dabei ist die Vernetzung aller Referenzstationen mit einer Zentrale von entscheidender Bedeutung.

2.6.2. Das Konzept der virtuellen Referenzstation (VRS)

Würde man jede Referenzstation für sich isoliert betrachten, wäre der Einsatzbereich eines Echtzeitpositionierungssystems für cm-Genauigkeit, wegen des Einflusses entfernungsbasierter Fehler (Bahndaten, Ionosphäre, Troposphäre, etc.) auf die Positionierung, auf einen Radius von etwa 20 km im Umkreis um eine Referenzstation beschränkt. Mittels Online-Vernetzung aller Stationen und Modellierung der Fehler in Echtzeit kann dieser Genauigkeitsbereich auf 25 - 35 km ausgedehnt und der Stationsabstand auf

50 - 70 km ausgeweitet werden. Dazu sind mindestens 3 vernetzte Referenzstationen notwendig.

Weiters wird zusätzlich noch mit einer scheinbaren (virtuellen) Referenzstation in unmittelbarer Nähe der GNSS-Roverstation gearbeitet.

Die prinzipielle Idee hinter dem Vernetzungskonzept ist einfach. Die an den in Abbildung 23 dargestellten GNSS-Referenzstationen R₁, R₂, und R₃ im Sekundentakt anfallenden Messdaten werden online zu einem zentralen Vernetzungsrechner übertragen. Dieser berechnet zwischen benachbarten Stationen 3D-Vektoren und damit auch die entsprechenden Stationskoordinaten. Zwischen den bekannten und den berechneten Stationskoordinaten der Referenzstationen treten wegen der Fehlereinflüsse am GNSS-Signal die Differenzen K₁, K₂ und K₃ auf (in Abbildung 23 ist K₃ = 0). Diese Differenzen (Korrekturen) lassen sich innerhalb des Dreiecks der Referenzstationen sehr gut modellieren und aus dem Modell lässt sich wiederum für jeden Punkt innerhalb des Dreiecks eine Korrekturgröße ableiten, so z.B. die Korrekturgröße K_V für eine virtuelle Station (Virt) in der Nähe des Rover-Empfängers (Mobil), die meist nur wenige Meter voneinander entfernt sind. Die Position der virtuellen Station ist dabei die aus der Navigationslösung des Empfängers erhaltene und an die Rechenzentrale übermittelte Koordinate.

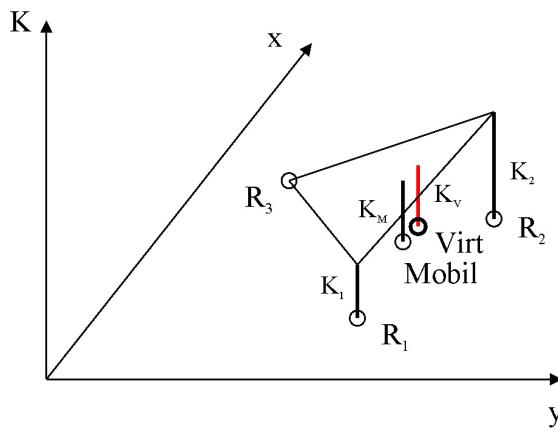


Abbildung 23: Korrekturwerte aus Modell

Im Korrekturwert K_V sind die folgenden Fehlereinflüsse enthalten:

- fehlerhafte Bahnkoordinaten (Broadcast-Ephemeris)
- ionosphärische Fehler (hohe Luftschichten)
- troposphärische Fehler (bodennahe Luftschichten)

Aus den Messdaten der nächstgelegenen Referenzstation und der Kenntnis des Korrekturwertes K_V lassen sich nun künstliche Messdaten für die virtuelle Station erzeugen. Dies sind also Messdaten (Phasenmessungen), die an der virtuellen Station gemacht worden wären, hätte man dort einen Empfänger aufgestellt und die Satellitensignale empfangen. Der Rover-Empfänger kann aus diesen synthetischen Messdaten und den eigenen Messdaten die kurze Entfernung zur virtuellen Station exakt ableiten und diesen kleinen Vektor zur Position der virtuellen Referenzstation hinzufügen. Damit erhält man schließlich die benötigte Rover-Position mit hoher Genauigkeit.

2.6.3. Datentransfer

Für den Rohdatentransfer reeller Referenzstationen und die Bereitstellung der virtuellen Referenzstation werden grundsätzlich die internationalen Standardformate NMEA und RTCM sowie das internationale Protokoll NTRIP verwendet (auf diese Begriffe wird in diesem Kapitel noch näher eingegangen). Das Schema des Datenflusses im Konzept der virtuellen Referenzstationen ist aus der nachfolgenden Abbildung 24 ersichtlich. Er besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten:

- Transfer der GNSS-Messdaten von den Referenzstationen in die Zentrale (in Abbildung 24 blau dargestellt)

- bidirektionale Verbindung zwischen Rover und Zentrale mittels GSM/GPRS (in Abbildung 24 rot bzw. magenta dargestellt)

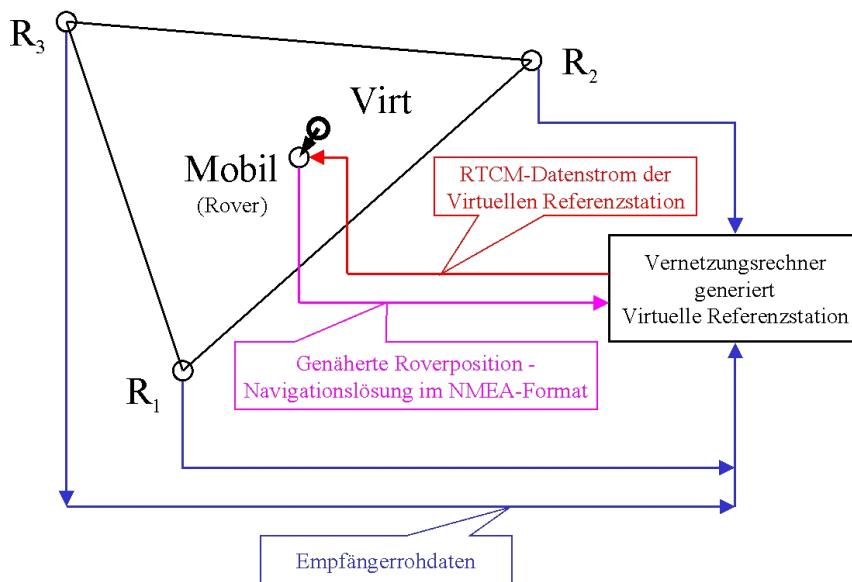


Abbildung 24: Konzept der virtuellen Referenzstation

Der Transfer der GNSS-Empfängerrohdaten (Messdaten) der nationalen APOS-Referenzstationen zur Zentrale erfolgt bis auf wenige Ausnahmen im Format RTCM über das CNA (Corporate Net Austria = das Ethernet-Backbone des Bundes), welches im Wesentlichen durch die Infrastruktur der Telekom realisiert wird. „RTCM“ steht für „Radio Technical Commission for Maritime Services“ und ist das standardisierte Format zur Übertragung von Korrekturen und Rohdaten für GNSS-Anwendungen. Der Datentransfer von und zu den ausländischen Partnern erfolgt via NTRIP auf Basis von Kooperationsverträgen. NTRIP steht für "Networked Transport of RTCM via Internet Protocol" und ist ein vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, Frankfurt am Main) entwickeltes Verfahren zur Bereitstellung von GNSS-Datenströmen im Format RTCM über das Internet.

Die Nutzung von APOS Real Time (siehe Kapitel 2.6.4) kann mittels GSM-Einwahl oder Mobile Internet (z.B. GPRS) erfolgen. Bei aufrechter Verbindung mit der APOS-Zentrale übermittelt der GNSS-Rover zuerst seine genähere Roverposition im Standardformat NMEA an die Zentrale. NMEA steht für National Marine Electronics Association und ist ein vom maritimen Bereich abgeleitetes internationales Standardformat zur Weitergabe von Positionsdaten. Danach werden auf Basis dieser Näherungsposition die Daten einer virtuellen Referenzstation generiert und im Format RTCM zum Rover zur weiteren Verarbeitung zurückgesendet. Im Gegensatz zur zeitabhängigen GSM-Einwahl basieren die Kosten für die Datenbereitstellung via "Mobile Internet" auf Abrechnung der übertragenen Datenmenge durch den Service-Provider.

2.6.4. Master-Auxilliary-Konzept (MAC)

Eine weitere Möglichkeit zur Punktbestimmung im APOS-Echtzeitbetrieb ist das Master-Auxilliary-Concept (MAC) [20]. Während bei der Methode der virtuellen Referenzstation sämtliche Korrekturen in der Zentrale angebracht werden, und am Rover nur mehr die kurze Basislinie zu einer nicht realen Referenzstation gebildet wird, werden beim MAC ein Großteil der Berechnungen direkt am Rover vorgenommen.

Der Rover sendet seine Näherungsposition an die APOS-Zentrale und erhält die Beobachtungsdaten aller Satelliten der nächstgelegenen Permanentstation (Master-Station). Von den umliegenden Stationen (Auxilliary-Stationen) werden in der Zentrale für alle mit der Master-Station gemeinsam beobachteten Satelliten mit gelöster Mehrdeutigkeit, Korrektur-Differenzen berechnet und an den Rover übermittelt. Aus diesen Daten kann am Rover, mit eigenen Berechnungsmodellen, eine bestmögliche Position bestimmt werden.

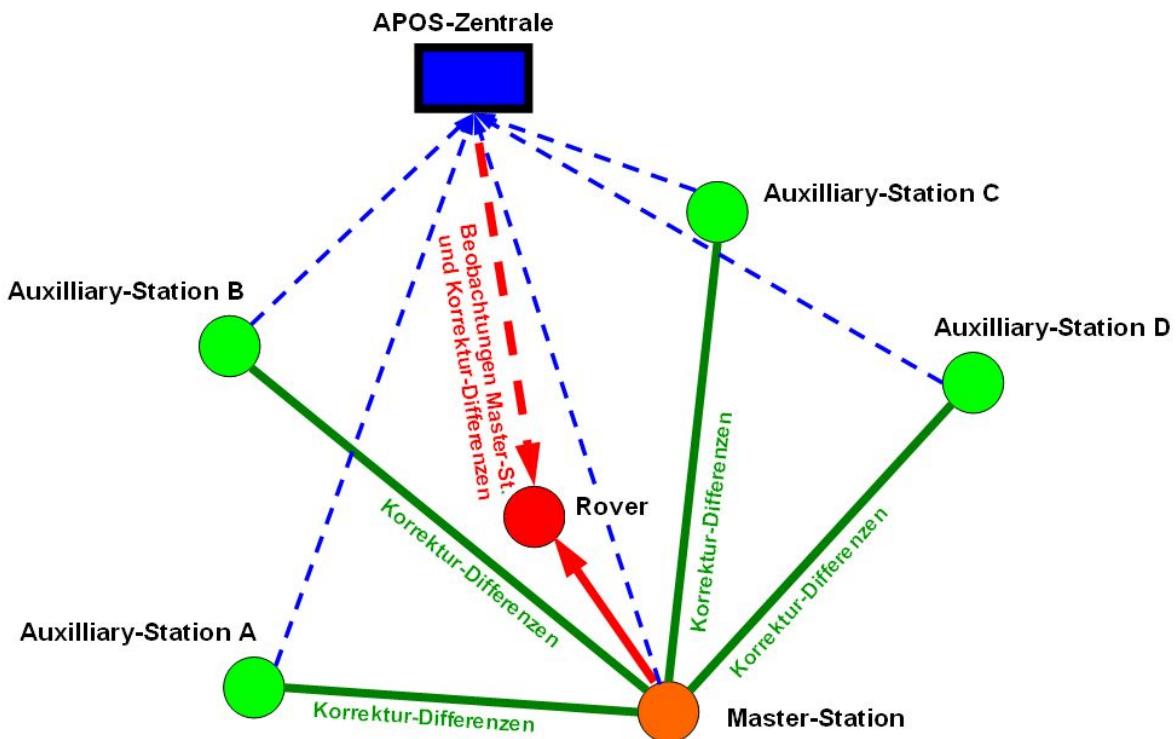


Abbildung 25: Prinzip des Master-Auxiliary-Concept

Während sich bei der VRS-Lösung die Anzahl der gemeinsamen Satelliten verringern kann, da nicht immer alle beobachteten Satelliten im Netzwerkalgorithmus gelöst sind, stehen beim MAC sämtliche an der Master-Station beobachteten Satelliten für die Positionsberechnungen am Rover zur Verfügung. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist die Nachvollziehbarkeit der Punktbestimmung. Sämtliche Berechnungen beziehen sich auf real vermarkte Referenzstationen, allenfalls erforderliche Nachberechnungen können daher auch im Postprocessing vorgenommen werden.

Nachteilig im Vergleich zur VRS-Lösung ist eine längere Initialisierungszeit durch die im Normalfall wesentlich längere Basislinie zur Master-Station, und eine fünf- bis zehnfach größere Datenmenge die von der APOS-Zentrale an den Rover gesendet wird.

Voraussetzung zur Nutzung dieses Dienstes ist die Unterstützung der RTCM3.1-Netzwerkmessages sowie die Verfügbarkeit der entsprechenden Software am Rover.

Beide Verfahren, VRS und MAC, liefern im Idealfall identische Ergebnisse.

2.6.5. APOS-Produkte

APOS bietet zwei Echtzeitpositionierungsdienste (APOS Real Time) an und stellt Daten für Postprocessing-Zwecke zum Download zur Verfügung (APOS-Postprocessing).

APOS Real Time

- APOS-RTK (Real Time Kinematic) mit cm-Genauigkeit für 2 Frequenz-Empfänger (L1/L2)
- APOS-DGPS (Differential GPS) mit Submeter-Genauigkeit für 1 Frequenz-Empfänger (L1)

APOS-Postprocessing

Bereitstellung von Beobachtungsdaten der APOS-Permanentstationen im RINEX-Format (Receiver Independent Exchange Format) für die Auswertung von Beobachtungsdaten nach abgeschlossener Messung (Postprocessing).

Online-3D-Transformation mit dem GIS-Grid

APOS-RTK bietet via Mobile Internet im Datenformat RTCM 3.1 die Möglichkeit unter Verwendung des GIS-Grids (Kapitel 4.2.1) in Echtzeit eine einheitliche Online-Transformation vom System ETRS89 in das staatliche System MGI mit einer Genauigkeit besser 15 cm in Lage und Höhe durchzuführen.

Die in der APOS-Zentrale automatisch generierten RTCM 3.1-Messages 1021 und 1023 enthalten die 7 Transformationsparameter (ETRS89 \leftrightarrow MGI) und das GIS-Grid (3D), welche empfängerseitig decodiert und verarbeitet werden können. Die Koordinatenergebnisse am Rover stehen nach erfolgter Fixierung in den Systemen ETRS89 (cm-Genauigkeit) und MGI (dm-Genauigkeit) für weitere Aufgaben zur Verfügung. Nähere Informationen zu diesem Thema sind im Kapitel 4.2.3 beschrieben.

Details über die APOS Produkte sowie Bestellung und Nutzungsbedingungen findet man auf der Webseite des BEV [19].

2.6.6. APOS-Stationen national und international

Das APOS-Referenzstationsnetz ist in der Abbildung 26 dargestellt. Es sind neben den nationalen Partnern ÖAW, Kelag und LFUI auch die Stationen sämtlicher benachbarter Vermessungsverwaltungen integriert:

- ÖAW (Österreichische Akademie der Wissenschaften)
- Kelag (Energieversorger in Kärnten)
- Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (LFUI)
- SAPOS (Deutschland)
- AGNES/SWIPOS (Schweiz)
- STPOS (Autonome Provinz Bozen)
- SIGNAL(Slowenien)
- GNSSnet.hu (Ungarn)
- SKPOS (Slowakei)
- CZEPOS (Tschechische Republik)

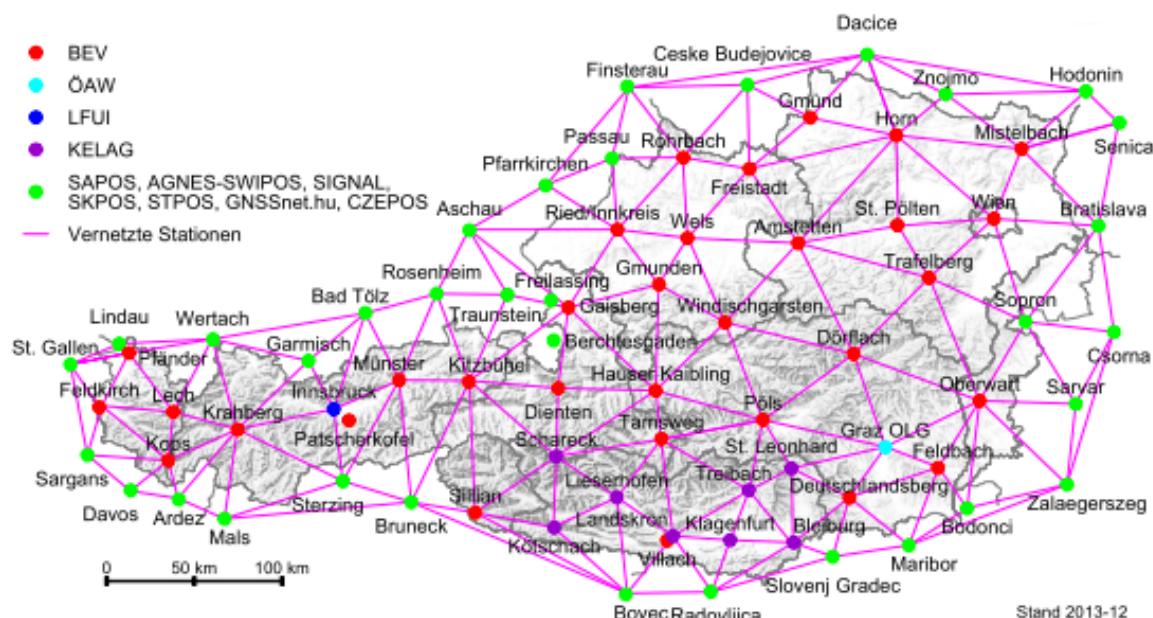


Abbildung 26: APOS Referenzstationsnetz

APOS-Postprocessing stellt die RINEX-Daten von ausgewählten Referenzstationen (siehe Abbildung 27) des BEV, der ÖAW, der KELAG und der LFUI zur Verfügung.

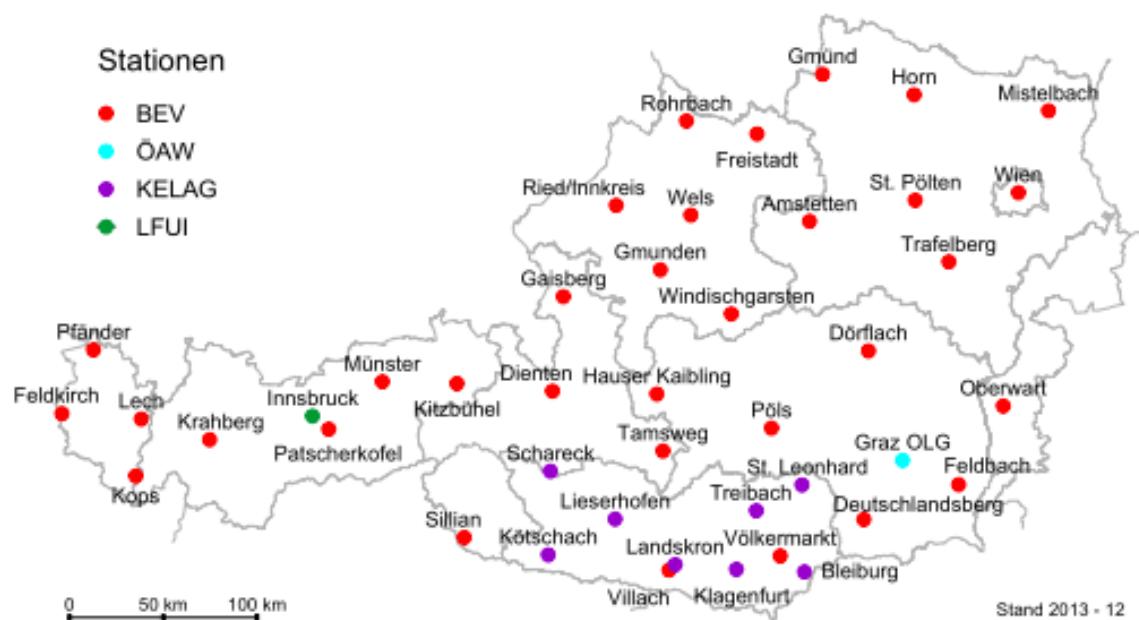
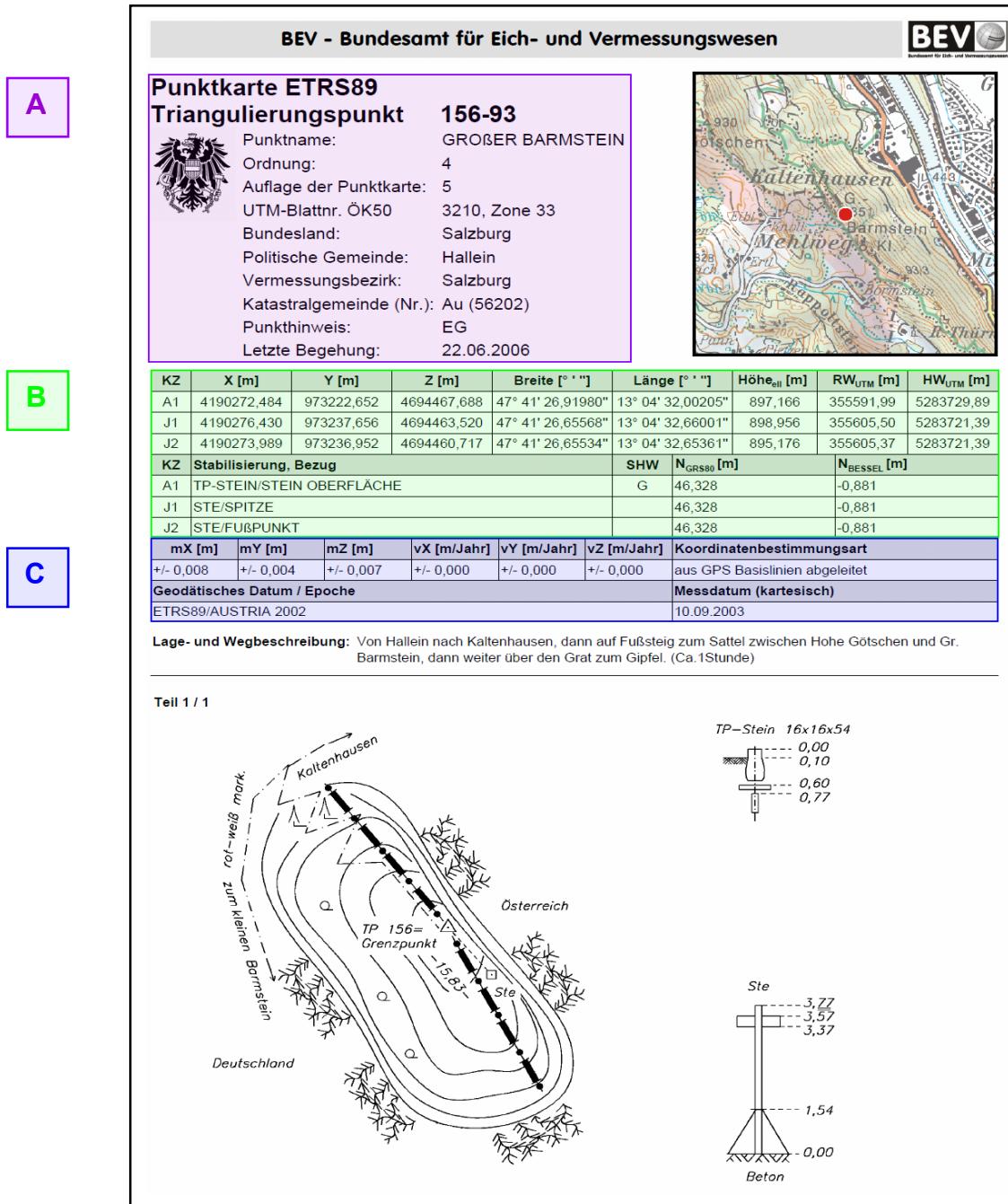


Abbildung 27: Referenzstationen für APOS – Postprocessing

2.7. Punktkarte ETRS89

Im Zuge der Homogenisierung des österreichischen Festpunktfeldes (Kapitel 3) werden derzeit für alle Festpunkte ETRS89-Koordinaten bestimmt. Seit Februar 2011 werden bereits vorliegende ETRS89-Koordinaten von Festpunkten auch an Kunden abgegeben. Der Inhalt der neuen Punktkarte ist aus den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

Neben den kartesischen Koordinaten (X, Y, Z) und ihren Genauigkeiten (mX, mY, mZ) werden auch ellipsoidische Koordinaten (Breite, Länge, ellipsoidische Höhe bezogen auf GRS80) und Koordinaten in der Abbildung UTM (RW, HW) angeboten. Wesentliche Inhalte sind weiters die Geoidundulationen (sowohl auf das BESSEL-Ellipsoid als auch auf das GRS80-Ellipsoid bezogen), die Geschwindigkeiten des Punktes, die Koordinatenbestimmungsart und das Messdatum. Letzteres ist eine Art „Zeitstempel“ für die Koordinate und wesentlich auch im Hinblick auf Bodenbewegungen (siehe Kapitel 3.6)



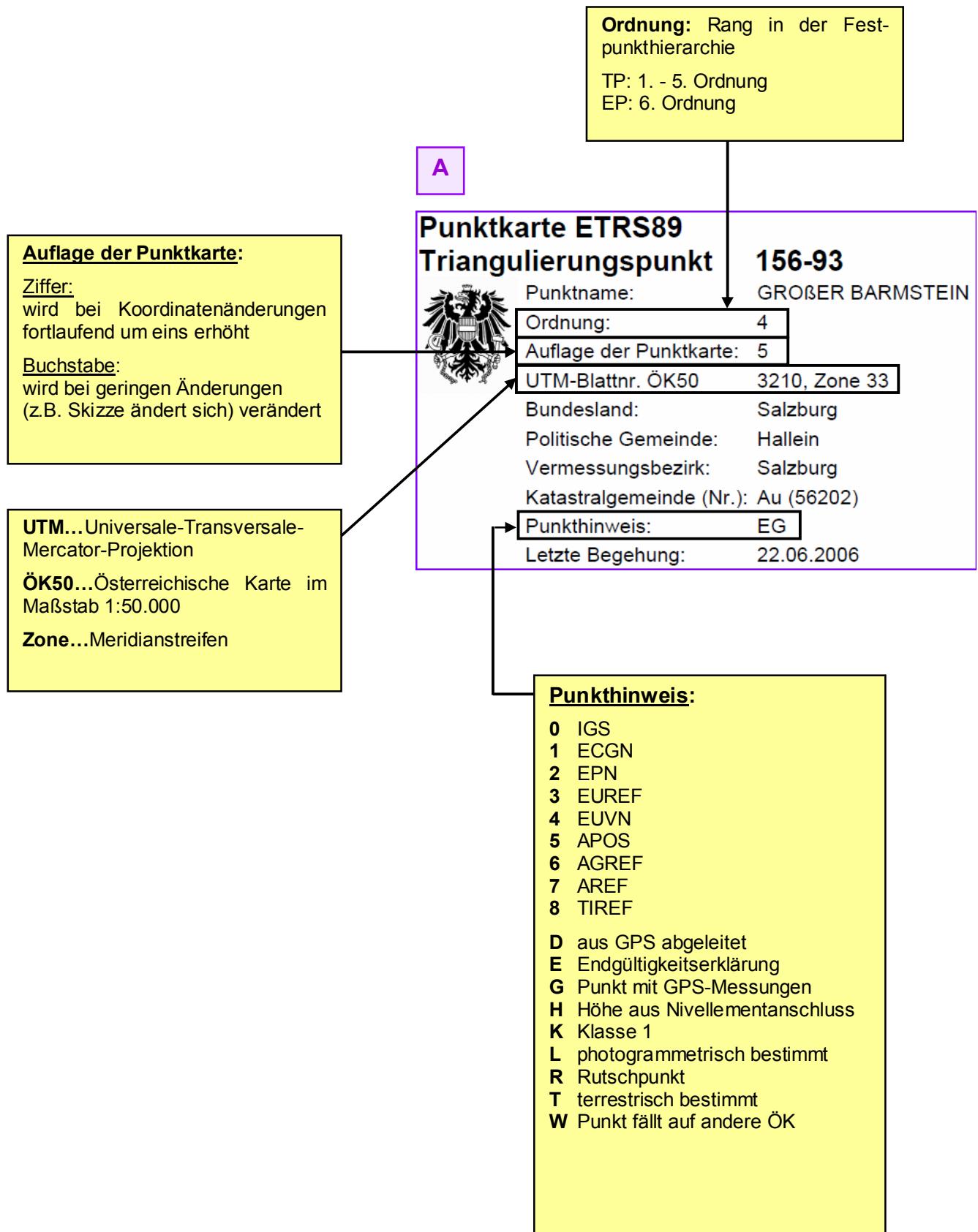


Abbildung 29: Punktkarte ETRS89 – Detail A

Kennzeichen (KZ):

- A** Stein (KT-, TP-, EP-Stein, Nivellementstein)
- B** Bolzen (KT-Bolzen, Standpunktbolzen, Turmbolzen)
- C** Rohr (Eisenrohr, Rohr mit Schutzring)
- D** Platte (Klinker-, Stein-, Betonplatte)
- E** EP-Marke (Metall-, Kunststoffmarke)
- F** Marke im Boden (Kreuz im Fels, im Beton,...)
- G** Indirekte Stabilisierung (Gabelpunkte u. a.)
- H** Höhenbolzen, Höhenmarken, Kugelbolzen
- J** Eisensignal, Scheibensignal
- K** Kreuz (Gipfel-, Feldkreuz, gemauerter Bildstock, Kreuz Spitze, Fußpunkt, Querbalken)
- L** Blitzableiter (Fußpunkt, Spitze, Dachständer, Fernsehantenne)

- M** Mast (Fahnenmast, Leitungsmast aus Holz, Tragmast, Sendemast)
- N** Giebel, Dachreiter
- P** Pyramide
- Q** Standsignal
- R** Ringbolzen
- S** Schlot, Kamin
- T** Turm (Turm Süd, Turm Nord, Turmziele: Dachspitze, Kreuz Fußpunkt, Querbalken, Spitze, Knauf Mitte)
- U** Stabilisierung exzentrisch neu stabilisiert
- V** Stabilisierung oder Hochziel verloren
- W** Warte

Einstellige Zahl = laufende Nummer

		Kartesische Koordinaten		Ellipsoidische Koordinaten GRS80		Ellipsoidische Höhe GRS80		UTM-Koordinaten (Rechts- und Hochwert)	
B		X [m]	Y [m]	Z [m]	Breite [$^{\circ} \text{ ' ''}$]	Länge [$^{\circ} \text{ ' ''}$]	Höhe _{ell} [m]	RW _{UTM} [m]	HW _{UTM} [m]
A1		4190272,484	973222,652	4694467,688	47° 41' 26,91980"	13° 04' 32,00205"	897,166	355591,99	5283729,89
J1		4190276,430	973237,656	4694463,520	47° 41' 26,65568"	13° 04' 32,66001"	898,956	355605,50	5283721,39
J2		4190273,989	973236,952	4694460,717	47° 41' 26,65534"	13° 04' 32,65361"	895,176	355605,37	5283721,39
KZ	Stabilisierung, Bezug				SHW	N _{GRS80} [m]	N _{BESSEL} [m]		
A1	TP-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE				G	46,328	-0,881		
J1	STE/SPITZE					46,328	-0,881		
J2	STE/FUßPUNKT					46,328	-0,881		

Stabilisierungshinweis (SHW):

- 4** Hochziel nur für Orientierung
- 5** Höhe vorläufig
- 6** Koordinaten vorläufig (PÜK)
- 8** OEST17 (=Operatsbezeichnung) 1.Ordnung
- 9** OEST17 2.-3.Ordnung
- G** Stabilisierung GPS tauglich
- R** Stabilisierung mit Bodenbewegung
- W** ID-Wechsel auf andere Stabilisierung
- Z** Zentrisch neu stabilisiert

Geoidundulation (N) bezogen auf das Bessel Ellipsoid mit dem geodätischen Datum MGI

Geoidundulation (N) bezogen auf das Ellipsoid GRS80 mit dem geodätischen Datum ETRS89

Abbildung 30: Punktkarte ETRS89 – Detail B

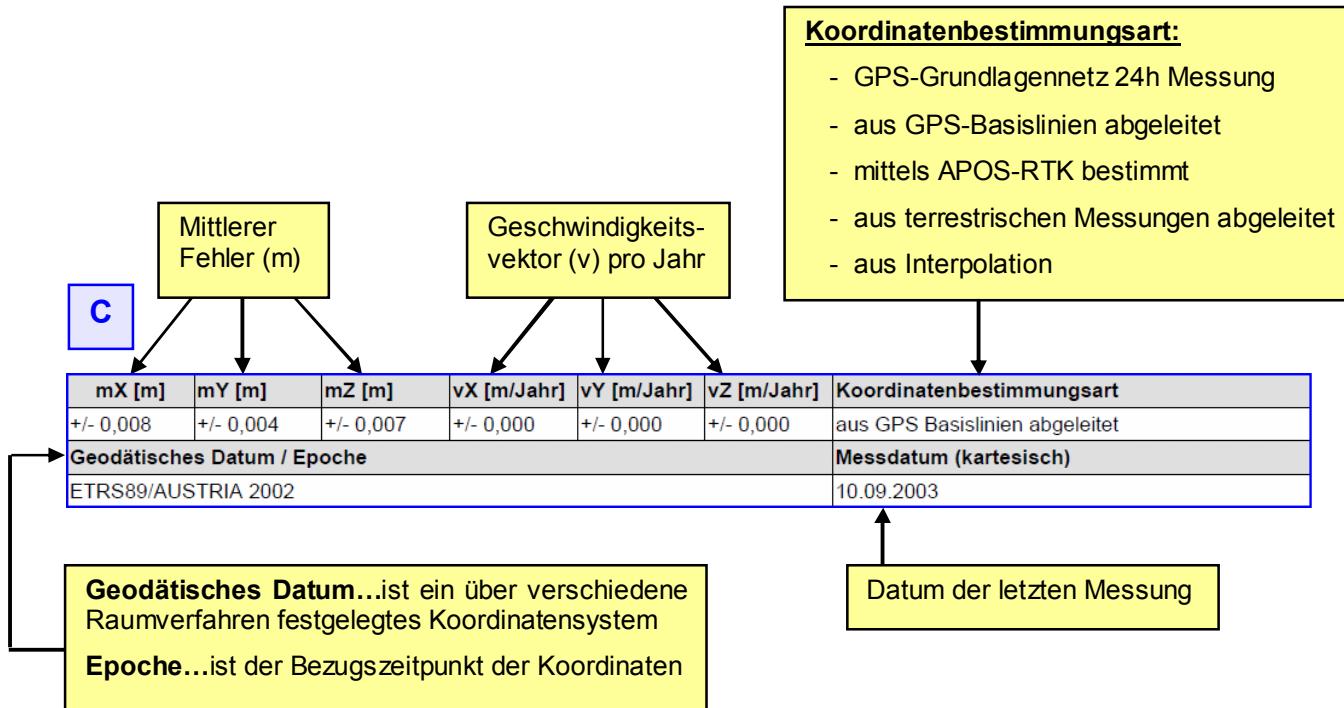


Abbildung 31: Punktkarte ETRS89 – Detail C

2.8. Die universale transversale Mercatorprojektion UTM

Ähnlich der Gauß-Krüger-Abbildung für das System MGI wird die UTM-Abbildung im System ETRS89 verwendet. Dabei wird im Ursprung des Systems das Ellipsoid GRS80 eingeschrieben und dieses wiederum auf berührende Zylinder abgebildet, welche sich jedoch auf andere Berührungsmeridiane als in der Gauß-Krüger-Abbildung beziehen. Die für die UTM-Projektion eingesetzten Formeln (siehe dazu Kapitel 7.1) sind mit jenen der Gauß-Krüger-Abbildung bis auf einen zusätzlich eingeführten Maßstab identisch.

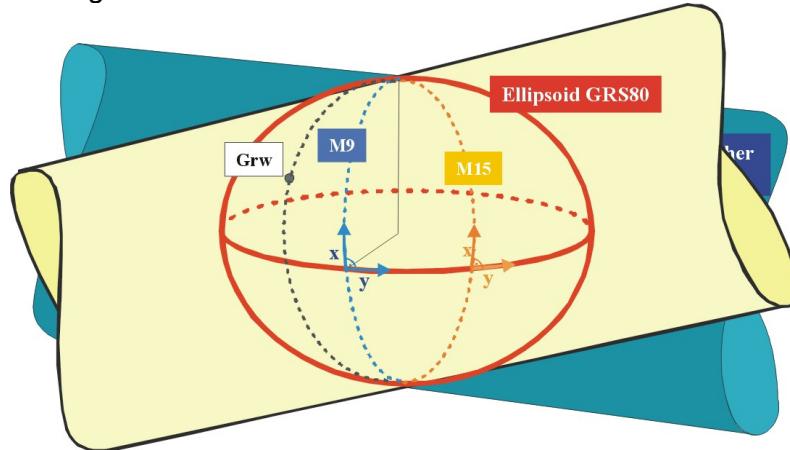


Abbildung 32: UTM-Projektion

Das internationale UTM-System überdeckt die Erde mit 60 Meridianstreifensystemen mit je einer Längenausdehnung von 6° . Der Bezugsmeridian der Längenangaben ist Greenwich. Die Mittelmeridiane der als Zonen bezeichneten Streifensysteme liegen bei 3° , 9° , 15° usw. östlicher und westlicher Länge. Die Zonen sind durchlaufend von West nach Ost nummeriert, beginnend bei dem Mittelmeridian 177° westlicher Länge. Innerhalb jeder Zone werden in Nord-Süd-Richtung Bereiche von 8° Breitenunterschied gebildet, welche, beginnend bei 80° südlicher Breite, mit großen Buchstaben von "C" – "X" (ohne "I" und "O") bezeichnet werden.

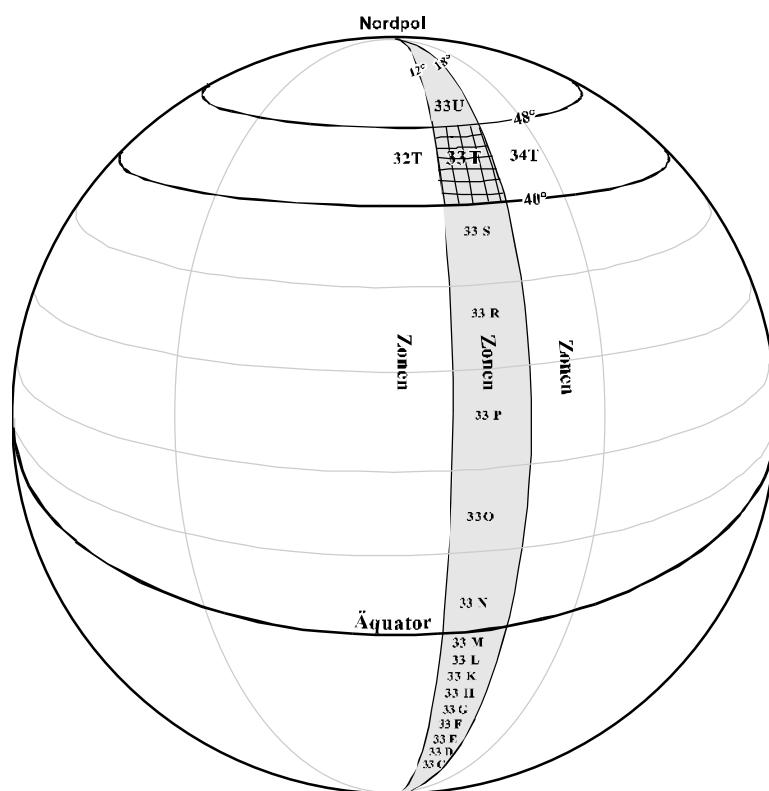


Abbildung 33: UTM-Zoneneinteilung

Österreich wird zur Gänze von den beiden Zonen 32, mit dem Mittelmeridian bei 9° östlicher Länge (M09), und Zone 33, mit dem Mittelmeridian bei 15° östlicher Länge (M15), abgedeckt.

Um größere Längenverzerrungen im Bereich der Grenzmeridiane zu vermeiden, ist der Mittelmeridian nicht längentreu, sondern mit dem Maßstabsfaktor 0,9996 abgebildet. Eine Längentreue ergibt sich damit etwa bei 180 km beiderseits des Mittelmeridians, während die Längenverzerrung am Grenzmeridian etwa 1,00015 beträgt.

Die Meridianstreifen bilden ein ebenes rechtwinkeliges Koordinatensystem. Ursprung der rechtwinkeligen Koordinatensysteme ist der Schnittpunkt des entsprechenden Mittelmeridians mit dem Äquator.

Der Rechtswert ("E" für Easting) ergibt sich aus der y-Koordinate ausgehend vom Mittelmeridian plus eine Additionskonstante von 500km. Der Hochwert ("N" für Northing) ergibt sich aus dem Wert der x-Koordinate ausgehend vom Äquator.

2.9. Der Blattschnitt der UTM-Kartenprodukte

Mit dem Beitritt zum NATO-Programm "Partnerschaft für den Frieden" (Partnership for Peace, PfP) hat sich Österreich verpflichtet, die nationalen Kartenwerke hinsichtlich Bezugssystem, Projektion, Maßstab, Blattschnitt, etc. den internationalen Vorgaben anzupassen. Sämtliche Kartenwerke wurden deshalb vom bisher verwendeten System MGI mit Gauß-Krüger-Abbildung ins ETRS89-System mit UTM-Abbildung umgebildet.

2.9.1. Österreichische Karte 1:50 000 (ÖK50-UTM)

Der Blattschnitt der neuen Österreichischen Karte 1:50 000 beträgt 20' x 12' und erfolgt nach runden geographischen Gitterlinien. Die durchschnittliche Fläche eines von den Gitterlinien begrenzten Blattbereichs beträgt 560 km². Um das gesamte Bundesgebiet abzudecken sind 191 Kartenblätter erforderlich.

Die Blattnummerierung der Österreichischen Karte 1:50 000 erfolgt durch vier Ziffern. Die ersten beiden Ziffern beschreiben einen Bereich von 2° x 1°, die beiden folgenden Ziffern geben die Blattstellung innerhalb dieses Bereichs an, wobei eine fortlaufende Nummerierung von 1 bis 30 von links oben nach rechts unten erfolgt.

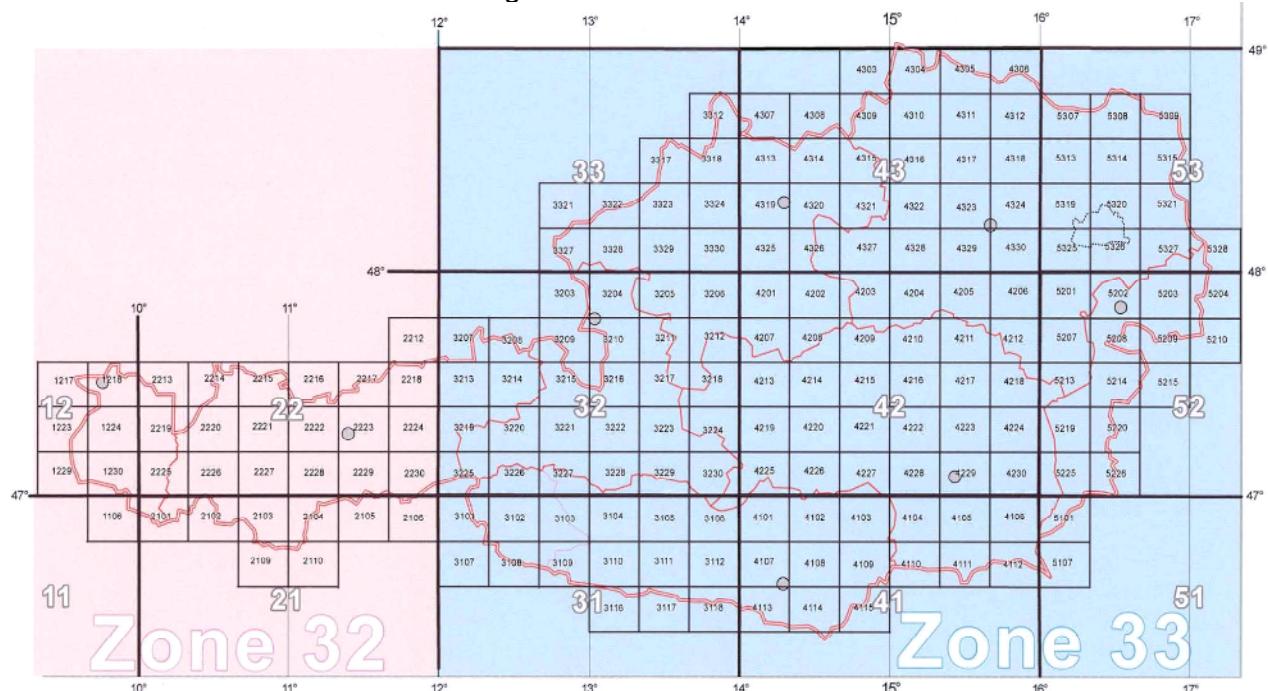


Abbildung 34: UTM-Blattschnitt der ÖK 50

Die ÖK50-UTM wird seit August 2011 gemeinsam mit dem Institut für Militärisches Geowesen (IMG) des Bundesministeriums für Landesverteidigung und Sport (BMLVS) herausgegeben und inhaltlich mit einem zusätzlichen militärischen Aufdruck versehen.

2.9.2. Österreichische Karte 1:25 000 V (ÖK25V-UTM)

Das Kartenwerk ÖK25V-UTM entsteht durch zweifache Vergrößerung des Karteninhalts der ÖK50-UTM. Das dabei entstehende Kartenformat macht es notwendig die Fläche einer ÖK50-UTM in vier Teilen abzubilden. Dabei wird der Inhalt der ÖK50-UTM in Westhälfte und Osthälfte geteilt und jeweils die Nordhälfte auf die Vorderseite und die Südhälfte auf die Rückseite eines Blattes gedruckt.

Der Blattschnitt der neuen Österreichischen Karte 1:25 000 V beträgt 10' x 12' und erfolgt nach runden geographischen Gitterlinien.

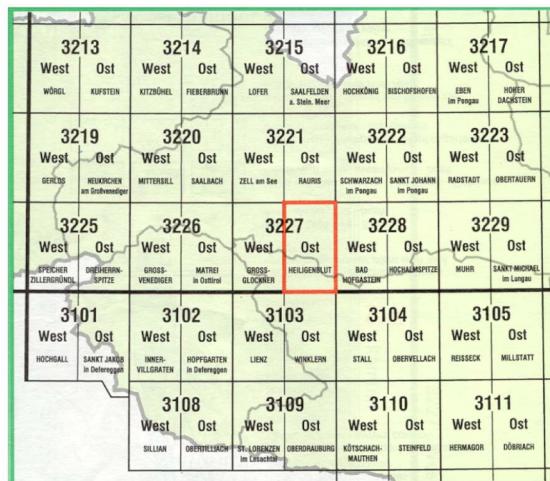


Abbildung 35: UTM-Blattschnitt der ÖK 25V

Die Österreichische Karte 1:25 000 V weist dasselbe Nummerierungssystem wie die ÖK50 auf. Da ein ÖK25V Blatt jeweils aus der West- oder der Osthälfte einer ÖK50 besteht, enthält die Blattnummer noch den Zusatz "West" oder "Ost".

2.9.3. Österreichische Karte 1:200 000 (ÖK200-BLK, Bundesländerkarte)

Die Österreichische Karte 1:200 000 bildet auf einem Kartenblatt ein gesamtes Bundesland ab, daher richtet sich auch der Blattschnitt nach der Ausdehnung der einzelnen Bundesländer. Zur Abdeckung des gesamten Bundesgebietes sind 8 Kartenblätter erforderlich (Wien und Niederösterreich werden in einer Karte abgebildet).

Die Österreichische Karte 1:200 000 weist keine Nummerierung auf. Sie wird durch den Namen des Bundeslandes angesprochen.

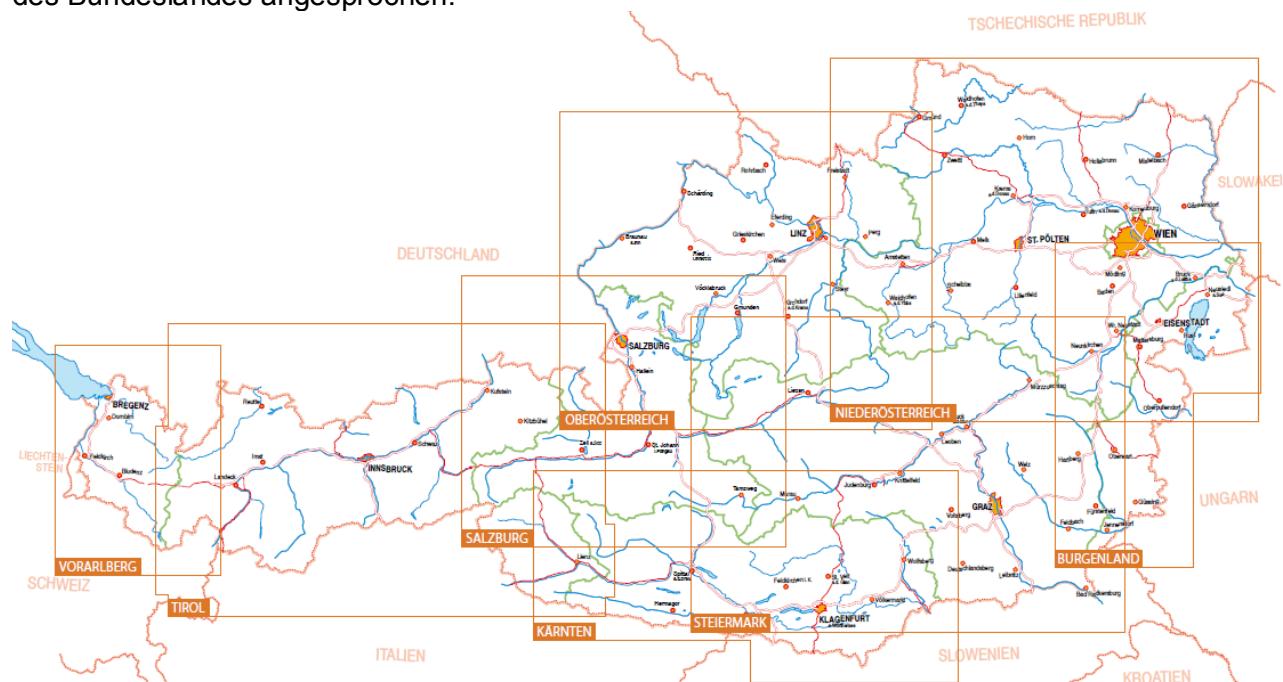


Abbildung 36: Blatteinteilung der Bundesländerkarte 1:200 000

2.9.4. Österreichische Karte 1:250 000 (ÖK250)

Die Österreichische Karte 1:250 000 (ÖK250) ist ein neues Kartenwerk, das in Kooperation zwischen dem BEV und dem IMG des Bundesministeriums für Landesverteidigung und Sport herausgegeben wird. Die ÖK250 ist durch kartographisches Generalisieren von der ÖK200-BLK abgeleitet und ist eine topographische Übersichtskarte mit Geländedarstellung durch Höhenschichtlinien, Felsdarstellung und Reliefschummerung. Weitere Inhalte sind eine flächenhafte Siedlungsdarstellung, das Gewässernetz, das Verkehrswegenetz und geographische Namen von Siedlungen und wichtigen Objekten. Da es sich bei dieser Karte auch um eine offizielle Militärkarte handelt, werden zusätzliche Informationen über Verbindungsbedeutung, Straßenbreiten, Engstellen, eingeschränkte Brückenbelastbarkeit und Durchfahrtshöhen, sowie außergewöhnliche Steigungen und Standorte von Krankenhäusern dargestellt.

Die Österreichische Karte 1:250 000 wird flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet und das angrenzende Ausland in 12 Blättern aufgelegt. Jedes der 12 Kartenblätter hat eine Ausdehnung von $2^\circ \times 1^\circ$.

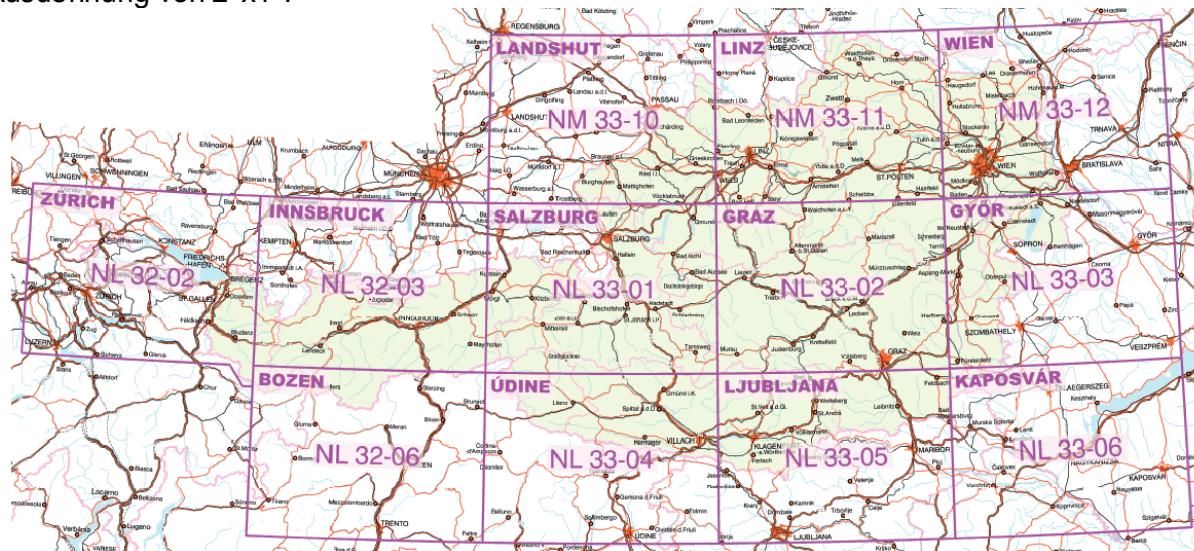


Abbildung 37: Blattschnitt der Österreichischen Karte 1:250 000 (ÖK250)

2.9.5. Das Meldesystem der BEV-Kartenprodukte

Das UTM-System bildet ein ebenes rechtwinkeliges Koordinatengitter. Damit ergibt sich aus runden wertgleichen Rechts- und Hochwerten ein Quadratnetz. Dieses Quadratnetz dient als Meldenetz. Die Gitterlinien sind bei der Österreichischen Karte 1:50 000-UTM und 1:25 000V-UTM im Abstand von 1 km und bei der Österreichischen Karte 1:200 000 im Abstand von 10 km angeordnet.

Auf den Kartenblättern der ÖK50-UTM und ÖK25V-UTM ist am Kartenrand jeweils ein Beispiel angebracht, welches bei der Arbeit mit dem Meldesystem hilft. In grauer Schrift ist das militärische - und in brauner Schrift das zivile Meldeverfahren erläutert; sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache.

Ortsangabe eines Objektes: HOCHTOR - Gipfelkreuz	UTMREF (MGRS)	UTM
Wert der nächsten senkrechten Gitterlinie westlich des Objektes... ...ablesen (zweistellig wie im Kartenbild der Militärkarte). ...ermitteln (sechsstellig, siehe SW-Ecke).	36	Position des Kartenblattes: <i>Map sheet position:</i> Zonenfeld: <i>Grid Zone Designation:</i> 33T
Abstand der Gitterlinie zum Objekt... ...hinzufügen (in Zehntel des Gitterlinienabstandes). ...addieren (1mm \approx 50m).	2	100-km-Quadrat: <i>100-km-Square Identification:</i> 33T
Wert der nächsten waagrechten Gitterlinie südlich des Objektes... ...ablesen (zweistellig wie im Kartenbild der Militärkarte). ...ermitteln (siebenstellig, siehe SW-Ecke).	16	336 000mE 200
Abstand der Gitterlinie zum Objekt... ...hinzufügen (in Zehntel des Gitterlinienabstandes). ...addieren (1mm \approx 50m).	5	5216000mN 565
Ortsangabe Ortsangabe mit 100-km-Quadrat Ortsangabe mit Zonenfeld	362165 UN362165 33TUN362165	33 336 200 E 5 216 565 N

Abbildung 38: UTM-Meldesystem

2.9.6. Die verschiedenen Nordrichtungen

Man unterscheidet grundsätzlich drei verschiedene Nordrichtungen:

Gitter-Nord

entspricht der Richtung der Abszisse der UTM-Abbildung.

Geographisch-Nord

entspricht der Richtung der Erdachse (ungefähr die Richtung zum Polarstern).

Magnetisch-Nord

Entspricht der Richtung zum magnetischen Nordpol.

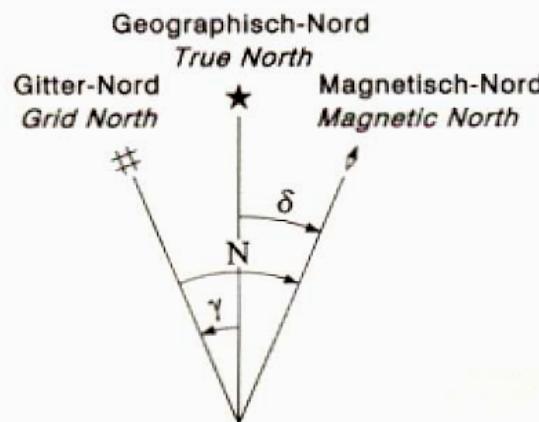


Abbildung 39: Nordrichtungen

Die Unterschiede zwischen den drei Nordrichtungen sind ortsabhängig. Es werden daher für jedes einzelne Kartenblatt die folgenden drei Winkel zwischen den Nordrichtungen, bezogen auf den Kartenmittelpunkt, bekannt gegeben:

Nadelabweichung N

Die Nadelabweichung oder magnetische Konvergenz gibt den Winkel zwischen Magnetisch-Nord und Gitter-Nord an.

Deklination δ

Die Deklination gibt den Winkel zwischen Geographisch-Nord und Magnetisch-Nord an.

Meridiankonvergenz γ

Den Winkel zwischen Geographisch-Nord und Gitter-Nord nennt man Meridiankonvergenz.

Mit diesen drei Winkeln ergibt sich aus Abbildung 39 folgender mathematischer Zusammenhang:

$$N = \delta - \gamma$$

2.10. Die Lambert-Abbildung

Die Lambert-Abbildung ist eine konforme Kegelprojektion. Sie findet Anwendung bei der Österreichischen Karte 1:500 000, auf welcher das gesamte Staatsgebiet in einem Kartenblatt dargestellt wird.

Es wird ein Kegel an das GRS80-Ellipsoid gelegt der dieses in zwei längentreuen Parallelkreisen in 46° und in 49° Breite schneidet. Der Koordinatenursprung der Abbildung liegt bei Breite $\varphi = 47^{\circ}30'$ Nord und Länge $\lambda = 13^{\circ}20'$ Ost.

Der Koordinatenangabe werden folgende Additionskonstanten zugeschlagen:

$$\begin{aligned} dy &= 400\,000 \text{m} \\ dx &= 400\,000 \text{m} \end{aligned}$$

2.11. Gegenüberstellung MGI ↔ ETRS89

Die wichtigsten Merkmale des österreichischen Bezugssystems MGI und des europäischen Bezugssystems ETRS89 werden hier nochmals in tabellarischer Form gegenübergestellt.

	MGI	ETRS89
Bezugsellipsoid	Bessel 1841	GRS80
Projektionssystem	Gauß-Krüger	UTM
Bezugsmeridiane	28°, 31°, 34° östl. von Ferro	9° und 15° östlich von Greenwich (Zone 32 und 33)
Breite der Abbildungsstreifen	3° (je 1.5° nach Ost und West)	6° (je 3° nach Ost und West)
Maßstab des Mittelmeridians	1	0.9996

Tabelle 10: Gegenüberstellung MGI - ETRS89

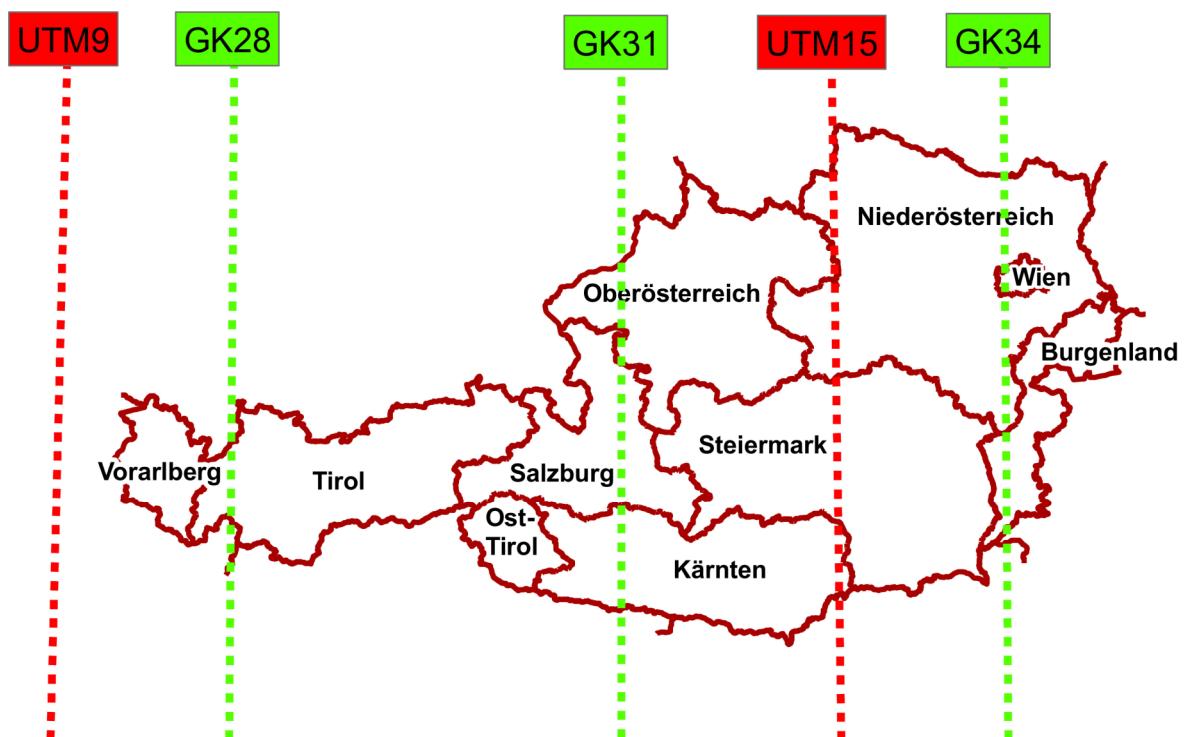


Abbildung 40: Mittelmeridiane von GK und UTM in Österreich

3. Homogenisierung des Festpunktfeldes

3.1. Status Quo des österreichischen Festpunktfeldes

Das derzeit in Verwendung stehende österreichische Festpunktfeld ist, wie in Kapitel 1.2 beschrieben, historisch gewachsen. Durch die Verwendung immer modernerer und genauerer Vermessungsverfahren traten unvermeidbare systematische Fehler im Gebrauchsnetz immer deutlicher zum Vorschein. Die Ursachen dieser Fehlereinflüsse liegen dabei unter anderem an folgenden Gründen:

- Die Wurzeln des bestehenden Netzes in MGI sind im so genannten Gradmessungsnetz zu finden. Dieses wurde zur Erforschung der Erdgestalt in den Jahren 1862-1899 angelegt und beobachtet. 40 Punkte mit ihren vom Militärgeographischen Institut ermittelten geographischen Positionen wurden unverändert übernommen und sind bis heute noch in Verwendung.
- Da mit den damals zur Verfügung stehenden Mittel kein Ausgleich des Netzes in einem Guss möglich war, wurden die Punkte schrittweise berechnet. An den Nahtstellen der Berechnungseinheiten entstanden mitunter größere Netzspannungen.
- Punkte niedrigerer Ordnung (2. bis 5. Ordnung) wurden zumeist in größeren Netzverbänden in das übergeordnete Netz durch Richtungsmessungen eingeschaltet. Die Fehler in den Koordinaten des Gebrauchsnetzes 1. Ordnung wurden dabei je nach Netzkonfiguration übertragen oder aufgeteilt.
- In den Punkten der 4. und 5. Ordnung schlug sich der Einfluss der Topographie in einem wesentlich schlechteren Netzausbau als in der 1. bis 3. Ordnung nieder. Die dort oft notwendigen steileren Sichten hatten größere systematische Schwerefeldeinflüsse (Lotabweichung) auf die Strecken- und Winkelmessung zur Folge. Die Nichtberücksichtigung dieses Einflusses ist im erzielten Koordinatenergebnis, zum Teil im Dezimeterbereich, spürbar.
- Der überwiegende Teil des Netzes 6. Ordnung der Einschaltpunkte (EP) wurde in der Vergangenheit einerseits über terrestrische Messungen (EDM und Theodolit) und andererseits über photogrammetrische Verfahren (Aerotriangulation) bestimmt. Für die terrestrisch bestimmten Punkte gilt das gleich wie für die 5. Ordnung, die photogrammetrisch bestimmten Punkte waren jedoch zum Teil von individuellen Fehlern größeren Ausmaßes geprägt. Mittlerweile wurden alle photogrammetrisch bestimmten EP mit terrestrischen Messungen neu bestimmt.

An sehr vielen Festpunkten (1. - 6. Ordnung) wurden in der Vergangenheit Katastervermessungen angeschlossen, wobei zwecks Wahrung der Nachbarschaftsgenauigkeit danach getrachtet wurde, die unmittelbar umliegenden Punkte zu verwenden. Die lokalen Unstimmigkeiten wurden dabei auf die Grenzpunkte übertragen. Um die Nachbarschaftsgenauigkeit für alle Folgemessungen wahren zu können - der Verlust einzelner Punkte oder Punktgruppen kann diese entscheidend beeinflussen - ist es notwendig dieses inhomogene Punktfeld zu erhalten, wodurch auf die Dauer enorme Erhaltungskosten entstehen. Auf der anderen Seite werden vor allem die satellitengestützten Messverfahren, selbst über sehr große Entfernung, immer genauer und benötigen zudem nur eine geringe Anzahl von Punkten zur Aufrechterhaltung des Systems.

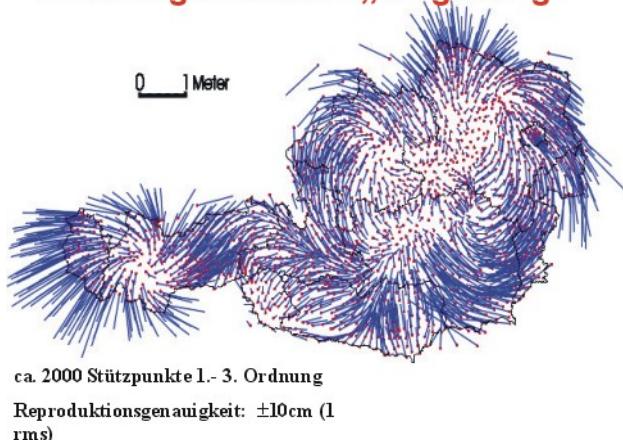
Aus dieser Diskrepanz der kostspieligen Aufrechterhaltung eines inhomogenen Systems im Vergleich zur ökonomischeren Gestaltung eines hochgenauen homogenen Systems entstand die Forderung zur Modernisierung des Festpunktfeldes und der davon abgeleiteten Produkte (z.B. Kataster).

3.2. Inhomogenitäten

Man unterscheidet einerseits langwellige und andererseits kurzwellige systematische Fehleranteile in den Koordinaten. Ein „langwelliger“ Trend, der vor allem aus der Ungenauigkeit der Festpunkte 1. bis 3. Ordnung resultiert, wird dabei von einem „kurzweligen“ Trend in den Punkten 4. bis 6. Ordnung überlagert, der sich u.a. aus einem unzureichenden Netzausbau, der

Nichtberücksichtigung von Schwerkraftdeinflüssen (Lotabweichung) oder nicht exakter örtlicher Beziehungen entsteht.

Inhomogenitäten - „langwellig“



Inhomogenitäten - „kurzwellig“

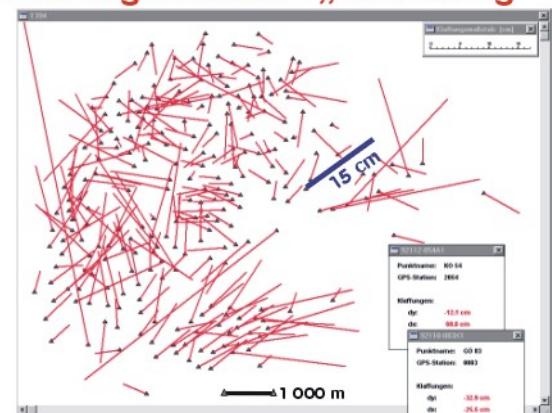


Abbildung 41: langwellige und kurzwellige Inhomogenitäten

Stellt man die mit modernen Messverfahren erzielten Koordinatenergebnisse (z.B. in ETRS89) mittels 7 Parameter-Transformation in Beziehung zu den Koordinaten des Gebrauchssystems erhält man die Unterschiede in Form von Klaffungen, in der Folge auch als Homogenvektoren bezeichnet. Für den gesamten Bereich Österreichs betragen diese bis zu über 1,50 Meter.

3.3. Das Homogenvektormodell

Das funktionale Modell für den Zusammenhang zwischen dem System MGI (GK) und dem System ETRS89 (UTM) zeigt Abbildung 42.

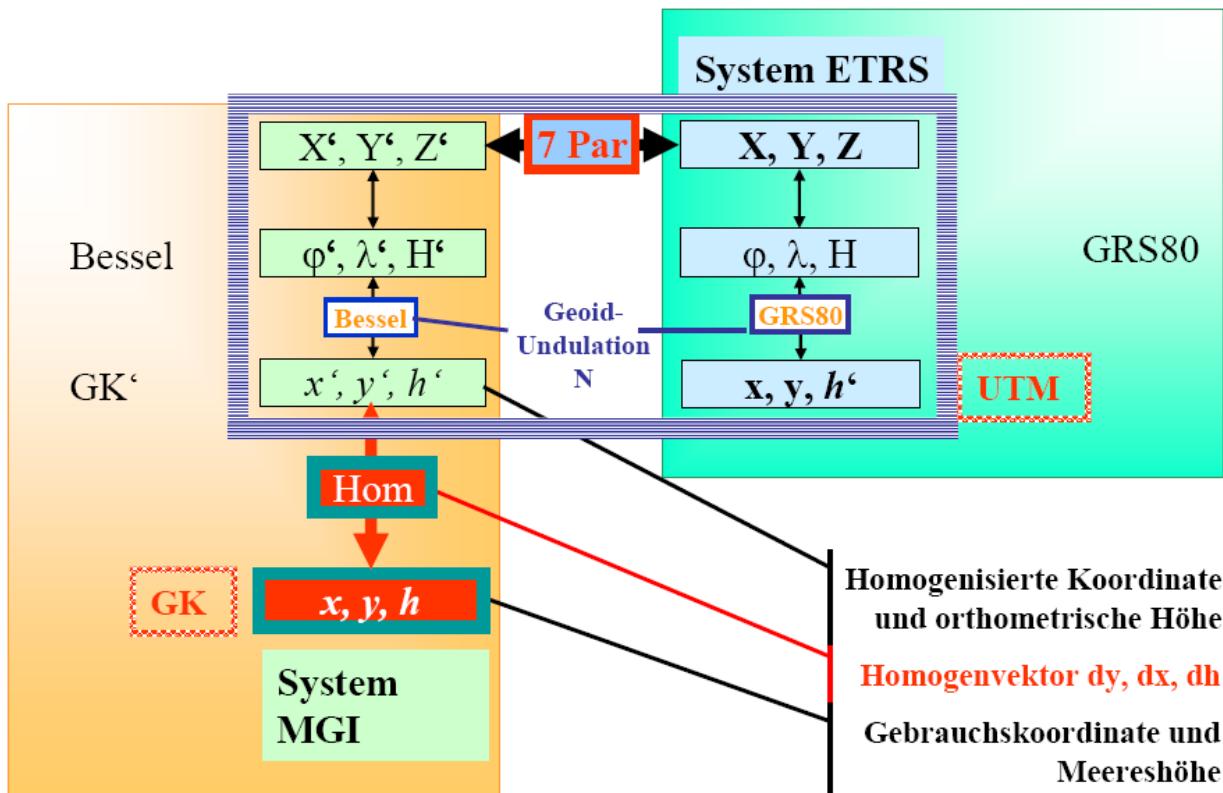


Abbildung 42: Homogenvektormodell

In beiden Systemen sind die 3 Koordinatenformen eines Punktes (3-dimensionale kartesische, ellipsoidische und Koordinaten aus der Projektion) zu erkennen, wobei eine Koordinatenform aus der andern über fixe Algorithmen (Formelsysteme) hervorgeht. Weiters sind MGI und ETRS89 über die kartesischen Koordinaten mittels des bundesweiten 7-Parameter-Satzes

(siehe Kapitel 4.1) verknüpft. Der Übergang zwischen den beiden Höhensystemen orthometrische Höhe und ellipsoidische Höhe wird über die Geoidundulation beschrieben. Der schraffiert umrandete Bereich bildet einen so genannten Transformationsmodul, der bei Kenntnis einer bestimmten Koordinatenform alle anderen errechnen kann. Sind z.B. die UTM-Koordinaten im System ETRS89 aus GPS-Messungen bekannt kann eine homogenisierte GK-Koordinate im System MGI berechnet werden. Diese wird im Allgemeinen verschieden von der Gebrauchscoordinate sein.

Die Klapfung zwischen homogenisierten Koordinaten und Gebrauchscoordinaten in den einzelnen Komponenten dy, dx und dh wird als Homogenvektor bezeichnet. Ist daher neben der Gebrauchscoordinate der Homogenvektor eines Punktes bekannt, kann jede beliebige Koordinatenform über den Transformationsmodul errechnet werden und man gelangt in das System ETRS89. Der Zusammenhang zwischen den beiden Systemen wird dadurch umkehrbar eindeutig beschrieben. Die Arbeiten zur Homogenisierung des Festpunktfeldes und der Folgeprodukte sind daher über die punktuelle Ermittlung des Homogenvektors lösbar.

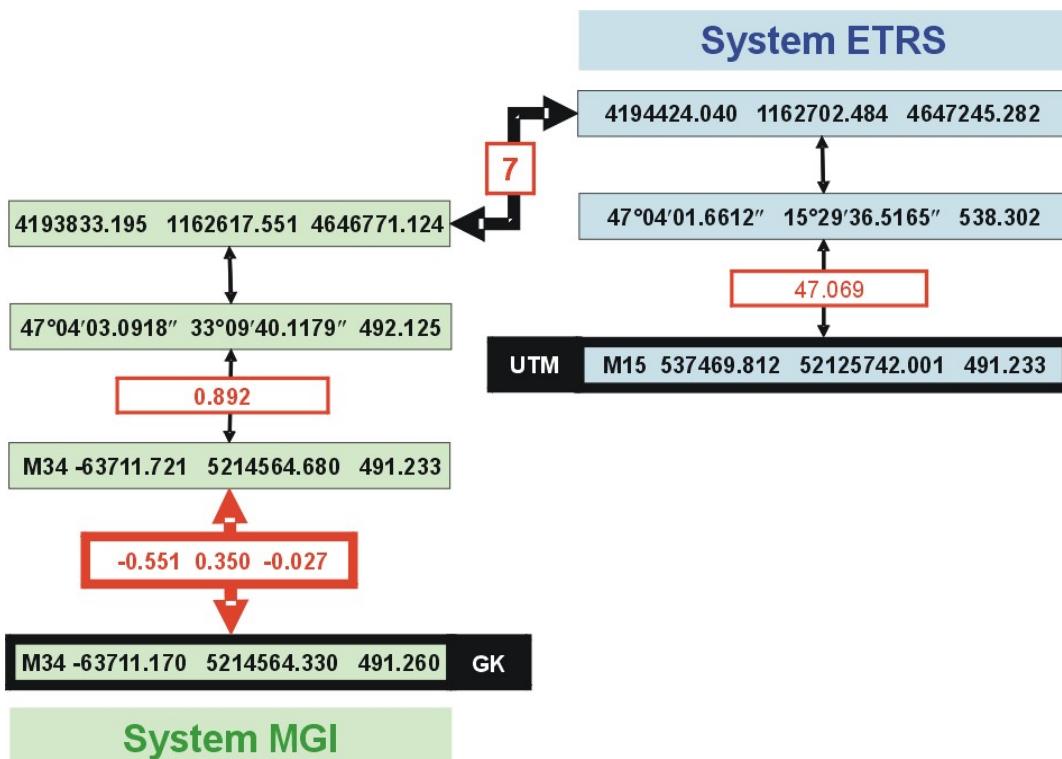


Abbildung 43: Homogenvektormodell - Zahlenbeispiel

3.4. Möglichkeiten zur Ermittlung des Homogenvektors

Der Homogenvektor eines Punktes kann auf drei verschiedene Arten bestimmt werden:

1.) Messung

Punkte mit bekannten Gebrauchscoordinaten werden zusätzlich im ETRS89 bestimmt. Aus der Gegenüberstellung der homogenisierten Koordinaten und der Gebrauchscoordinaten erhält man den Homogenvektor.

2.) Ausgleich

Im homogenisierten System werden Punkte über Messdaten (i.d. Regel terrestrische) neu berechnet. Aus der Gegenüberstellung mit den Gebrauchscoordinaten erhält man den Homogenvektor.

3.) Interpolation

Der Homogenvektor wird aus einer Interpolation gewonnen. Umgebende Punkte dienen als Stützstellen.

Die Messung mit GPS sowie der Ausgleich über terrestrische Messungen bilden die Hauptverfahren bei den Triangulierungspunkten 1.-5. Ordnung. Seit 1989 werden daher ergänzende GPS-Messungen durchgeführt sowie Strecken-, Richtungs- und Höhenwinkelmessungen aus den vorliegenden Operaten des Archivs digital erfasst. Mit Ende 2005 sind diese Daten für das gesamte Bundesgebiet auch tatsächlich verfügbar. Das seit 1989 gemessene Basisliniennetz, die verfügbaren terrestrischen Messungen und die APOS-RTK-Messungen sind aus den nachfolgenden Grafiken ersichtlich (Stand April 2015).

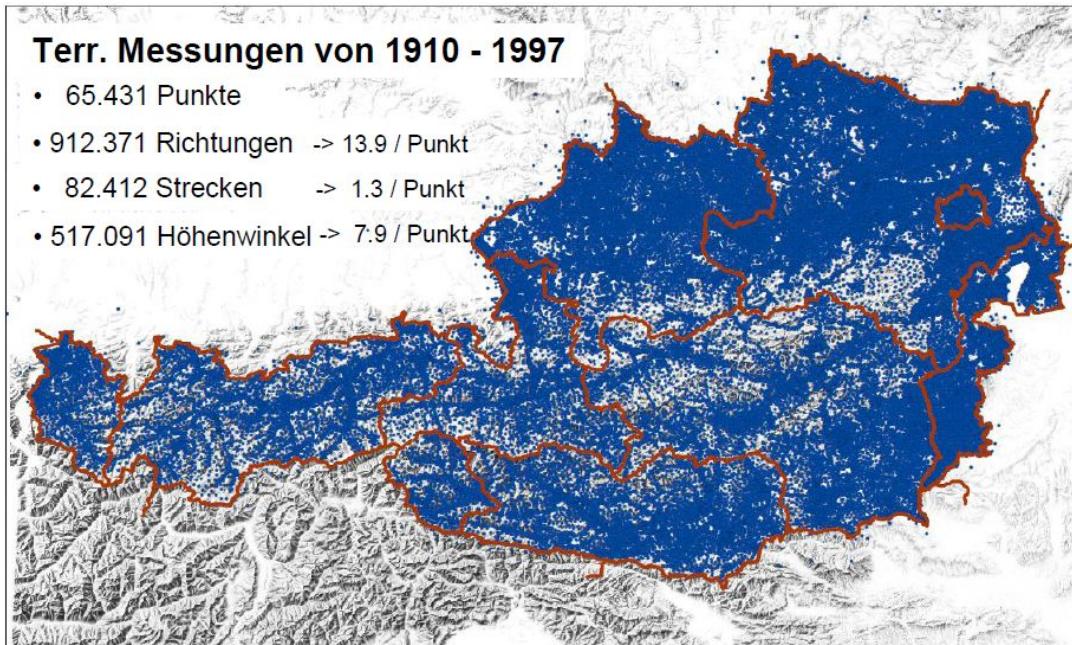


Abbildung 44: verfügbare terrestrische Messungen

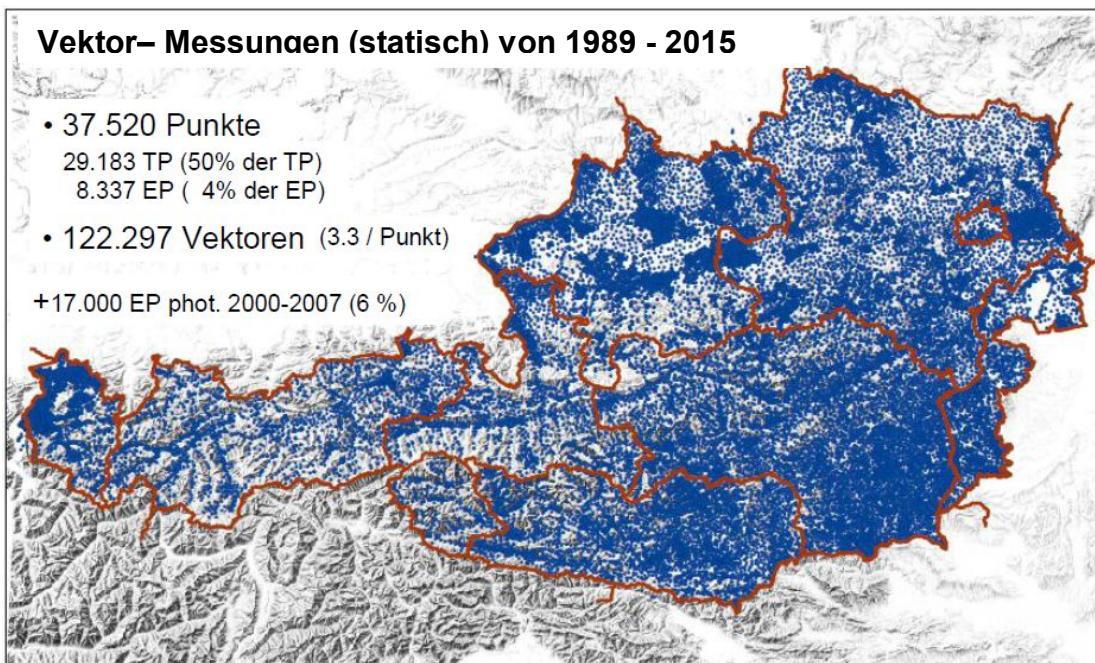


Abbildung 45: verfügbare GPS-Messungen

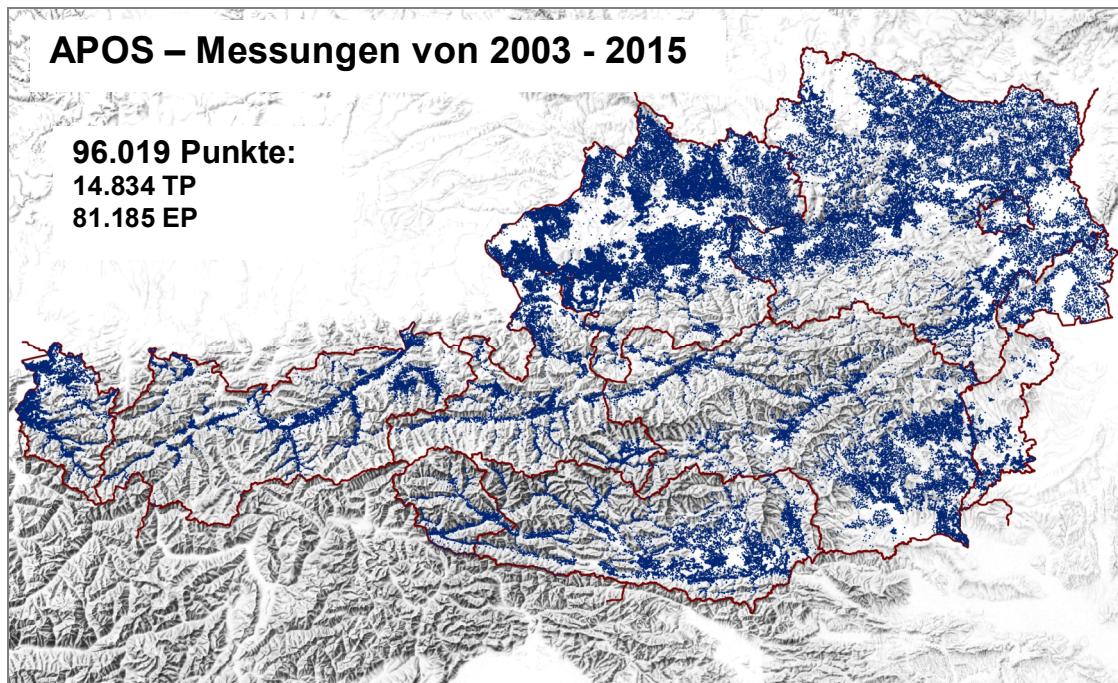


Abbildung 46: verfügbare APOS-RTK-Messungen

3.5. Realisierungsstufen der Homogenisierung

Folgende drei Realisierungsstufen bilden die Strategie zur Homogenisierung des österreichischen Festpunktfeldes:

3.5.1. Homogenisierung des Festpunktfeldes über das System ETRS89

Mit den GNSS-Basislinien von ca. 29.000 TP's und sämtlichen seit 1921 getätigten terrestrischen Messungen (diese werden in einer Beobachtungsdatenbank geführt) werden die ETRS89-Koordinaten der Triangulierungspunkte 1.-5. Ordnung über Neuausgleichungen bestimmt.

In der 6. Ordnung erfolgt die Koordinatenbestimmung in ETRS89 im Vorhaben REVUE (REVision und UEbermessung der Festpunkte) mittels APOS-Messungen.

Sobald für einen Festpunkt ETRS89-Koordinaten vorliegen, steht für diesen Punkt auch eine ETRS89-Punktkarte (Kapitel 2.7) zur Verfügung. Bis zum Jahre 2019 sollen alle Triangulierungspunkte und der überwiegende Teil der Einschaltpunkte ETRS89-Koordinaten erhalten.

3.5.2. Homogenisierung des Katasters und anderer Folgeprodukte

Die Nachführung des Katasters und anderer Folgeprodukte könnte über Interpolationsverfahren mit dafür geeigneten Werkzeugen erfolgen. An einer Lösung zur flächenhaften Transformation (Kapitel 4.2) mit einer Interpolationsfläche wird derzeit gearbeitet.

3.5.3. Wesentliche Reduktion der Festpunktdichte

Nach heutigem Ermessen kann nach Abschluss der Homogenisierung die Anzahl der Festpunkte auf 10-20% des derzeitigen Umfanges reduziert werden. Koordinatenbestimmung im System ETRS89 wird dann weitestgehend durch den Echtzeitpositionierungsdienst APOS erfolgen. Lediglich in Gebieten, in denen GNSS-Messungen nicht möglich sind (urbanes Gebiet oder Waldgebiet) und in Gegenden mit signifikanten Bodenbewegungen wird eine größere Dichte an Festpunkten benötigt werden.

3.6. Detektion von Bodenbewegungen

Eine wesentliche Erkenntnis aus den bisherigen Berechnungen zur Homogenisierung betrifft den relativ hohen Prozentsatz an Punkten mit Bodenbewegungen (ca. 6% der Punkte). Nachdem eine Bewegung allerdings nur bei Punkten feststellbar ist, die Mehrfachmessungen aufweisen (dies sind aufgrund des derzeit vorliegenden Datenbestandes ca. 60% der Punkte) ist mit einem höheren Prozentsatz zu rechnen.

Die Verteilung der Punkte mit Bodenbewegungen (sowohl Hangrutschungen als auch Senkung von Gebieten) im Bundesland Vorarlberg geht aus nachfolgender Grafik hervor.

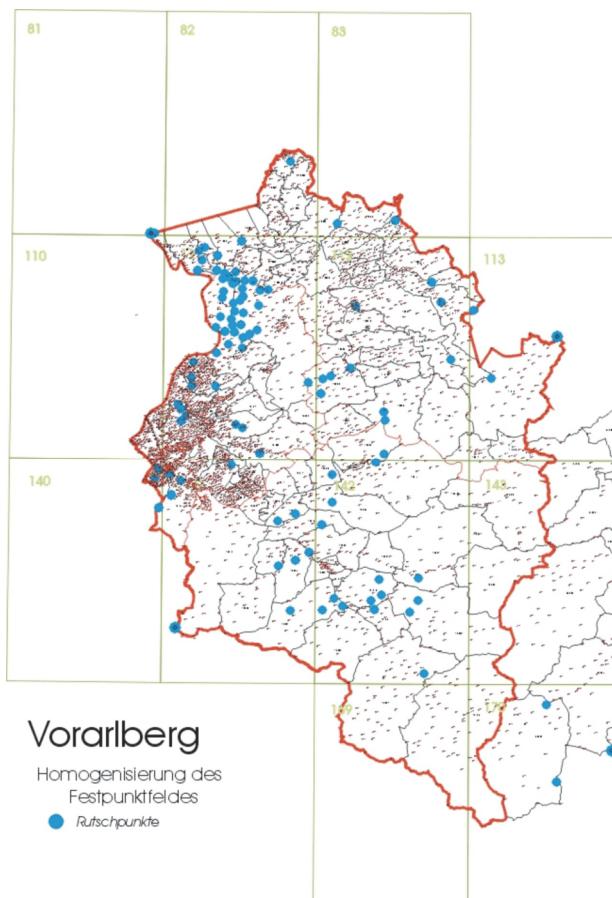


Abbildung 47: Punkte mit Bodenbewegungen in Vorarlberg

Aus der nachfolgenden Abbildung ist das aus Messdaten abgeleitete Ergebnis über Hangbewegungen im Bereich der alten Gerlos-Bundesstraße ersichtlich. Verwendet wurden dazu terrestrische Messungen bis 1982 und GPS-Vektoren ab 1991 [6].

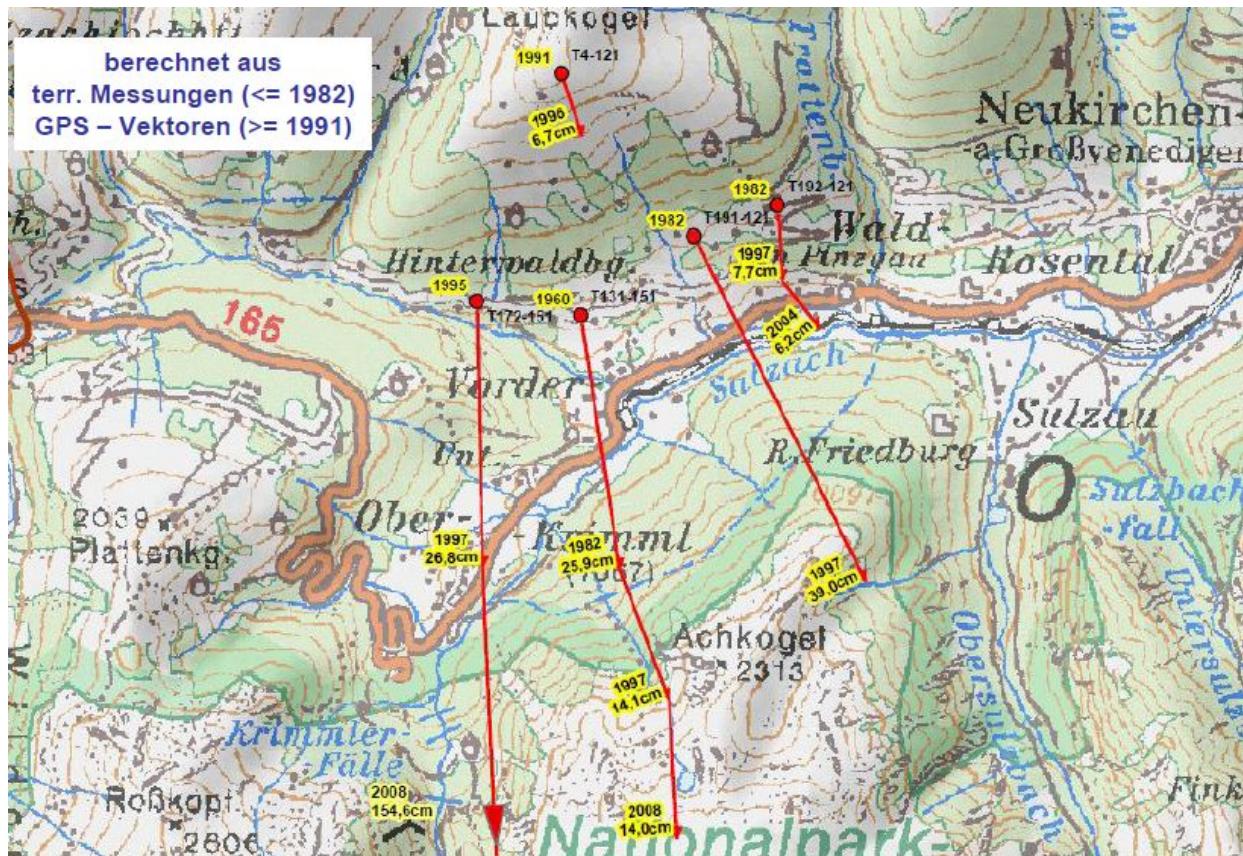


Abbildung 48: Bodenbewegungen im Bereich der Gerlos - Bundesstraße

4. Transformation zwischen MGI und ETRS89

Abhängig von Definition und Realisierung sind Koordinatensysteme im Allgemeinen unterschiedlich im Erdkörper gelagert. Zur Transformation zwischen diesen Systemen muss daher die gegenseitige Lage der beiden betroffenen Systeme bekannt sein. Um eine Transformationsvorschrift bestimmen zu können, benötigt man je nach Transformationsansatz eine gewisse Anzahl von Identpunkten, das sind Punkte mit bekannten Koordinaten in beiden Systemen.

In diesem Kapitel werden zwei wesentliche Transformationsmodelle zur Umrechnung zwischen den Systemen MGI und ETRS89 vorgestellt, die 7-Parametertransformation und die flächenbasierte Transformation mittels einer Interpolationsfläche.

4.1. 7-Parameter-Transformation

Die 7-Parameter-Transformation ist eine konforme (winkeltreue) Transformation, bei der der Systemübergang mit einer Verschiebung des Koordinatenursprungs, einer Verdrehung der beiden Systeme und einem Maßstabsfaktor modelliert wird (siehe Abbildung 49). Der Maßstabsunterschied beider Systeme resultiert vor allem aus der unterschiedlichen Genauigkeit in der Realisierung.

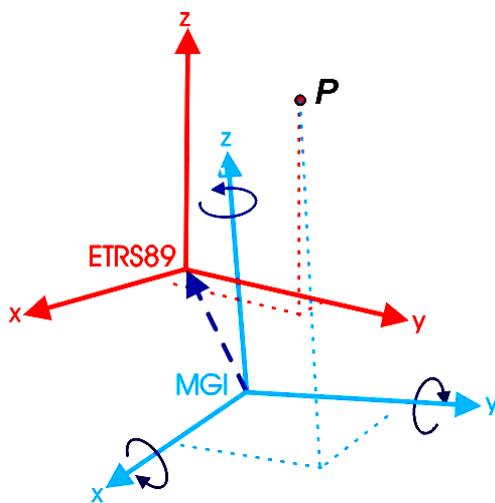


Abbildung 49: 7-Parameter-Transformation

Kennt man diese 7 Parameter (3 Verschiebungen des Nullpunktes, 3 Rotationen um die Koordinatenachsen und 1 Maßstab) kann der Übergang von einem in das andere System erfolgen.



mit der orthogonalen Drehmatrix:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \alpha(z) & -\alpha(y) \\ -\alpha(z) & 1 & \alpha(x) \\ \alpha(y) & -\alpha(x) & 1 \end{pmatrix}$$

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| $\delta\bar{x}$ | Verschiebungsvektor |
| m | Maßstabsfaktor |
| $\alpha(x)$ | Drehung um die X-Achse |
| $\alpha(y)$ | Drehung um die Y-Achse |
| $\alpha(z)$ | Drehung um die Z-Achse |

Die Bestimmung dieser Parameter kann nur durch Verwendung von Identpunkten erfolgen, d.h. eine Gruppe von Punkten muss sowohl in dem einen als auch im anderen System bekannt sein. Bei diesem Vorgang wird versucht eine optimale Anpassung der identischen Punktgruppen beider Systeme zu erreichen, indem man sie so zur Deckung bringt, dass dabei die Abweichungen in den Identpunkten in allen drei Koordinatenrichtungen x, y und z am geringsten sind.

Es ist dabei klar, dass unterschiedliche Punktgruppen auch unterschiedliche Parametersätze liefern. Nimmt man z.B. zur Ermittlung eines für ganz Österreich repräsentativen Parametersatzes gut verteilte Punkte über das ganze Bundesgebiet (nationaler oder bundesweiter Parametersatz) erhält man andere Parameter als bei Verwendung von Identpunkten für ein Bundesland (regionaler Parametersatz) oder gar eines kleineren Gebietes (lokaler Parametersatz). Die Abweichungen in den Identpunkten werden in der Regel dabei immer geringer, je kleiner ein Gebiet gewählt wird.

Der offizielle bundesweite Parametersatz wurde im Jahre 1996 aus AGREF-Punkten abgeleitet und besitzt folgende Werte:

ΔX	- 577.326 m	Verschiebung des Koordinatenursprungs in X-Richtung
ΔY	- 90.129 m	Verschiebung des Koordinatenursprungs in Y-Richtung
ΔZ	- 463.919 m	Verschiebung des Koordinatenursprungs in Z-Richtung
$\alpha(x)$	5.137 "	Drehung um die X-Achse
$\alpha(y)$	1.474 "	Drehung um die Y-Achse
$\alpha(z)$	5.297 "	Drehung um die Z-Achse
dm	- 0.0000024232	Differenz im Maßstab

Tabelle 11: bundesweiter Parametersatz

Wie schon in Kapitel 3.2 beschrieben, betragen bei Verwendung dieses bundesweiten Parametersatzes die Abweichungen in den Koordinaten der Identpunkte – auch als Restklaffungen bezeichnet – österreichweit bis zu 1.5 Meter und sind von systematischem Charakter. Betrachtet man nur die Restklaffungen in der Lage ergibt sich nachfolgende Grafik.

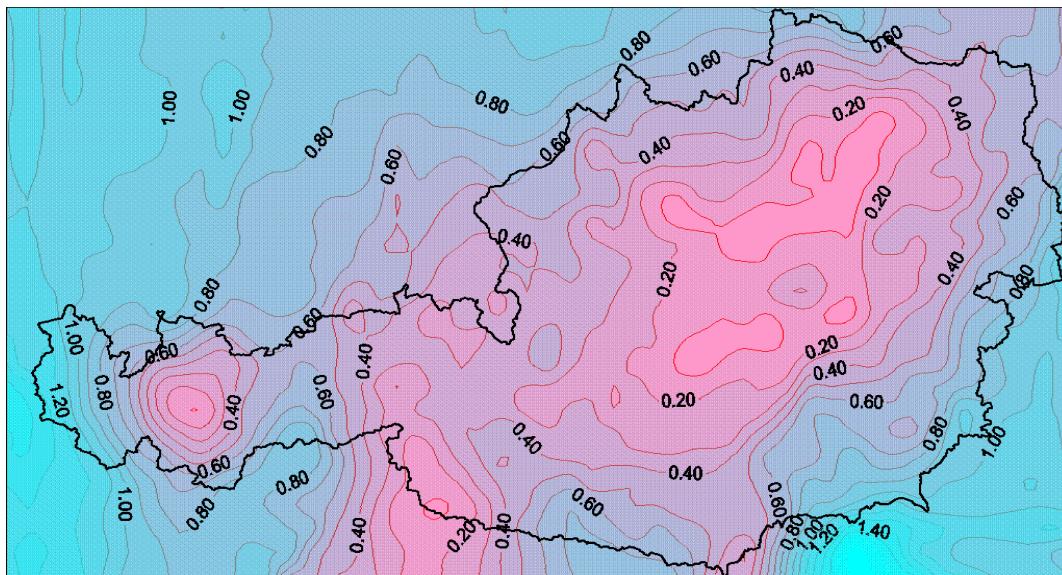


Abbildung 50: Restklaffungen in Lage bei Verwendung des bundesweiten Parametersatzes

Das Problem der Restklaffungen stört die Geometrie zwischen den transformierten Neupunkten und den Identpunkten vor allem dann, wenn sie eng benachbart liegen. Der Betrag der Klaffung geht dabei fast vollständig in die gegenseitige Beziehung ein.

Abhilfe wird gewöhnlich dadurch geschaffen, dass aus den Restklaffungen ein Isolinienmodell abgeleitet wird und aus diesem gewisse Zuschläge für die Koordinaten der mittransformierten Neupunkte errechnet werden. Dieser Vorgang wird auch als Glättung oder Restklaffenverteilung bezeichnet.

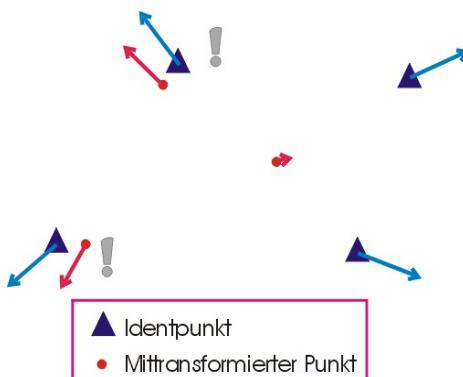


Abbildung 51: Verzerrung der Geometrie in der Nähe von Identpunkten

4.2. Flächenbasierte Transformation

Eine sehr elegante Methode für den Übergang zwischen zwei Koordinatensystemen bietet die flächenbasierte Transformation [14]. Dabei werden Differenzwerte (z.B. für die Länge λ , Breite ϕ oder Höhe) zwischen den beiden Systemen für jeden Punkt eines regelmäßigen Rasters über einen größeren Bereich (z.B. für ganz Österreich) bereitgestellt.

Bei der 7-Parameter-Transformation ist die Güte der transformierten Koordinaten von den zur Ermittlung der Parameter verwendeten Modellpunkten, der Ausdehnung des zu bearbeitenden Gebietes, sowie zu einem erheblichen Teil von der Modellierung der in den Modellpunkten verbleibenden Restklaffungen abhängig. Verwendet man für benachbarte Gebiete jeweils einen eigenen Parametersatz, so ist im gemeinsamen Bereich meist kein kontinuierlicher Übergang gegeben, wodurch die Genauigkeit zusätzlich beeinträchtigt wird.

Bei einer Transformationsfläche hingegen wird ein regelmäßiges Raster über ein bestimmtes Gebiet, z.B. das österreichische Staatsgebiet, gelegt. Die Datumstransformation zwischen MGI und ETRS89 erfolgt dabei durch Interpolation von Verschiebungswerten aus den „Shifts“ der Rasterpunkte. Ein großer Vorteil dieser Methode liegt darin, dass für den gesamten Definitionsbereich der Transformationsfläche ein stetiger Transformationsverlauf gegeben ist. Somit ergeben sich bei der Transformation benachbarter Gebiete keine Unstetigkeitsstellen im Übergangsbereich.

Das regelmäßige Raster für die flächenbasierte Transformation wird in der Regel aus einer Vielzahl von Identpunkten abgeleitet. Dazu werden ebenfalls Interpolationsverfahren angewendet. Der Abstand der Rasterpunkte bestimmt dabei die Genauigkeit, mit der eine Transformation zwischen den beiden Systemen durchgeführt werden kann. Ein sinnvoller Abstand zwischen den Rasterpunkten wird durch die Dichte der Identpunkte bestimmt, aus dem dieser Raster abgeleitet wird.

4.2.1. GIS-Grid

Das GIS-Grid ist eine vom BEV im Jahr 2010 entwickelte Transformationsfläche für den Datumsübergang zwischen dem Europäischen Bezugssystem ETRS89 und dem System der österreichischen Landesvermessung MGI.

Es wurde aus 28.120 Triangulierungspunkten 1. - 5. Ordnung abgeleitet, für die neben den Landeskoordinaten auch Koordinaten im ETRS89 vorlagen. Punkte mit aus Mehrfachmessungen nachgewiesenen Bodenbewegungen wurden von der Modellbildung ausgenommen. Aus diesen Modellpunkten wurde mit dem Kriging-Interpolationsverfahren ein regelmäßiges Raster im System MGI generiert, wobei die Rasterweite 30" in Länge und 45" in Breite beträgt. Dies entspricht einem Punktabstand von etwa 1000m in Ost-West als auch in Nord-Süd.

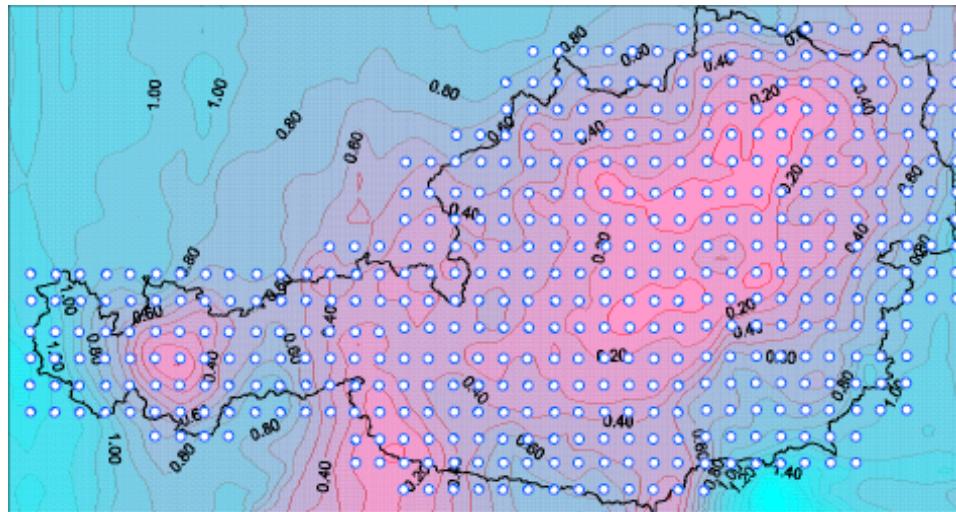


Abbildung 52: Flächenbasierte Transformation mittels GIS-Grid

Jedem dieser Stützpunkte ist jeweils ein Verschiebungswert $d\varphi$ und $d\lambda$ zugewiesen, welche zur Umrechnung zwischen den Ellipsoiden GRS80 und Bessel an die ellipsoidischen Koordinaten φ und λ anzubringen sind. Durch Interpolation der Shiftwerte $d\varphi$ und $d\lambda$ für einen beliebigen Punkt kann dieser in das jeweils andere Datum übergeführt werden (siehe Abbildung 53).

Bei Verwendung dieser Transformationsfläche ist eine österreichweite Lagetransformation mit einer absoluten Genauigkeit von kleiner als 15cm möglich, wobei die Transformation zwischen den beiden Systemen ETRS89 und MGI bidirektional anwendbar ist.

Abbildung 53: Datumsübergang mit den Verschiebungswerten $d\varphi$ und $d\lambda$ des GIS-Grid

Das GIS-Grid wird vom BEV in Form von zwei Produkten angeboten:

- NTv2-Datei zum Download auf der BEV-Homepage (siehe Kapitel 4.2.2)
- Korrekturwerte bei Nutzung des APOS-Echtzeitpositionierungssystems (siehe Kapitel 4.2.3)

4.2.2. Datenformat NTv2

NTv2 [15], [16] ist ein in Kanada entwickelter Standard, der ursprünglich zur Realisierung der Transformation zwischen den nationalen kanadischen Bezugssystemen NAD27 und NAD 83 entwickelt wurde. Mittlerweile ist dieser Standard in zahlreichen GIS-Applikationen implementiert. NTv2 ermöglicht eine rasterbasierte Lagetransformation auf Basis eines regelmäßigen Rasters von Stützpunkten im geographischen Koordinatensystem, wobei jedem dieser Stützpunkte jeweils ein Shiftwert zugeordnet ist. Die Transformation der Höhenkomponente ist im NTv2-Standard nicht definiert.

Die NTv2-Datei kann als ASCII-Datei mit der Dateiendung GSA oder als binäre Datei mit der Dateiendung GSB vorliegen. In den meisten Softwarepaketen wird ein NTv2-Grid als binäre Datei benötigt. Der Dateiheader der NTv2-Datei des GIS-Grid ist in Tabelle 12 dargestellt.

Header	Bezeichnung gemäß NTv2 developer's guide [7]
NUM_OREC 11	Number_of_Overview_Header_Records
NUM_SREC 11	Number_of_Sub_File_Header_Records
NUM_FILE 1	Number_of_Grid_Shift_Sub_Files
GS_TYPE SECONDS	Grid_Shift_Data_Type
VERSION NTv2.0	Version_ID_of_Distortion_Model
SYSTEM_FMGI	Reference_System_From
SYSTEM_TETRS89	Reference_System_To
MAJOR_F 6377397.155	Semi_Major_Axis_From [m]
MINOR_F 6356078.963	Semi_Minor_Axis_From [m]

MAJOR_T	6378137.000	Semi_Major_Axis_To [m]
MINOR_T	6356752.314	Semi_Minor_Axis_To [m]
Beginn Sub-Grid (= GIS-Grid)		
SUB_NAMEMGI		Sub_File_Name
PARENT	NONE	Parent_File_Name
CREATED	15-03-10	Creation_Date
UPDATED	15-03-10	Last_Revision_Date
S_LAT	166860.000000	Lower_Latitude_Limit [seconds]
N_LAT	176580.000000	Upper_Latitude_Limit [seconds]
E_LONG	-61785.000000	Lower_Longitude_Limit [seconds]
W_LONG	-34200.000000	Upper_Longitude_Limit [seconds]
LAT_INC	30.000000	Latitude_Grid_Interval [seconds]
LONG_INC	45.000000	Longitude_Grid_Interval [seconds]
GS_COUNT	199550	Number_of_Grid_Shift_Records
Beginn der Datensätze des Sub-Grid (= GIS-Grid)		
0.000001	0.000001	0.005000 0.005000
0.000001	0.000001	0.005000 0.005000
...		
-1.505653	-3.441625	0.005000 0.005000
-1.507145	-3.435539	0.005000 0.005000
...		
END		

Tabelle 12: Header der NTv2-Datei des GIS-Grid

Die Längengrade sind nach Westen positiv und nach Osten negativ bezeichnet. Diese Eigenheit führt daher, dass das Format für Kanada (westlich von Greenwich) entwickelt wurde. Die Datensätze werden von der südöstlichen Ecke des Definitionsbereichs des Grids zeilenweise von Süd nach Nord angeschrieben. Innerhalb einer Zeile werden die Datensätze von Ost nach West angegeben. Der letzte Datensatz eines NTv2-Grids liegt daher in der nordwestlichen Ecke des Grids.

Die Daten des für Österreich entwickelten GIS-Grid werden als binäre NTv2-Datei auf der Homepage des BEV zum kostenlosen Download bereitgestellt [13].

4.2.3. GIS-Grid und der Echtzeitpositionierungsdienst APOS

Die im GIS-Grid enthaltenen Daten wurden, erweitert mit einer Höhenkomponente, auch als kostenloser Dienst in den Echtzeitpositionierungsdienst APOS des BEV integriert. Für eine vom Rover an die APOS-Zentrale gesendete Näherungsposition im System ETRS89 wird aus dem GIS-Grid ein 4x4 Teilaraster mit den Shifts in Länge, Breite und Höhe ($d\varphi$, $d\lambda$ und dH) erzeugt und an den Rover zurück gesendet. Zur Bestimmung dieser Shiftwerte wird in der APOS-Zentrale die Software TTG (Trimble Transformation Generator) eingesetzt. Auf Roversseite werden aus diesem Teilaraster durch bilineare Interpolation die Korrekturwerte bestimmt. Die Geoidundulation ist in der Höhenkomponente implizit enthalten.

Voraussetzung zur Nutzung dieses Dienstes ist ein APOS-Zugang für Mobile Internet (NTRIP) sowie ein Empfänger, der das RTCM3.1 Format verarbeiten kann. Die RTCM-Message 1021 beinhaltet die Transformationsparameter für die österreichweite 7-Parametertransformation, die RTCM-Message 1023 enthält das 4x4 Teilaraster zur Interpolation der Korrekturwerte $d\varphi$, $d\lambda$ und dH . Die interpolierten Korrekturwerte stellen dabei die Abweichung der homogenisierten MGI-Koordinaten zu den genäherten MGI-Koordinaten dar (siehe Abbildung 54).

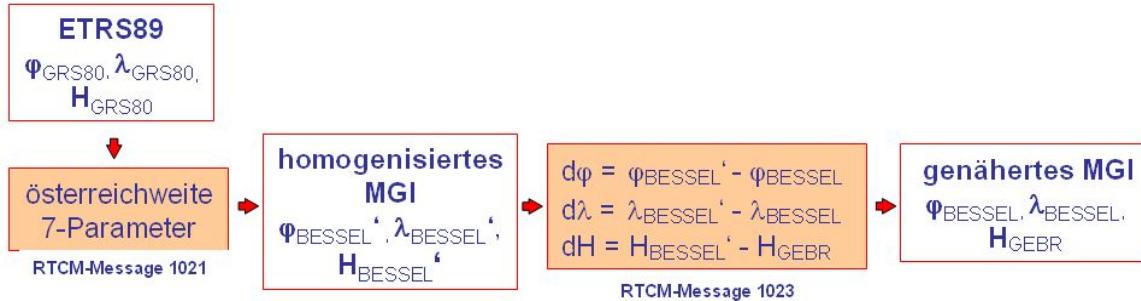


Abbildung 54: Anwendung des GIS-Grid im Echtzeitpositionierungsdienst APOS

Die Transformationsgenauigkeit in Lage und Höhe ist in 99% der Fälle besser als 15cm.

5. EPSG-Codes

EPSG ist die Abkürzung für European Petroleum Survey Group. Diese Arbeitsgruppe der europäischen Öl- und Gaserkundungsfirmen wurde 1986 gegründet und im Jahr 2005 durch das Surveying and Positioning Committee der International Association of Oil & Gas Producers (OGP) abgelöst.

Die EPSG zeichnete sich verantwortlich für den Aufbau eines Systems von weltweit eindeutigen Schlüsselnummern geodätischer Datensätze wie Koordinatenreferenzsysteme, Referenzellipsoide oder Projektionen, welches weiterhin unter gleichem Namen von der Nachfolgeorganisation OGP weitergeführt wird. Die Informationen zu diesen EPSG-Codes liegen in einer Datenbank vor, die auf der Internetseite der ehemaligen EPSG zum Download angeboten wird [17].

Der EPSG-Code ist ein System weltweit eindeutiger 4- bis 5-stelligen Schlüsselnummern für verschiedene Kategorien von geodätischen Daten. Die Schlüssel sind dabei nur in der jeweiligen Kategorie eindeutig.

Folgende Kategorien werden in der EPSG-Datenbank unterschieden:

- **Koordinatentransformation** (z.B. MGI to ETRS89, DHDN to WGS84, etc.)
- **Koordinatenreferenzsystem** (z.B. MGI, DHDN / 3GK zone 1, WGS84, etc.)
- **Projektion** (z.B. Gauß-Krüger M28, M31, M34, etc.)
- **Geodätisches Datum** (z.B. Militärgeographisches-Institut, DHDN, ETRF89, etc.)
- **Bezugsmeridian** (Greenwich, Ferro, Paris, etc.)
- **Ellipsoid** (z.B. Bessel 1841, GRS80, Krassowsky 1940, etc.)
- **Transformationsalgorithmus** (z.B. Affine Transformation, Ähnlichkeitstransformation, Transversale Mercator, etc.)
- **Parameter** (z.B. X-axis Translation, Y-axis Rotation, Scalefactor, etc.)
- **Koordinatensystemtyp** (z.B. ellipsoidal 2D, cartesian 3D, spherical 3D, etc.)
- **Bezeichnung der Koordinatenachsen** (z.B. Northing, Easting, Geocentric Y, etc.)
- **Maßeinheit** (z.B. Arc-second, British Yard, Meter, etc.)
- **Bezugsfläche** (z.B. Austria, Finland - 27.5°E to 28.5°E, Europe, etc.)

Die einzelnen Objekte bauen aufeinander auf. Beispielsweise setzt sich das in Abbildung 55 dargestellte projizierte Koordinatenreferenzsystem MGI / Austria GK M31 (EPSG:31258) aus dem geodätischen Datum „Militärgeographisches Institut“ (EPSG:4312) und der Projektionsmethode „Austria Gauss-Kruger M31“ (EPSG:18008) zusammen.

Das Datum basiert wiederum auf dem Bessel-Ellipsoid (EPSG:7004). Die Projektion wird durch die Angabe des Algorithmus Transverse Mercator (EPSG:9807) und entsprechender Parameter wie z.B. „false easting“ und des Bezugsmeridians Greenwich (EPSG:8901) bestimmt.



Version: 7.8
Released: 30-June-11



Browse records

Name and Code	MGI / Austria GK M31	31258		
Datensatz: [< > >>]				
Area of Use	Austria between 11°50'E and 14°50'E of Greenwich (29°30'E and 32°30'E of Ferro).			
Scope	Large and medium scale topographic mapping and engineering survey.			
Remarks	MGI / Austria M31 (CRS code 31285) with reduced northing.			
Information Source	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; Wien			
Data Source	OGP	Revision Date 02. Feb. 07		
Change ID				
For compound coordinate reference systems:				
Horizontal CRS				
Vertical CRS				
Horiz Coord System Code	Type	dimensional		
Vert Coord System Code	Type	dimensional		
Order	Axis Name	Abbr	Axis Unit	Orientation

Coord Ref System Type		projected		
Datum	Militär-Geographische Institut	6312	Datum	Fundamental point: Hermannskogel. Latitude: 48°16'15.29"N, longitude: 16°17'41.06"E (of Greenwich).
Prime Meridian	Greenwich	8901	origin	
Ellipsoid	Bessel 1841	7004		
Semi-major axis	6377397.155	metre		
Inv flattening	299,1528128			
Coordinate System Code		4530	Type	Cartesian
Order	Axis Name	Abbr	Axis Unit	Orientation
1	Northing	X	metre	north
2	Easting	Y	metre	east
CS remarks Used in projected and engineering coordinate reference systems.				
Base Coord Ref System	MGI		geographic 2D	4312
Conversion / Projection	Austria Gauss-Kruger M31			18008
Coord Operation Method	Transverse Mercator			9807
Map Projection parameters:				
Projection Parameter Name	Parameter Value	Unit of Measure		
Latitude of natural origin	0° 0'	0" N		
Longitude of natural origin	13° 20'	0" E		
Scale factor at natural origin		1	unity	
False easting		450000	metre	
False northing		-5000000	metre	

Abbildung 55: Beispiel aus EPSG-Datenbank [17]

6. Historische Katastersysteme

Bis zum Jahre 1918 wurden in Österreich die Ergebnisse der Katastervermessungen ohne Berücksichtigung der Erdfigur in mehreren ebenen Koordinatensystemen (keine mathematische Projektion) dargestellt, wobei für das heutige Bundesgebiet sechs dieser Systeme relevant sind [7], [18]. Die Abszissenachse jedes Systems lag im Meridian des Koordinatenursprungs. Die auf diesen Meridian senkrecht stehende Schnittellipse des Erdspäroïdes, Perpendikel genannt, bildete die Ordinatenachse des Koordinatensystems. Die positive Abszissenachse zeigte nach Süden.

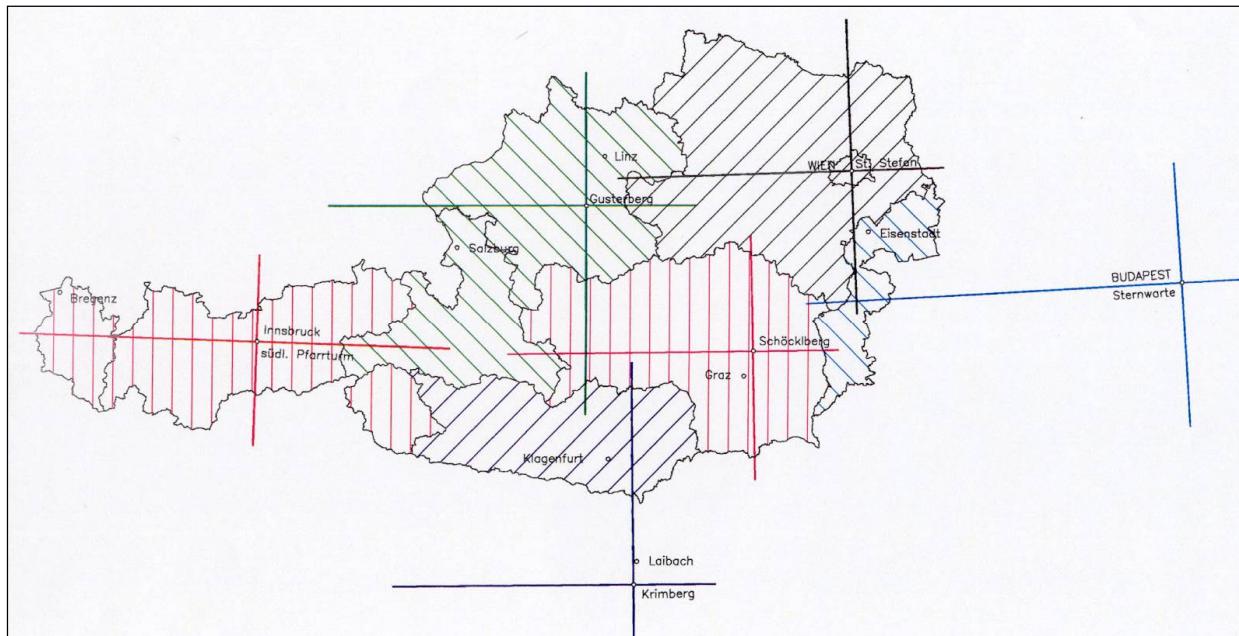


Abbildung 56: Koordinatensysteme des stabilen Katasters

Diese sechs Koordinatensysteme erhielten jeweils einen Kennbuchstaben zur eindeutigen Zuordnung der Mappenblätter des Katasters zum jeweiligen Koordinatensystem.

Bezeichnung	Kennbuchstabe	Bemerkung
St. Stephan	W	Stephansdom (Wien)
Gusterberg	L	bei Kremsmünster (Oberösterreich)
Innsbruck	I	Pfarrkirche von Innsbruck (Tirol)
Schöckl	G	bei Graz (Steiermark)
Krimberg	K	bei Laibach (= Ljubljana, die Hauptstadt des heutigen Slowenien)
Budapest		Östlicher Turm der Sternwarte auf dem Gellerthegy (Blocksberg) in Budapest

Tabelle 13: Historische Koordinatensysteme

Als Grundmaßstab der Katastralmappe wurde 1:2880 festgelegt. Als Folgemaßstäbe existierten im Hochgebirge Mappenblätter im Maßstab 1:5760 und im dicht verbauten Gebiet Mappenblätter in den Maßstäben 1:1440 und 1:720.

Die Ausgangsbasis dieses ungewöhnlichen Maßstabes waren die damaligen Militärkarten, welche im Maßstab 1:28.800 angelegt waren und auf dem Schrittmaß beruhten. In diesen Militärkarten entsprachen 1 Zoll = 1000 Schritten (bzw. 400 Klafter) in der Natur. Ein Klafter entspricht etwa 1,8965 Meter. Durch die Unterteilung eines Klafters in 72 Zoll ergab sich der Maßstab 1:28 800, auch "einfaches Militärmaß" genannt. Die Katastralmappen hatten somit das "zehnfache Militärmaß".

Die Einteilung der Mappenblätter ergab sich nach folgendem Schema:

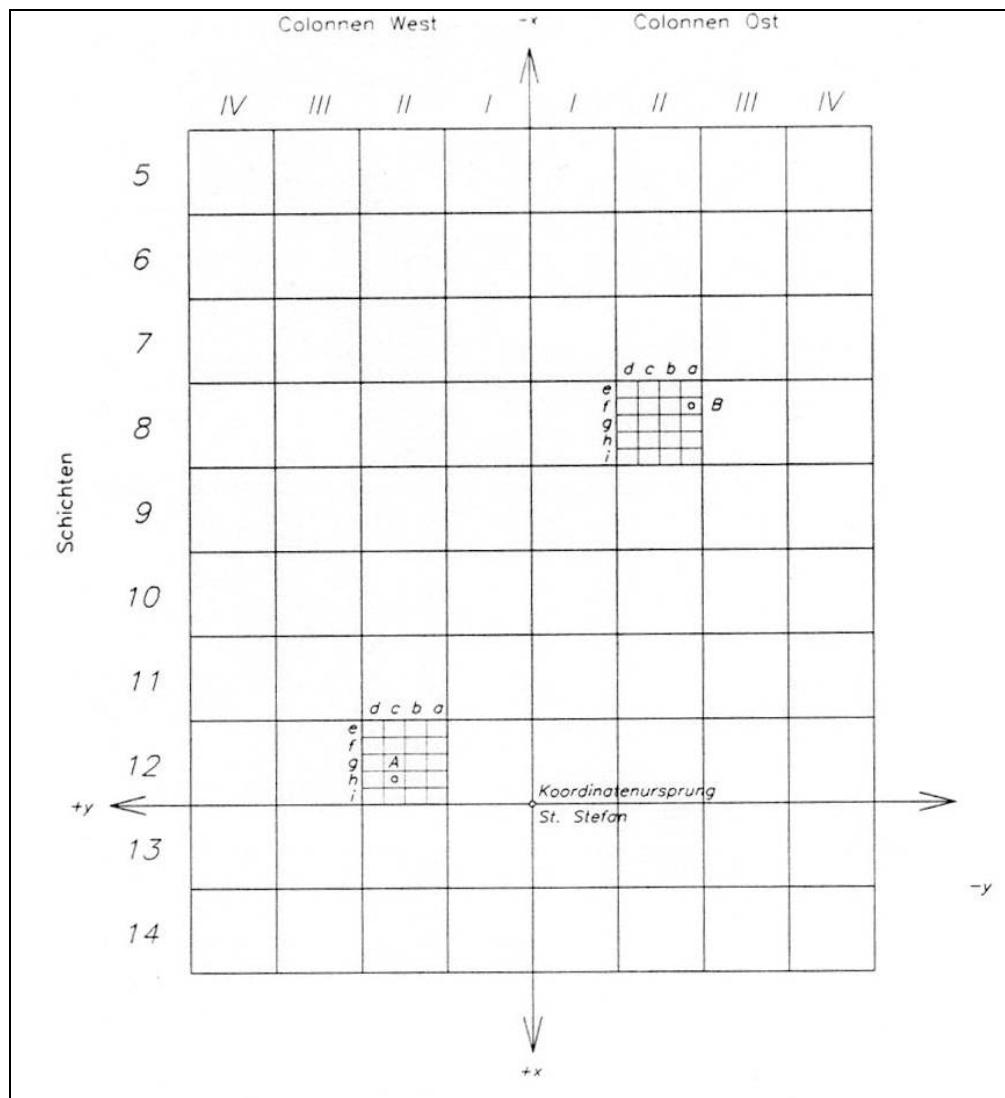


Abbildung 57: Einteilung der Mappenblätter des stabilen Katasters

Parallel zu Ordinaten- und Abszissenachse werden in Abständen von je einer österreichischen Meile (entspricht 4000 Wr. Klafter bzw. 7585,9 m) Linien gezogen. Die dadurch entstehenden Meilenquadrate sind in Colonnen östlich oder westlich des Koordinatenursprungs (arithmetisch aufsteigend - römische Ziffern) und in Schichten von Nord nach Süd (arithmetisch aufsteigend - arabische Ziffern) angegeben.

Die Nummer des Meileneckpunktes enthält als nordwestlichen Eckpunkt des Meilenquadrates die entsprechende Bezeichnung, der Kennbuchstabe des entsprechenden Katastersystems wird gemäß Tabelle 13 vorangestellt.

Beispiel:

W O II 08

W für Koordinatensystem St. Stephan, O für Colonnen Ost, II für Colonne II und 08 für Schicht 08

Jedes Meilenquadrat wird in 5 Nord-Süd-Streifen und in 4 West-Ost-Streifen unterteilt, wodurch 20 Rechtecke von 1896,5 m x 1517,2 m entstehen. Ein solches Rechteck hat in der Natur einen Flächeninhalt von 287,7 ha und bildet den Rahmen eines Mappenblattes, das im Maßstab 1:2880 einen Plan mit den Abmessungen 658,5 mm x 526,8 mm ergibt.

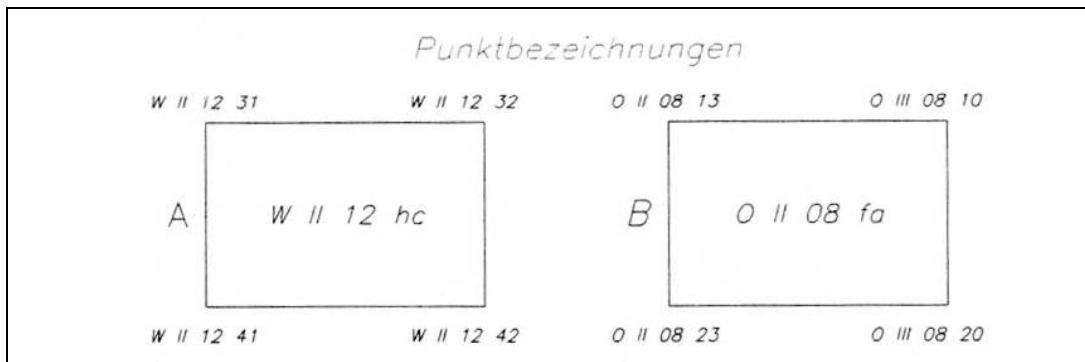
Die Mappenblätter 1:2880 werden, wie in Abbildung 57 dargestellt, an erster Stelle von Ost nach West mit den Buchstaben a bis d und an zweiter Stelle von Süd nach Nord mit den Buchstaben e bis i bezeichnet. Diese Buchstabenkombinationen werden der Bezeichnung des Meilenquadrates nachgesetzt.

Beispiele aus Abbildung 57:

Mappenblatt A: W W II 12 hc

Mappenblatt B: W O II 08 fa

Die Eckpunkte der Mappenblätter 1:2880 werden, ausgehend von der NW-Ecke des Meilenquadrates zweistellig bezeichnet. In Nord-Süd-Richtung von 0 bis 4 an der ersten Stelle der Bezeichnung; in West-Ost-Richtung von 0 bis 3 an der zweiten Stelle der Bezeichnung. Die Bezeichnung der Eckpunkte der Mappenblätter A und B aus Abbildung 57 zeigt Abbildung 58.

**Abbildung 58: Bezeichnung der Eckpunkte der historischen Mappenblätter**

Auf diesen historischen Katastersystemen basierende Koordinaten des Katasters wurden im Zuge der Umbildung durch das System MGI abgelöst.

7. ANHANG

7.1. Gleichungen der Gauß-Krüger- und der UTM-Abbildung

7.1.1. Klassische Formeln

Aus einer Reihenentwicklung nach Taylor ergeben sich folgende Formeln zur Berechnung der ebenen Koordinaten (y, x) aus ellipsoidischen Koordinaten (B, L):

$$\begin{aligned}
 y = & N\Delta L \cos B \\
 & + \frac{N}{6} \Delta L^3 \cos^3 B \cdot (1 - t^2 + \eta^2) \\
 & + \frac{N}{120} \Delta L^5 \cos^5 B \cdot (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \\
 & + \frac{N}{5040} \Delta L^7 \cos^7 B \cdot (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6)
 \end{aligned}$$

Ausreichend für das GK-System mit einer Streifenbreite $\pm 1.5^\circ$

$$\begin{aligned}
 x = & S_m + \frac{N}{2} \Delta L^2 \sin B \cos B \\
 & + \frac{N}{24} \Delta L^4 \sin B \cos^3 B \cdot (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) \\
 & + \frac{N}{720} \Delta L^6 \sin B \cos^5 B \cdot (61 - 58t^2 + t^4) \\
 & + \frac{N}{40320} \Delta L^8 \sin B \cos^7 B \cdot (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6)
 \end{aligned}$$

Ausreichend für das GK-System mit einer Streifenbreite $\pm 1.5^\circ$

Notwendig für das UTM-System mit einer Streifenbreite $\pm 3^\circ$

mit $\Delta L = L - L_0$

Länge reduziert auf Bezugsmeridian
(Länge L_0)

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B}}$$

Normalkrümmungsradius

$$t = \tan B, \quad \eta^2 = e'^2 \cos^2 B$$

Hilfsgrößen

$$e = \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \quad e' = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

1. u. 2. Exzentrizität (siehe Tabelle 1)

a, b

große und kleine Ellipsoid-Halbachse
(siehe Tabelle 1)

$$S_m = \alpha \cdot B^\circ - \beta \sin 2B + \gamma \sin 4B - \delta \sin 6B$$

Länge der Meridianbogens

mit

B° ellipsoidische Breite im Bogenmaß

$$\alpha = a(1 - e^2) \frac{\pi}{180} \left(1 + \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{175}{256} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8 \right)$$

$$\beta = \frac{1}{2} a(1-e^2) \left(\frac{3}{4} e^2 + \frac{15}{16} e^4 + \frac{525}{512} e^6 + \frac{2205}{2048} e^8 \right)$$

$$\gamma = \frac{1}{4} a(1-e^2) \left(\frac{15}{64} e^4 + \frac{105}{256} e^6 + \frac{2205}{4096} e^8 \right)$$

$$\delta = \frac{1}{6} a(1-e^2) \left(\frac{35}{512} e^6 + \frac{315}{2048} e^8 \right)$$

Setzt man in obige Formeln die Werte für das Bessel-Ellipsoid aus Tabelle 1 ein, ergeben sich für die Koeffizienten der Meridianbogenberechnung folgende Werte:

α	111 120.61962 m/ $^\circ$
β	15 988.6385 m
γ	16.7300 m
δ	0.0218 m

Tabelle 14: Koeffizienten der Meridianbogenberechnung für das Bessel-Ellipsoid

Die Koordinatenangabe in der UTM-Abbildung ergibt sich aus (y, x) zu:

$$\text{Easting (E)} = 0.9996 * y + 500000$$

$$\text{Northing (N)} = 0.9996 * x$$

Der umgekehrte Weg zur Berechnung der ellipsoidischen Koordinaten (B, L) aus verebbneten Koordinaten (y, x) gelingt mit folgenden Formeln:

$$L = L_0 + \frac{y}{N \cos B_F}$$

$$+ \frac{y^3}{6N^3 \cos B_F} (-1 - 2t^2 - \eta^2)$$

$$+ \frac{y^5}{120N^5 \cos B_F} (5 + 28t^2 + 24t^4 + 6\eta^2 + 8t^2\eta^2)$$

$$+ \frac{y^7}{5040N^7 \cos B_F} (-61 - 662t^2 - 1320t^4 - 720t^6)$$

Ausreichend für das GK-System mit einer Streifenbreite $\pm 1.5^\circ$

Notwendig für das UTM-System mit einer Streifenbreite $\pm 3^\circ$

$$B = B_F + \frac{y^2 t}{2N^2} (-1 - \eta^2)$$

$$+ \frac{y^4 t}{24N^4} (5 + 3t^2 + 6\eta^2 - 6t^2\eta^2 - 3\eta^4 - 9t^2\eta^4)$$

$$+ \frac{y^6 t}{720N^6} (-61 - 90t^2 - 45t^4 - 107\eta^2 + 162t^2\eta^2 + 45t^4\eta^2)$$

$$+ \frac{y^8 t}{40320N^8} (1385 + 3633t^2 + 4095t^4 + 1575t^6)$$

Ausreichend für das GK-System mit einer Streifenbreite $\pm 1.5^\circ$

Notwendig für das UTM-System mit einer Streifenbreite $\pm 3^\circ$

mit der Fußpunktsbreite:

$$B_F = \frac{S_m}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha} \sin 2B - \frac{\gamma}{\alpha} \sin 4B + \frac{\delta}{\alpha} \sin 6B$$

Der Fußpunkt (Breite B_F , Länge L_0) ist der Schnittpunkt des Bezugsmeridians mit der geodätischen Linie durch den abzubildenden Punkt P (Breite B, Länge L), welche rechtwinklig auf den Bezugsmeridian steht.

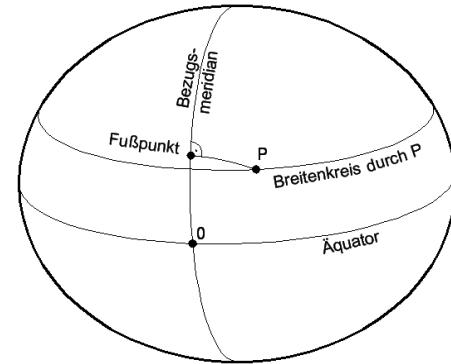


Abbildung 59: Fußpunktsbreite

7.1.2. Formeln nach Hirvonen

Diese Gebrauchsformeln wurden empirisch bestimmt und nähern die klassischen Formeln für die Gauß-Krüger-Abbildung (Streifenbreite $\pm 1.5^\circ$) sehr gut an. Für die UTM-Abbildung mit einer Streifenbreite von $\pm 3^\circ$ sind diese Formeln nicht geeignet.

Die Abbildung von ellipsoidischen Koordinaten (Breite B , Länge L) in ebene Gauß-Krüger-Koordinaten (y, x) wird wie folgt berechnet:

Berechnung der Fußpunktsbreite B_F :

$$\text{Hilfsgröße } V = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 B}$$

$$\Delta L = L - L_0 \quad (\text{Länge bezogen auf den Bezugsmeridian } L_0)$$

$$\text{Fußpunktsbreite } B_F = \arctan \left[\frac{\tan B}{\cos(\Delta L \cdot V)} \right]$$

Berechnung weiterer Hilfsgrößen

$$V_F = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 B_F}, \quad p = \frac{1}{V_F} \tan \Delta L \cos B_F$$

Berechnung der ebenen Gauß-Krüger-Koordinaten:

$$x = \alpha \cdot B_F^0 - \beta \cdot \sin 2B_F + \gamma \cdot \sin 4B_F - \delta \cdot \sin 6B_F$$

$$y = c \cdot \ln(p + \sqrt{1 + p^2})$$

$$\text{mit } c = \frac{a^2}{b}$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ siehe Kapitel 7.1.1

Die umgekehrte Aufgabe, um von ebenen Gauß-Krüger-Koordinaten zu ellipsoidischen Koordinaten zu kommen, lässt sich folgendermaßen lösen:

Herleitung von Koeffizienten aus der Abplattung f

$$f = \frac{a - b}{a}, \quad n = \frac{f}{2 - f}$$

$$\zeta = \frac{270}{\pi} \left(n - \frac{9}{16} n^3 \right), \quad \eta = \frac{945}{4\pi} n^2, \quad \vartheta = \frac{2265}{8\pi} n^3$$

ζ	0°.143885358
η	0°.000210780
ϑ	0°.000000423

Tabelle 15: Koeffizienten der inversen Meridianbogenberechnung für das Bessel-EllipsoidBerechnung der Fußpunktsbreite B_F

$$B_F = \psi + \zeta \sin 2\psi + \eta \sin 4\psi + \vartheta \sin 6\psi \quad \text{mit } \psi = \frac{x}{\alpha} [^\circ]$$

Berechnung von Länge L und Breite B

$$\Delta L = \arctan \left\{ \frac{V_F}{2 \cos B_F} [\exp(\lambda) - \exp(-\lambda)] \right\} \cdot \text{SGN}(y)$$

$$L = L_0 + \Delta L$$

$$B = \arctan [\tan B_F \cos (V_F \cdot \Delta L)]$$

mit $\lambda = \left| \frac{y}{c} \right|$

7.2. Kartesische Koordinaten \leftrightarrow Ellipsoidische Koordinaten

Der Zusammenhang zwischen den kartesischen Koordinaten X, Y und Z und den ellipsoidischen Koordinaten Breite φ , Länge λ und ellipsoidische Höhe H ist aus folgender Grafik ersichtlich.

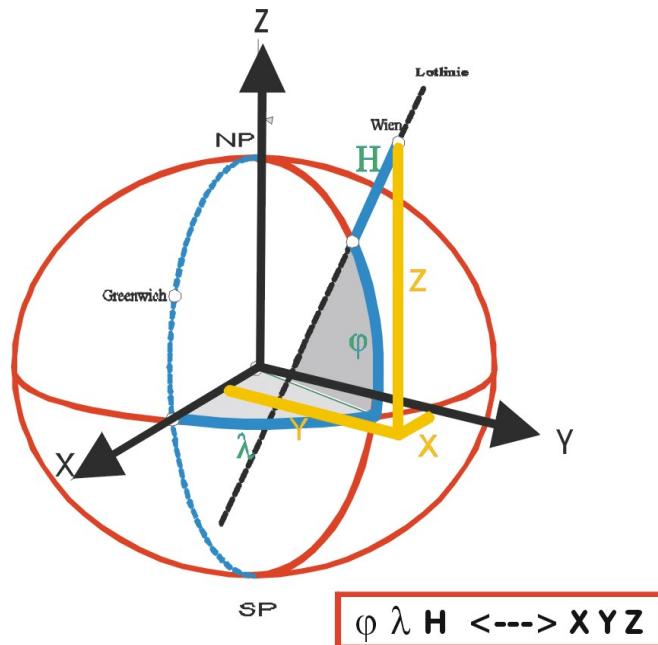


Abbildung 60: Zusammenhang zwischen kartesischen und ellipsoidischen Koordinaten

7.2.1. kartesische Koordinaten (X, Y, Z) \rightarrow ellipsoidische Koordinaten (λ , φ , H)

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X}$$

$$\varphi = \arctan \frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3 \theta}{p - e^2 \cdot a \cdot \cos^3 \theta}$$

$$H = \frac{p}{\cos \varphi} - N$$

$$\text{mit } N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad \text{Normalkrümmungsradius}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad \text{1. und 2. Exzentrizität}$$

$$\theta = \arctan \frac{Z \cdot a}{p \cdot b} \quad \text{Hilfsgrößen}$$

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

7.2.2. ellipsoidische Koordinaten (λ , φ , H) \rightarrow kartesische Koordinaten (X, Y, Z)

$$X = (N + H) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = (N + H) \cos \varphi \sin \lambda$$

$$Z = [(1 - e^2)N + H] \sin \varphi$$

8. LITERATUR

- [1] ALTAMIMI, Z. (2006): The International Terrestrial Reference Frame (ITRF2005). IAG Symposium Munich 2006.
- [2] EUREF, http://www.euref-iag.net/euref_egrs.html, 29.11.2012.
- [3] HÖGGERL, N. (2005): Realisierung des Europäischen Bezugssystems ETRS89 durch APOS - Austrian Positioning Service. In: Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005 (Chesi/Weinold Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2005. ISBN 3-87907-419-4.
- [4] HÖGGERL, N., TITZ, H., ZAHN, E. (2007): APOS-Austrian Positioning Service. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 95. Jg. 2007, Heft 1, Wien, ff 10-23, ISSN 0029-9650.
- [5] HÖGGERL, N., IMREK, E. (2007): Recent Steps towards the Introduction of ETRS89 in Austria.
- [6] IMREK, E., HÖGGERL, N. (2011): Modernisierung des geodätischen Bezugsrahmens in Österreich, In: 16. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2011 (Grimm-Pitzinger/Weinold Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag, ISBN 978-3-87907-505-8.
- [7] SCHWARZINGER, K. (1983): 100 Jahre Führung des Grundkatasters. In: 100 Jahre Führung des Katasters, Druck und Verlag: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 1983.
- [8] STANGL G., WEBER R., HÖGGERL N., FRAGNER E. (2003): ETRF-Austria 2002 EUREF-Campaign for the introduction of ETRS89 in Austria. Presented Paper at the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Toledo, 4 – 6 june, 2003.
- [9] TITZ, H., HÖGGERL, N., IMREK, E., STANGL, G. (2010): Realisierung und Monitoring von ETRS89 in Österreich. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 98. Jg., Heft 2/2010.
- [10] PESEC, P., SÜNKEL, H., ERKER, E., IMREK, E. und STANGL, G. (1997): Das österreichische Geodynamische Bezugssystem AGREF. Realisierung und Ergebnisse. Sonderausgabe des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Abteilung Satellitengeodäsie, Graz.
- [11] BEV Geoid,
http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2157077&_dad=portal&_schema=PORTAL, 29.11.2012.
- [12] PAIL, R., KÜHTREIBER, N., WIESENHOFER B., HOFMANN-WELLENHOF, B., OF, G., STEINBACH, O., HÖGGERL, N., IMREK, E., RUESS, D., ULLRICH, C.: The Austrian Geoid 2007. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 96. Jg., 1/2008, 3-14, 2008, ISSN 0029-9650.
- [13] BEV GIS-Grid,
http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2157075&_dad=portal&_schema=PORTAL, 29.11.2012.
- [14] OTTER, J.: Transformationsflächen für die Umrechnung zwischen ETRS89 und MGI in Österreich. Präsentation im Rahmen der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK), 11. Österreichischer Geodätentag, Velden, 2012, <http://www.oegk-geodesy.at/archiv-2012/geodaetentag.html>, 29.11.2012.
- [15] JUNKINS, D.R., FARLEY, S.A.: NTv2 Developers Guide; Geodetic Survey Division Geomatics Canada; 1995; <ftp://ftp.gouv.nc/sig/ESRI/ntv2/NTv2DeveloperGuide.pdf>, 29.11.2012.

- [16] JUNKINS, D.R., FARLEY, S.A.: NTv2 Users Guide; Geodetic Survey Division Geomatics Canada; 1995; http://www.geod.nrcan.gc.ca/pdf/ntv2_guide_e.pdf, 29.11.2012.
- [17] EPSG, <http://www.epsg.org>, 29.11.2012.
- [18] FUHRMANN, S. (2007): Digitale Historische Geobasisdaten im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) Die Urmappe des Franziszeischer Kataster. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 95. Jg. 2007, Heft 1, Wien, ff 24-35, ISSN 0029-9650.
- [19] BEV APOS,
http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,1571538&_dad=portal&_schema=PORTAL, 29.11.2012.
- [20] EULER, H .J. (2008): Reference Station Network Information Distribution. IAG Working Group 4.5.1: Network RTK (2003-2007).

Verfasser : Dipl.-Ing. Jürgen Otter

Mitwirkende: Dipl.-Ing. Norbert Höggerl
Dipl. Ing. Erich Imrek
Dipl.-Ing. Dr. Günter Stangl
Dipl.-Ing. Ernst Zahn

Alle Rechte vorbehalten

Copyright © 2015 BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 1020 Wien