

# Grundlagen: Geodätisches Datum, Kartenprojektionen und Koordinatensysteme in Deutschland und Österreich

Dr. Lutz Höll

**GPS-Empfänger für die Standortbestimmung und Navigation per Satellit sind mittlerweile preiswert geworden. Die Nutzung der GPS-Daten in Verbindung mit Kartenwerken erfordert allerdings die Beachtung des „geodätischen Datums“, ansonsten ergeben sich scheinbar „unerklärliche“ Fehler von einigen hunderten Metern. Der Beitrag erklärt die Zusammenhänge an Hand der amtlichen topographischen Karten Deutschlands und Österreichs und erläutert auch die hier verwendeten Gauß-Krüger-Koordinaten.**

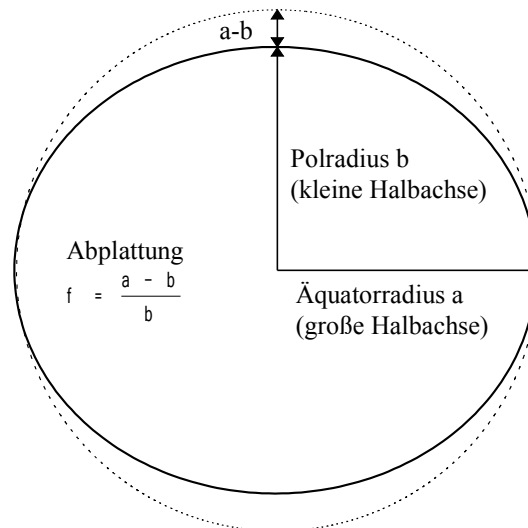
Gewöhnliche GPS-Empfänger (d. h. ohne Nutzung des verschlüsselten Y-Codes oder des DGPS-Verfahrens) erlauben auch mit der vom US-Verteidigungsministerium veranlaßten künstlichen Verschlechterung des Signals durch die „Selective Availability“ in 95 % der Zeit eine „garantierte“ Genauigkeit der Standortbestimmung von mindestens 100 m horizontal und 140 m vertikal und dies weltweit! Diese Genauigkeit wirft allerdings Probleme auf, die früher allenfalls von theoretischem Interesse waren. Wir kennen alle noch aus der Schule die Beschreibung der Lage eines Ortes auf der Erdoberfläche mit Hilfe von Breiten- und Längengraden mit dem Äquator bzw. dem international vereinbarten Nullmeridian von Greenwich als Bezugspunkte und auch unser GPS-Empfänger kann die Position in geographischen Längen- und Breitengraden ausgeben. Worauf beziehen sich aber diese krummlinigen Flächenkoordinaten? Auf eine Kugelgestalt, sollte man denken, aber dies ist eigentlich falsch.<sup>1</sup>

## Die Erde als Rotationsellipsoid

Es ist schon seit längerer Zeit bekannt, daß infolge der Erdrotation die Erde keine ideale Kugelgestalt besitzt, sondern an den Polen abgeplattet bzw. am Äquator ausgewölbt ist. Der wirklichen Gestalt der Erde entspricht also ein Rotationsellipsoid (ein geometrischer Körper, der durch die Rotation einer Ellipse um eine ihrer Achsen entsteht) viel besser als eine Kugel und seit dem vergangenen Jahrhundert wurden seine Parameter immer wieder aufs neue bestimmt. Der Erdellipsoid wird durch die große Halbachse (Äquatorradius) und die Abplattung, dem Verhältnis der Differenz aus Äquator- und Polradius zum Äquatorradius, definiert.

---

<sup>1</sup> Genaugenommen unterscheidet man zwischen geographischen oder astronomisch-geodätischen Koordinaten Breite  $\varphi$  und Länge  $\lambda$  auf dem Geoid, geographischen Koordinaten  $\phi$  und  $\lambda$  auf der Kugel und geodätischen Koordinaten B und L auf dem Rotationsellipsoid (auch als ellipsoidische Koordinaten  $\phi$  und  $\lambda$  bezeichnet). Koordinatenangaben geodätischer Punkte als Winkelmaß wie auch die Winkelangaben am Kartenrand der topographischen Karten sind geodätische Koordinaten.



Parameter des Erdellipsoids

Es gibt mittlerweile über 20 solcher berechneter Erdellipsoiden, die Daten der wichtigsten sind in der folgenden Tabelle angeführt (man findet in verschiedenen Quellen leicht voneinander abweichende Angaben):

	Äquatorradius a	Polradius b	Abplattung $f = (a-b)/a$
Bessel 1841	6377397,155 m	6356078,963 m	1:299,1528
Clarke 1866	6378206,400 m	6356583,800 m	1:294,9787
Hayford 1909 (=International 1924)	6378388,000 m	6356911,946 m	1:297,0
Krassowski 1942	6378245,000 m	6356863,019 m	1:298,3
WGS 84	6378137,000 m	6356752,314 m	1:298,2572

Ein solches Ellipsoid, das allerdings den wirklichen Erdkörper auch nur angenähert darstellt, bildet die *Bezugsfläche für die Lagekoordinaten von Landesvermessungen*. (Höhenangaben beziehen sich auf das Geoid, einer durch die Gravitation festgelegten Bezugsfläche; es entspricht in etwa der mittleren Meeresoberfläche, die man sich durch die Kontinente fortgesetzt vorstellt). Die von Friedrich Bessel vor mehr als 150 Jahren berechneten Erddimensionen sind noch heute die Grundlage der amtlichen Landesvermessung in Deutschland wie in Österreich und der Schweiz. Das von Hayford (USA) 1909 berechnete Ellipsoid wurde 1924 als „Internationales Ellipsoid“ empfohlen. Das Ellipsoid von Krassowski (UdSSR) diente als Referenzellipsoid des sogenannten Einheitlichen Astronomisch-Geodätischen Netzes der osteuropäischen Länder einschließlich der DDR. Auch den Positionsbestimmungen mittels Satelliten des Global Positioning System liegt ein eigenes Ellipsoid zugrunde (WGS 84).

Es ist einsichtig, daß ein und dieselbe Längen- und Breitenangabe (oder die Angaben eines anderen Koordinatensystems) je nach verwendetem Referenzellipsoid unterschiedliche Orte bezeichnet, wie auch umgekehrt ein und derselbe Ort mit unterschiedlichen Koordinaten beschrieben wird. *Koordinatenangaben haben nur Sinn in Beziehung auf ein definiertes Bezugssystem, ein sogenanntes Geodätisches Datum*. Vom Einfluß des geodätischen Datums auf die Positionsbestimmung mittels GPS kann man sich leicht überzeugen, wenn man nach einer erfolgten Positionsbestimmung im GPS-Receiver das „Datum“ wechselt, z.B. vom WGS 84 zum ED 50 (Europäisches Datum 1950). Ohne sich auch nur ein Jota vom Platz zu bewegen, erhalten wir andere Koordinaten!

## Geodätische Bezugssysteme in Deutschland und Österreich

Unter einem Geodätischen Datum („Kartendatum“) versteht man nun die Angabe der Dimensionen des zugrunde gelegten Referenzellipsoids einschließlich der Angabe der Lage seines Mittelpunktes zum globalen Geozentrum (Schwerpunkt der Erde) sowie die Beschreibung eines Zentral- oder Fundamentalpunktes der Lagebezugsfläche, dessen Lage absolut fixiert wird (nach [1], S. 39). Die Höhenbezugsfläche, das Geoid – Normalnull (NN, Amsterdamer Pegel) in den alten Bundesländern bzw. Höhennull (HN, Kronstädter Pegel) in den neuen Bundesländern – wird als vertikales geodätisches Datum im Unterschied zum hier betrachteten horizontalen geodätischen Datum bezeichnet.

Mehrere hundert verschiedene geodätische Daten wurden und werden weltweit angewandt, jedes Land hat de facto sein eigenes Bezugssystem. In der BR Deutschland finden wir zu Zeit vier verschiedene geodätische Bezugssysteme in Verwendung, was die Angelegenheit nicht gerade vereinfacht (siehe [2] und [3]). Grundlage des amtlichen deutschen Bezugssystems in den alten Bundesländern und der darauf fußenden topographischen Karten ist das sogenannte Deutsche Hauptdreiecksnetz (DHDN), das aus dem 1940 für das damalige Reichsgebiet verbindlich erklärtem Reichsdreiecksnetz (RDN) mit dem Zentralpunkt Rauenberg in Berlin-Tempelhof hervorging. Das Reichsdreiecksnetz bzw. das DHDN ist nichts anderes als eine Gesamtheit örtlich dauerhaft markierter Festpunkte („trigonometrische Punkte“), deren Lage, Höhe und Schwere vermessen und im jeweiligen Bezugssystem beschrieben wird. Das DHDN bezieht sich auf das von Bessel 1841 berechnete Ellipsoid. Nach Zerstörung des trigonometrischen Punktes Rauenberg wurde der Punkt Potsdam, Helmerturm als Zentralpunkt bestimmt. *Die Bezeichnungen RDN, DHDN, Rauenberg Datum (auch RD 83) bzw. Potsdam Datum sind also im Prinzip identisch.* (Es gab auch topographische Karten der DDR, Ausgabe Volkswirtschaft, die unter der Bezeichnung „System 40“ das Potsdam Datum als Grundlage hatten.) In Sachsen und Thüringen wird derzeit auch das Potsdam Datum verwendet. So lesen wir auf der „Topographischen Karte 1:25 000“, Blatt 4640 Leipzig, „Potsdam Datum, Bezugsfläche: Bessel-Ellipsoid; Zentralpunkt Rauenberg“.

Geodätische Grundlagen
Potsdam Datum
Bezugsfläche: Bessel-Ellipsoid, Zentralpunkt Rauenberg
Gauß-Krüger-Abbildung
Umrechnung zum Krassowski-Ellipsoid: System 42/83
Höchstwert – 588 m
Rechtswert – 22 m
Höhen in Metern über Höhennormal (HN)
Höhe über Normalnull (NN) = HN – 16 cm

Angabe des Datums in der Legende einer topographischen Karte

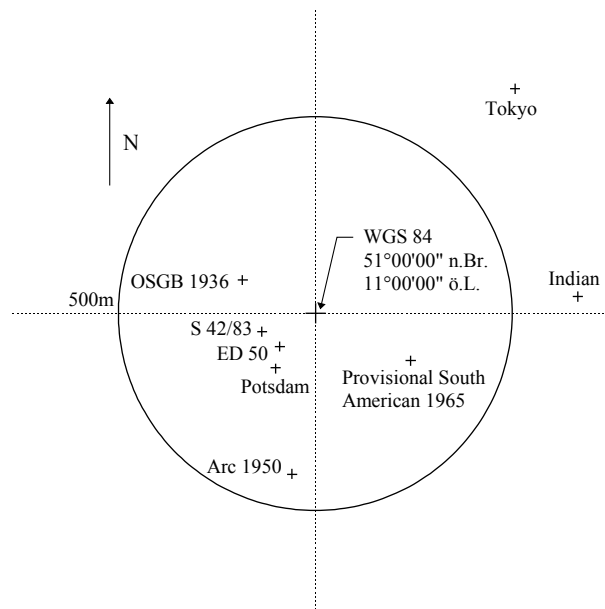
In Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt wird als amtliches Bezugssystem vorläufig noch das sogenannte „System 42/83“ der ehemaligen DDR fortgeführt (topographische Karten werden aber auch auf der Grundlage des Potsdam Datums veröffentlicht). Die Datumsfestlegung wurde für den Punkt Pulkowo auf der Grundlage des Krassowski-Ellipsoides 1942 durchgeführt und 1983 innerhalb des Einheitlichen Astronomisch-Geodätischen Netzes osteuropäischer Länder zum zweitenmal ausgeglichen (daher die Bezeichnung System 42/83). (Die topographischen Karten der DDR auf der Grundlage des System 42/83 „Ausgabe Staat“ waren geheim und dienten vorrangig militärischen Zwecken.)

Da ein und dieselben Orte in unterschiedlichen geodätischen Bezugssystemen verschiedene Koordinaten haben, wurde schon bald nach dem 2. Weltkrieg in den westeuropäischen Ländern ein einheitliches Zentraleuropäisches Netz im Europäischen Datum 1950 (ED 50) geschaffen. Das ED 50 als drittes in Deutschland verwandtes Bezugssystem wird vor allem im militärischem Bereich, aber auch bei Luftfahrtkarten und z.B. bei Karten für die Sportschifffahrt

benutzt. Es ist auf dem von Hayford 1909 berechneten und 1924 als internationalem Ellipsoid angenommenen Ellipsoid festgelegt.

Das System der österreichischen Landesvermessung beruht ebenfalls auf dem Ellipsoid von Bessel mit dem Zentralpunkt Hermannskogel bei Wien und wurde 1892 vom K. u. K. Militärgeographischen Institut (MGI) eingeführt, weshalb es auch als MGI-System bezeichnet wird.

Anstelle des DHDN ist zur Jahrhundertwende die Einführung des ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989) als neues amtliches Bezugssystem im Vermessungswesen der BR Deutschland vorgesehen. Dieses ist praktisch identisch mit dem World Geodetic System 1984 (WGS 84), beide stimmen auf 1-2 m überein. Derzeit werden erste topographische Karten mit UTM-Gitter auf der Basis ETRS 89 herausgegeben (z.B. die Karte „Naturpark Erzgebirge/Vogtland, Blatt 3 und 4 vom Landesvermessungsamt Sachsen). Zukünftig braucht man sich mit dem ETRS 89 also keine Gedanken mehr über das verwendete Kartendatum machen, bis dahin heißt es genau aufpassen. *Die Interpretation von Länge, Breite und Höhe (bzw. anderer Koordinatenangaben) auf der Basis eines falschen geodätischen Datums kann durchaus zu Fehlern bis zu einem Kilometer in allen drei Dimensionen führen!* Welche Auswirkungen ein falsches Kartendatum bei der Positionsbestimmung hat, verdeutlicht folgende Abbildung:



*Auswirkung des geodätischen Datums auf die Positionsbestimmung*

Im Mittelpunkt des Kreises mit einem Durchmesser von 1 000 m befindet sich ein angenommener Ort mit den geografischen Koordinaten  $51^{\circ} 00' 00''$  n.Br.  $11^{\circ} 00' 00''$  ö.L. im WGS 84 Datum. Wo wir uns bezüglich dieses Ortes tatsächlich befinden, wenn unser GPS-Receiver genau diese Koordinaten ausgibt, wir aber ein anderes Datum als WGS 84 verwenden, zeigt die Grafik.

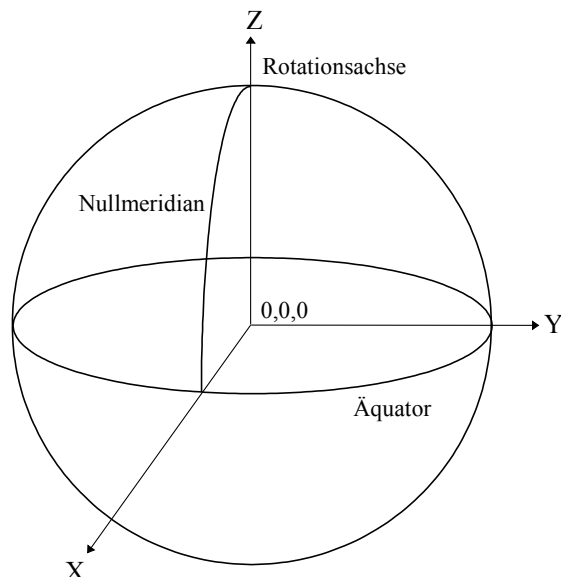
## Datumstransformation

Am einfachsten ist es, wenn in der Software des GPS-Empfängers das entsprechende geodätische Datum mit implementiert ist. Die Position wird dann unmittelbar in diesem geodätischen Bezugssystem ausgegeben. Neuere GPS-Handgeräte bieten meist (aber nicht immer!) eine größere Anzahl von verschiedenen geodätischen Daten an, darunter von mancherlei exotischen wie „Hu-Tzu-Shan“ oder „Pitcairn Astro 1967“. Leider fehlt häufig das Potsdam Datum wie auch das System 42/83. Auf manchen Karten (z. B. Karten für die

Sportschiffahrt im ED 50) finden wir auch die Angabe der Korrekturwerte zum WGS 84, dem vom GPS-System verwendeten World Geodetic System 1984 Datum.

Hat ein GPS-Empfänger nicht ein gewünschtes Kartendatum implementiert, bleibt nur die Möglichkeit, die Koordinatenangaben aus einem geodätischem Datum in ein anderes umzurechnen. Eine komplette Datumstransformation erfordert 7 Parameter (3 Translationsparameter, 3 Rotationsparameter und 1 Maßstabsfaktor), diese Parameter werden für den Übergang vom DHDN (Potsdam Datum) bzw. System 42/83 zum WGS 84 bzw. umgekehrt mit den dazugehörigen mathematischen Formeln in [3] angegeben, ein Rechenbeispiel auch in [4]. Für das Potsdam Datum wird bei der Datumstransformation in das WGS 84 eine Genauigkeit von 5 m, für das System 42/83 von 2-3 m erreicht. Mit diesen Werten kann man aber unmittelbar nichts anfangen, da übliche Rechenprogramme (z.B. MADTRAN.EXE) bei denen die Formeln der sogenannten Standard Molodensky Transformation verwendet werden, wie auch *GPS-Empfänger nur drei einfache („simple“)  $\Delta$ - (Delta-)Parameter verwenden*, die sich auf die Verwendung von geozentrischen Koordinaten X, Y, Z beziehen.

Dieses globale Koordinatensystem ist ein dreidimensionales rechtwinkliges System (X,Y,Z) mit dem Erdschwerpunkt des Bezugsellipsoids als Koordinatenursprung (im Englischen als ECEF - Earth Centered Earth Fixed - System bezeichnet).



*Geozentrisches Koordinatensystem*

Die Differenz zwischen den X-, Y-, Z- Parametern des WGS84 Datums und eines anderen geodätischen Datums werden als  $\Delta X$ -,  $\Delta Y$ - und  $\Delta Z$ -Parameter bezeichnet und wie die Koordinaten in Metern angegeben. Durch die Addition der  $\Delta$ -Parameter zu den entsprechenden X, Y, Z-Koordinaten des lokalen Datums erfolgt also eine einfache Datumstransformation in das WGS 84. Den Umweg über die geozentrischen Koordinaten (Umwandlung der von Länge, Breite und Höhe eines Datums in X, Y, Z-Koordinaten unter Verwendung der Parameter des Ausgangsdatums, Addition der  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ -„Shift“-Parameter, Umwandlung dieser X, Y, Z-Koordinaten in Länge, Breite, Höhe des WGS 84) kann man sich bei der Verwendung der „Standard Molodensky Datum Transformation“ ersparen (Formeln in [5], [6]). Die Molodensky Transformation erreicht eine Genauigkeit von ca. 20 m, also für die Anwendung unseres GPS völlig ausreichend.

Es gibt umfangreiche Listen mit Angaben zu den drei  $\Delta$ -Parametern für den Übergang von einem gegebenen geodätischen Datum zum WGS 84. Neben der „offiziellen“ Publikation der „National Imagery and Mapping Agency“ der USA NIMA TR8350.2 [5] ist hier vor allem

Peter H. Dana [6] zu nennen; Stefan A. Voser [7] bietet eine Zusammenstellung der vollständigen Datumparameter für Europa. Mit Angaben zum Potsdam Datum wie zum System 42 sah es aber lange Zeit schlecht aus, so daß ich ursprünglich die Werte selbst berechnete. Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der „simple“  $\Delta$ -Parameter für den Übergang lokales Datum – WGS 84 aus verschiedenen Quellen.

Geodätisches Datum	Ellipsoid	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]	$\Delta a$ [m]	$\Delta f$ ( $\times 10^4$ )
MGI (Hermannskogel, Austria) <sup>1</sup>	Bessel 1841	+586	+89	+468	+739,845	+0,10037483
MGI <sup>2</sup>	Bessel 1841	+594	+84	+471	+739,845	+0,10037483
Potsdam <sup>2</sup>	Bessel 1841	+587	+16	+393	+739,845	+0,10037483
Potsdam <sup>3</sup>	Bessel 1841	+606	+23	+413	+739,845	+0,10037483
Potsdam <sup>4</sup>	Bessel 1841	+587	+16	+393	+739,8	+0,10037483
Potsdam <sup>5</sup>	Bessel 1841	+631	+23	+451	+740	+0,10038
Potsdam <sup>6</sup>	Bessel 1841	+632	+29	+452	739,845	+0,10037483
System 42/83 <sup>6</sup>	Krassowski 1942	+23	-125	-84	-108,0	+0,00480795

(<sup>1</sup> unbekannt; <sup>2</sup> nach S.A.Voser [7]; <sup>3</sup> nach P.H. Dana [6]; <sup>4</sup> Parameter, die von der Firma Garmin zur Darstellung im 12XL genutzt werden, Mitteilung von Arnd Gehrman in der Newsgroup „sci.geo.satellite-nav“ vom 08.07.1997; <sup>5</sup> nach M. Spata, H.W. Kühnhold [8]; <sup>6</sup> von mir berechnet)

Die Parameter  $\Delta a$  und  $\Delta f$  werden ebenfalls bei der Datumstransformation benötigt,  $\Delta a$  ist die Differenz von WGS 84 Äquatorradius und Äquatorradius des dem spezifischen geodätischen Datum zugrundegelegten Ellipsoiden,  $\Delta f$  ist die Differenz in der Abplattung multipliziert mit  $10^4$ . (Manche GPS-Geräte verlangen bei der Definition eines selbstdefinierten Datums die Eingabe der Parameter der Ellipsoiden in einer anderen Form – Handbuch zu Rate ziehen!)

### Die Eingabe des Potsdam Datums / System 42/83 als „user datum“

Viele GPS-Receiver, wie auch der einfache „MAGELLAN GPS 2000“ bieten die bequeme Möglichkeit, mit einem selbstdefinierten Datum zu arbeiten. Im Setup-Menü wählen wir beim Magellan „MAP DATUM“, danach „USER DATUM“ und geben folgendes ein:

```
LCL TO WGS84
DELTA A:           +0739.845M
DELTA F (X 10,000) +0.10037483
DELTA X           +0632M
DELTA Y           +0029M
DELTA Z           +0452M
```

DELTA A und DELTA F sind die oben angeführten Parameter für den Bessel-Ellipsoiden von 1841.

Zur Kontrolle das Beispiel der Kooordinatentransformation für den Punkt Hohenbünstorf aus [2]:

Koordinaten im	Potsdam Datum	WG S84
nördl. Breite	53° 03' 07,59"	53° 03' 02,25"
östl. Länge	10°28' 38,99"	10°28'34,33''
Höhe	108,9 m	149,3 m.

Dazu geben wir mit diesen Daten einen Wegepunkt (LANDMARK) ein (Koordinaten des Potsdam Datums zum „user datum“) und wechseln danach auf das WGS 84 Datum. Die Breiten- und Längenangaben stimmen bis auf die Sekunde mit dem Beispiel überein (die Höhenangabe wird nicht umgerechnet). Die zu erwartenden Ungenauigkeiten bei der

Datumstransformationen sind also in Relation zur Genauigkeit der Positionsbestimmung mittels GPS vernachlässigbar klein.

Für die Definition des System 42/83 als „user datum“ verfahren wir analog. Bei einem Garmin GPS II Plus lauten die Eingaben für das Datum System 42/83:

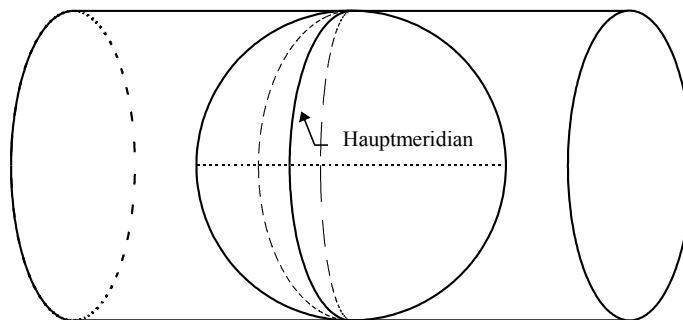
(WGS84-LOCAL)  
DX: 23 m  
DY: -125 m  
DZ: -84 m  
DA: -108 m  
DF: 0.0048079

Wie man sieht, erfolgen bei beiden Geräten die Eingaben auf ähnliche Art und Weise, wobei beim GPS II+ entgegen der Überschrift „WGS84-LOCAL“ die Datumsschiftwerte auch für den Übergang lokales Datum nach WGS 84 angegeben werden müssen (Vorzeichen wie beim Magellan). Im Zweifelsfalle empfiehlt sich immer ein Ausprobieren mit bekannten Werten, da die Handbücher auch nicht gerade mit ausführlichen Anweisungen glänzen.

### Gauß-Krüger-Koordinaten

Die Aufgabe jeder Kartenprojektion besteht darin, das verwendete Erdellipsoid möglichst verzerrungsfrei in einer Ebene, d.h. der Karte abzubilden. Da das Erdellipsoid wie auch die Kugeloberfläche sich im Gegensatz zu einem Kegelmantel oder Zylinder nicht in eine Ebene abwickeln lassen, muß man bei der Abbildung Kompromisse eingehen; Längen-, Flächen- und Winkeltreue lassen sich nicht gleichzeitig verwirklichen.

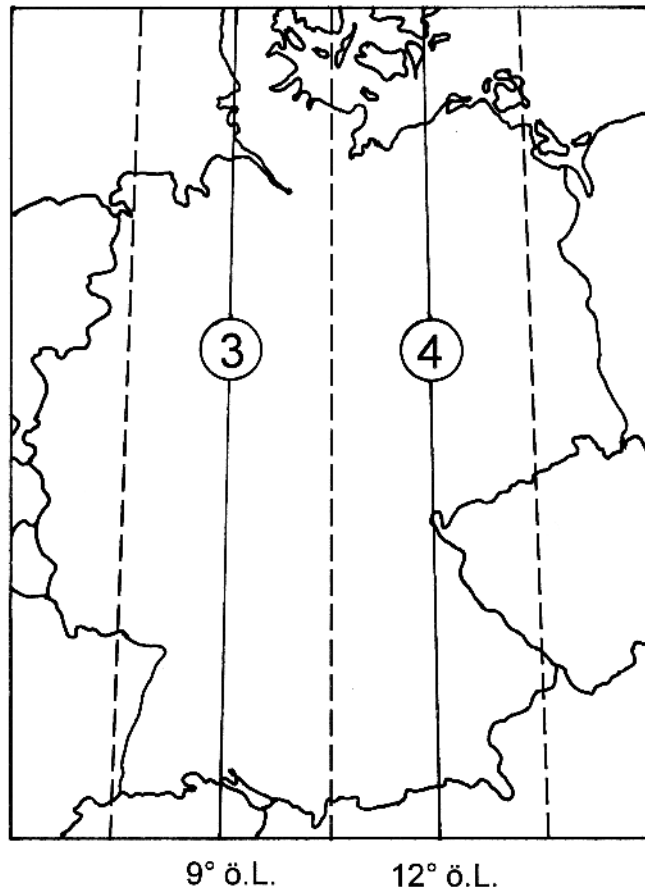
Für das amtliche deutsche Kartenwerk wird seit den zwanziger Jahren eine konforme (d.h. winkeltreue) Gauß-Krüger-Projektion benutzt, die sich allerdings in Deutschland nach derzeitigem Stand, wie im ersten Teil erläutert, auf zwei unterschiedliche Referenzellipsoide bezieht. Das Gauß-Krüger-Meridianstreifensystem ist eine querachsige Zylinderprojektion mit einem längentreu abgebildeten Meridian (Haupt- oder Mittelmeridian, Bezugsmeridian).



*Gauß-Krüger-Projektion*

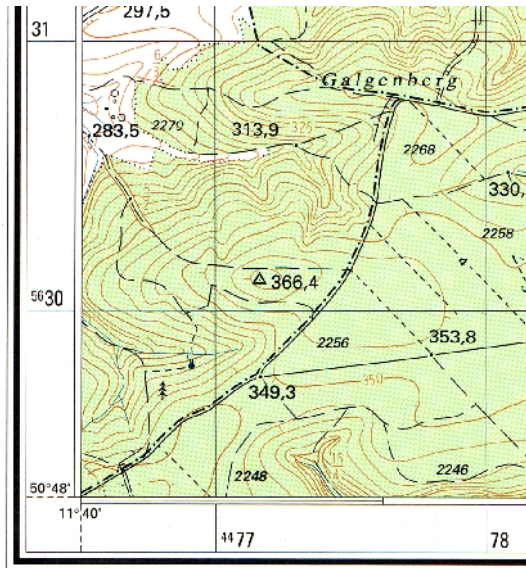
Man kann sich das Ganze so vorstellen, daß bei der Transversalen Mercator-Projektion – so heißt die Gauß-Krüger-Projektion meist im Ausland – über das Erdellipsoid ein Zylinder gestülpt wird, der den Erdrotationsellipsoid entlang eines Hauptmeridians berührt und diesen damit längentreu abbildet. Die Zylinderachse steht folglich senkrecht oder querachsrig zur Rotationsachse des Erdsphäroids (andere Bezeichnung für Rotationsellipsoid). Vom Mittelpunkt des Ellipsoids aus wird die Oberfläche des Ellipsoids innerhalb eines festgelegten Bereiches beiderseits des Bezugsmeridians auf die Zylinderoberfläche projiziert. Um die Verzerrungen gering zu halten, darf dabei der Meridianstreifen nicht allzu breit werden. Der Projektionszylinder wird dann längs aufgeschnitten und in eine Ebene abgewickelt.

Als Hauptmeridiane wurden in Deutschland die Längengrade  $6^\circ$ ,  $9^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  östlicher Länge festgelegt, die Meridianstreifen sind  $3^\circ$  breit, sie erstrecken sich also  $1,5^\circ$  (ca. 100 km) nach jeder Seite vom Hauptmeridian aus. (Nach einem Beschluß aus dem Jahre 1966 beträgt die Ausdehnung jeweils  $1^\circ 40'$  vom Hauptmeridian aus, die Meridianstreifen überlappen sich folglich um 20 Längenminuten – rund 23 km –, in diesem Gebiet werden die Koordinaten in beiden Systemen angegeben.) Die Längenverzerrung bleibt dabei gering, sie erreicht maximal 12 cm pro km: um 12,3 cm ist in 100 km Entfernung zum Bezugsmeridian die aus den Gauß-Krüger-Koordinaten errechnete Strecke von 1 km zu lang gegenüber der Strecke auf dem Ellipsoiden (siehe [1], S. 69; [11], S. 165ff.).



*Gauß-Krüger-Meridianstreifensystem in Deutschland*

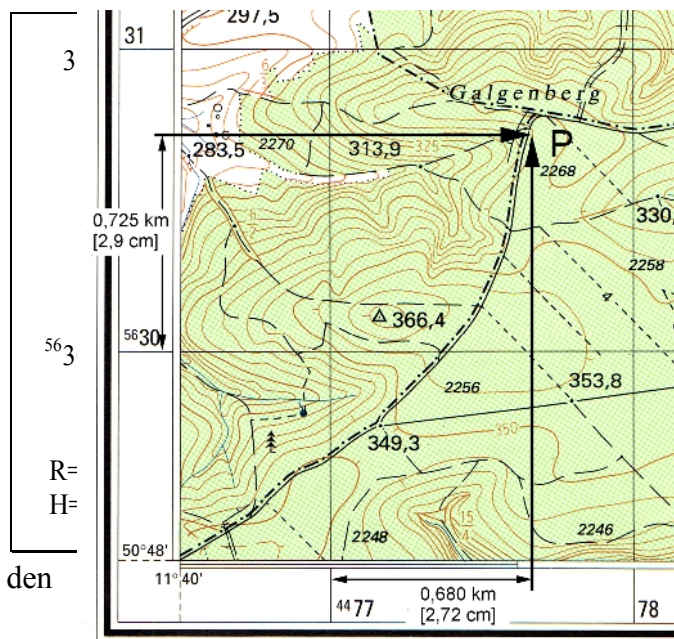
Gauß-Krüger-Koordinaten beschreiben die Lage eines Ortes innerhalb dieses Meridianstreifens mit *Rechts-* und *Hochwerten* mit der Maßeinheit m bezüglich des Koordinatenausgangspunktes. *Hochwerte* geben die *Entfernung in m vom Äquator* an. Auf topographischen Karten finden wir sie am linken und rechten Rand, wobei sie nur in ganzen Kilometern angeführt werden und die ersten beiden Ziffern als Hochzahlen geschrieben werden:  $5^690$  als Hochwert bedeutet also 5 690 km Entfernung zum Äquator. Der *Rechtswert* (wieder als ganze Kilometer am oberen und unteren Kartenrand) ist die *Entfernung in m vom Haupt- oder Mittelmeridian des jeweiligen Meridianstreifens*, wobei der *Hauptmeridian nicht den Rechtswert 0 m sondern 500 000 m erhält*, um negative Rechtswerte zu vermeiden. Zusätzlich wird durch eine vorangestellte Kennziffer noch der Meridianstreifen angegeben, diese Kennziffer entsteht durch die Division der Gradzahl des Hauptmeridians durch den Hauptmeridianabstand ( $3^\circ$ ). So ist 2 die Kennziffer für den Hauptmeridian  $6^\circ$ , 3 für  $9^\circ$ , 4 für  $12^\circ$  usw. Die Kennziffer des Meridianstreifens wird also faktisch als Million m addiert. Bei einer Koordinatenangabe wird immer *zuerst* der Rechtswert angeführt.



Rechtswerte der Gauß-Krüger-Koordinaten auf einer Topographischen Karte 1:25 000 (Blatt 5136 Stadtroda) am unteren Kartenrand, Hochwerte am linken Kartenrand und eingedrucktes Koordinatengitter

Die Vorteile der Gauß-Krüger-Projektion liegen auf der Hand: sie ermöglichen es, die Karten mit

einem quadratischen „Gitternetz“ zu versehen, mit dessen Hilfe ein Ort auf der Karte aus gegebenen Koordinaten gefunden bzw. umgekehrt die Koordinaten aus der Karte auf einfachste Weise entnommen werden können. Der Abstand der das Gitternetz bildenden Parallelen beträgt bei der für Wanderungen gut geeigneten Topographischen Karte im Maßstab 1:25 000 jeweils 4 cm, dies entspricht 1 km in der „freien“ Natur. Die Netzlinien sind im Kartenfeld nicht immer eingedruckt, manchmal sind sie nur als Schnitkreuze angedeutet oder fehlen ganz. Auf jeden Fall finden wir das Gauß-Krüger-Koordinatengitter als bezifferte Striche am Kartenrahmen angegeben und es empfiehlt sich u. U., das Gitter selbst einzuzeichnen.



Bestimmung der Gauß-Krüger-Koordinaten eines Punktes P

Das Herauslesen der Gauß-Krüger-Koordinaten eines Punktes P aus einer topographischen Karte (oder umgekehrt das Auffinden eines Punktes mit gegebenen Koordinaten auf der Karte) veranschaulichen beide Abbildungen. Um beispielsweise den Rechtswert des Punktes aus der Karte zu bestimmen, ziehen wir eine (gedachte) senkrechte Parallele durch den Punkt P und messen den Abstand zur nächsten in der Karte eingezeichneten Parallele. In unserem Fall beträgt der Abstand zu Parallele mit

dem Rechtswert 4477000 m (auf der Karte immer als ganze km 4477) 2,72 cm. Bei einem Kartenmaßstab 1:25 000 entsprechen 4 cm auf der Karte 1 km in der Natur (d.h. auch die Bezeichnung „4cm-Karte“), wir rechnen  $2,72:4=0,68$  km und addieren diesen Wert zu den 4477 km. Der Rechtswert des Punktes beträgt also 4477,68 km oder in anderer Schreibweise  $R=4477680$  m. Den Hochwert bestimmen wir analog.

(Wer Schwierigkeiten im Umgang mit Karte (und Kompaß) hat, dem seien die Publikationen von W. Kahl [9] und W. Linke [10] empfohlen.)

Noch eine verzwickte Sache am Rande: Die amtlichen topographischen Karten Deutschlands

in den Maßstäben 1:25 000 (TK 25) bis 1:20 000 (TÜK 200) sind sogenannte Gradabteilungskarten, wobei 4 Karten des Ausgangsmaßstabes jeweils eine Folgekarte im nächst kleinerem Maßstab ergeben, so umfaßt ein Blatt der TK 50 (Topographische Karte 1:50 000) vier ganze Blätter der TK 25. Die Ränder der Karten (der Blattschnitt) werden durch geographische Koordinaten gebildet, bei der TK 25 sind es jeweils volle 10 Längenminuten (10') und 6 Breitenminuten (6'). Die seitlichen Kartenränder der topographischen Karten – da durch Meridiane gebildet – weisen in Richtung „Geographisch-Nord“ (der „echten“, durch den geographischen Nordpol definierten Nordrichtung). Anders sieht es mit dem Gitternetz der Gauß-Krüger-Koordinaten aus, nur die mit dem Hauptmeridian zusammenfallende senkrechte Gitterlinie verläuft in Richtung Geographisch Nord, alle anderen in einer Karte eingezeichneten senkrechten, zueinander parallelen Gitterlinien weichen davon ab, und zwar um so stärker, je weiter ihr Abstand vom Hauptmeridian ist. Diese Abweichung von „Gitter-Nord“ zu „Geographisch-Nord“ wird als Meridiankonvergenz bezeichnet (im Extremfall ca 3° bei 80° Breite).

### Gauß-Krüger-Koordinatensystem als „user grid“

Beim GPS-Empfänger „Magellan 2000“ fehlt wie bei manch anderem Modell das in Deutschland verwendete Gauß-Krüger-Koordinatensystem („German Grid“). Man kann dennoch mit ihnen arbeiten, wenn man die Möglichkeit des „user grid“, also eines selbstdefinierten Koordinatensystems nutzt. Hier die Angaben für das Setup im Menüpunkt „USER GRID“ (Untermenü von COORD SYSTEM) beim Magellan:

```
TRANSV MERC
LATTITUDE OF ORIGIN      00.00000N
LONGITUDE OF ORIGIN      012.00000E
SCALE FACTOR              1.00000000
UNITS TO METERS CONV      1.00000000
FALSE EASTING AT ORIGIN  04500000.0
FALSE NORTH AT ORIGIN     00000000.0
```

Aus der zu Beginn angebotenen Auswahl von Kartenprojektionen wählen wir „transverse mercator“, denn die Gauß-Krüger-Meridianstreifenprojektion ist eine querachsige, d.h. transversale Mercatorprojektion. Die Breite des Ausgangspunktes der Koordinaten („latitude of origin“) ist gleich 0° (Hochwerte geben die Entfernung vom Äquator an), die Länge des Haupt- oder Mittelmeridians des Koordinatenausgangspunktes („longitude of origin“) beträgt in unserem Fall 12° (Leipzig). Die Gauß-Krüger-Koordinaten bilden den Bezugsmeridian (d. h. den jeweiligen Hauptmeridian) längentreu ab, der Verjüngungsfaktor („scale factor“) ist folglich 1. Die Angabe der Koordinaten erfolgt als Abstände in m vom Koordinatenausgangspunkt, „units to meters conversion“ wird also auf 1,0 gesetzt. Der Rechtswert des Hauptmeridians beträgt 500 000 m bzw. beim 12°-Meridianstreifen 4 500 000 m, also geben wir bei „false easting at origin“ diesen Wert ein (zum Hochwert wird nichts addiert). Mit diesen Hinweisen müßte auch bei anderen GPS-Receivern die Eingabe des Gauß-Krüger-Koordinatensystems als selbstdefiniertes Koordinatensystem möglich sein. Nicht vergessen: für *jeden* in Deutschland verwendeten Meridianstreifen muß ein eigenes „user grid“ eingegeben werden, die Koordinaten haben nur Sinn innerhalb des durch den jeweiligen Meridianstreifen abgedeckten Gebietes.

Die Verwendung dieses „user grids“ mit gleichzeitiger Verwendung des richtigen (!) Kartendatums erlaubt die unmittelbare Benutzung der amtlichen topographischen Karten. Mein Standort in Leipzig wird vom GPS auf dem Display in folgender Form ausgegeben:

```
045-32-309E
056-90-863N.
```

Als Gauß-Krüger-Koordinaten korrekt notiert wäre dies:

$R_{12}=4\ 532\ 309\ \text{m}$  (Rechtswert bezogen auf den 12°-Hauptmeridian)

$H_{12}=5\ 690\ 863$  m (Hochwert).

Auf der topographischen Karte muß man am Kartenrand entsprechend <sup>45</sup>32 für den Rechtswert und <sup>56</sup>90 für den Hochwert aufsuchen und den genauen Standort durch Interpolation ermitteln. Bei den oben erwähnten topographischen Karten der DDR, Ausgabe Staat (AS) wurde auch eine konforme querachsige Zylinderprojektion, d.h. Gauß-Krüger-Meridianstreifenprojektion verwandt, allerdings mit 6° breiten Meridianstreifen, längentreuen Mittelmeridianen bei 9° (Zone 2) und 15° östl. Länge (Zone 3), bezogen auf den Erdellipsoid von Krassowski. Bei der Arbeit mit solchen Karten muß man also auch auf ein benutzerdefiniertes Koordinatensystem zurückgreifen (longitude of origin je nach Zone 009.0E bzw. 015.0E, false easting at origin 2500000.0 bzw. 3500000.0 m).

### Die österreichischen Meridianstreifen (Bundsmeldenetz)

In Österreich wird gleichfalls ein Meridianstreifensystem nach Gauß-Krüger mit 3° breiten Meridianstreifen und längentreuen Mittelmeridianen auf der Grundlage des Bessel-Ellipsoids verwandt. Die Mittelmeridiane von 28°, 31° und 34° beziehen sich aber nicht auf den 1884 international vereinbarten Nullmeridian von Greenwich, sondern auf den Nullmeridian von Ferro, der westlichsten der Kanarischen Inseln. Der Nullmeridian von Ferro ist 17° 40' westlich von Greenwich. Die Mittelmeridiane von 28°, 31° und 34° ostwärts Ferro entsprechen also 10° 20' (M28), 13° 20' (M31) und 16° 20' (M34) östl. L. von Greenwich.

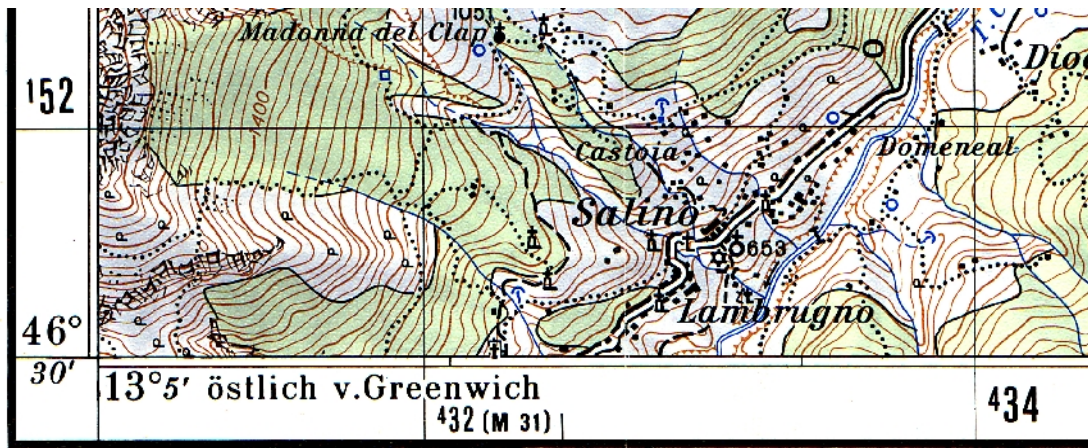
Die Zusammenhänge findet man in der Legende der Karten dargestellt:

Geographische Länge von Ferro = Geographische Länge von Greenwich +17°40'00''  
Gauß - Krüger - Abbildung in 3° breiten Meridianstreifen : M 28, M 31 und M 34  
Umrechnung vom BMN in die Gauß - Krüger - Meridianstreifenabbildung:  
x<sub>GKM</sub> = Hochwert<sub>BMN</sub>  
y<sub>M31</sub> = Rechtswert<sub>BMN</sub> - 450 km

*Legende der Karte ÖK 25 V, 198 Weissbriach (= Vergrößerung der Österr. Karte 1:50 000)*

An den Kartenrändern sind die Rechts- und Hochwerte des Bundsmeldenetzes in ganzen Kilometern angegeben, diese BMN-Koordinaten sind nun nicht einfach der Hoch- und Rechtswert in m bezüglich des Mittelmeridians, sondern errechnen sich nach dem in der Kartenlegende angegebenen Zusammenhang: der Rechtswert des BMN ist die Entfernung zum Mittelmeridian + 450 000 m (beim Meridianstreifen M31), der Hochwert gibt die Entfernung zum Äquator an, faktisch werden aber 5 000 000 m (oder 5 000 km) abgezogen, so daß sich dreistellige Kilometerangaben ergeben.

$$\begin{aligned}\text{Hochwert}_{\text{BMN}} &= \text{Hochwert}_{\text{GKM}} - 5\ 000\ 000\ \text{m} \\ \text{Rechtswert}_{\text{BMN}(\text{M28})} &= \text{Rechtswert}_{\text{GKM}(\text{M28})} + 150\ 000\ \text{m} \\ \text{Rechtswert}_{\text{BMN}(\text{M31})} &= \text{Rechtswert}_{\text{GKM}(\text{M31})} + 450\ 000\ \text{m} \\ \text{Rechtswert}_{\text{BMN}(\text{M34})} &= \text{Rechtswert}_{\text{GKM}(\text{M34})} + 750\ 000\ \text{m}\end{aligned}$$



Linke, untere Kartenecke der ÖK 25 V, Blatt 198. Rechtswerte des BMN am unteren Kartenrand als ganze Kilometer mit Angabe des Mittelmeridians, Hochwerte des BMN am linken Kartenrand

Um mit diesen modifizierten Gauß-Krüger-Koordinaten arbeiten zu können, müssen wir auch bei einem Garmin GPS II+ oder 12 XL wieder zu einem selbstdefinierten Koordinatensystem greifen, denn sinnigerweise ist zwar das Österreichische Datum („Austria“) implementiert, aber nicht das zugehörige BMN-Koordinatensystem. (Wie aus den Eingaben ersichtlich, sind im Unterschied etwa zum Magellan GPS 2000 als selbstdefinierte Koordinatensysteme nur transversale Mercatorprojektionen mit festliegender Breite des Koordinatenursprungs von 0° möglich.)

#### USER GRID

LONGITUDE OF ORIGIN: E013° 20.000'  
SCALE: 1.000000  
FALSE E: 450000.0 m  
FALSE N: -5000000.0 m

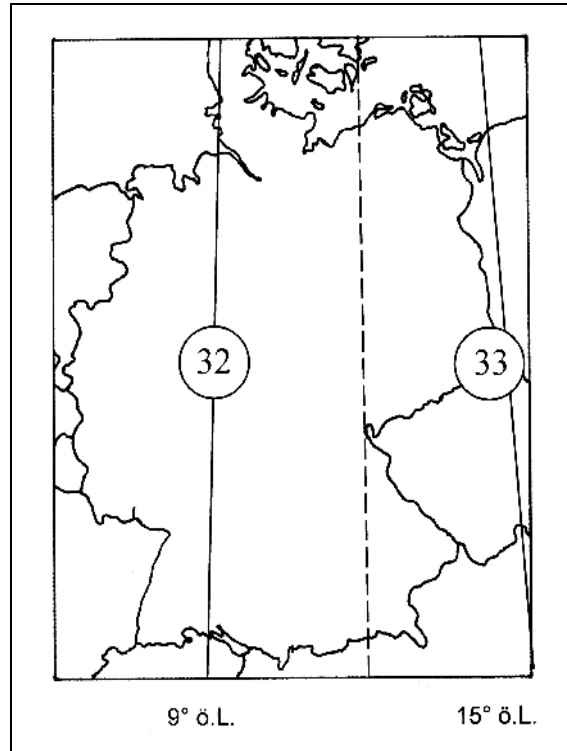
Beim Meridianstreifen M31 hat der Mittelmeridian des Streifens M31 (LONGITUDE OF ORIGIN) eine östliche Länge von 13° 20' (31° ö.F. -17° 40' = 13° 20' ö.L.), der Mittelmeridian wird längentreu abgebildet (SCALE = 1), der Hochwert gibt die Entfernung zum Äquator minus 5 000 km an (FALSE N = -5 000 000 m). Der Rechtswert ergibt sich aus der Entfernung zum Mittelmeridian + 450 000 m (FALSE E = 450 000 m). Für die anderen Meridianstreifen M28 und M34 erfolgen die Eingaben analog (longitude of origin 10° 20' ö.L. bei M28 bzw. 16° 20' ö.L. bei M34, false easting 150 000 m bzw. 750 000 m).

Auch in Österreich erfolgt zukünftig eine Umstellung auf WGS 84 und UTM-Koordinaten; der Null-Pegel wird von der Marke am Molo Sartorio in Triest auf den Amsterdamer Pegel um etwa 40 cm „angehoben“.

#### UTM-Koordinaten

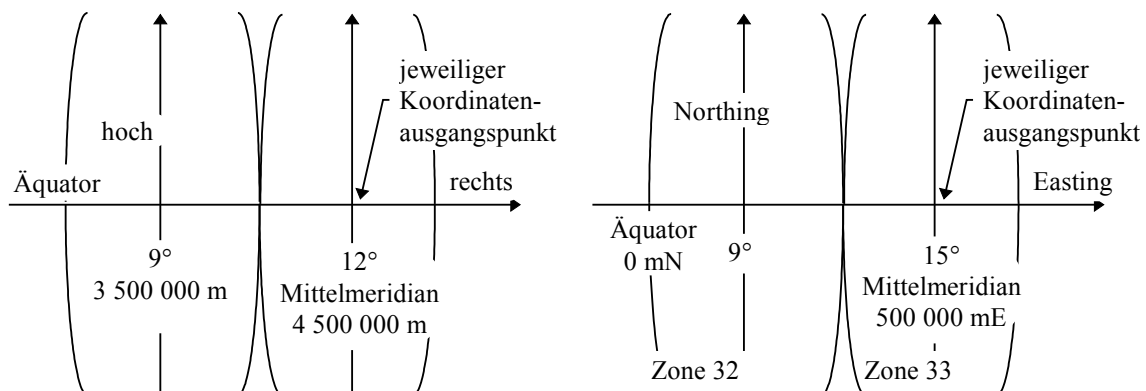
Mit dem geplanten Wechsel des amtlichen Bezugssystems in Deutschland zum ETRS 89 geht auch ein Wechsel des Abbildungssystems zur Universalen Transversalen Mercatorprojektion einher. UTM-Koordinaten mit Bezug auf das Europäische Datum 1950 werden schon heute im militärischen NATO-Bereich verwendet, neuerdings gibt es auch Wanderkarten ausgewählter Gebiete mit eingedrucktem UTM-Gitter zur bequemen Verwendung mit GPS-Receiver. Dieses dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem ähnliche Koordinatensystem verwendet 6° breite Meridianstreifen. Um die Längenverzerrungen im Bereich der Ränder der Meridianstreifen möglichst gering zu halten, wird der Hauptmeridian im Unterschied zum Gauß-Krüger-Koordinatensystem verkürzt abgebildet und zwar mit dem Verjüngungsfaktor 0,9996. Der Projektionszylinder berührt damit nicht wie bei der Gauß-Krüger-Projektion das Sphäroid entlang eines Bezugsmeridians, sondern schneidet es. Eine Längentreue ergibt sich in ca. 180 km Entfernung beiderseits des Hauptmeridians. Parameter des UTM-Koordinatensystems sind

einmal der Ostwert (easting), das ist der Abstand zum Bezugsmeridian in m, wobei zur Vermeidung negativer Werte 500 000 m addiert werden. Vorangestellt wird die Zonenkennziffer: Beginnend mit 180° westlicher Länge werden die 6° Längengrade breiten Meridianstreifen („Zonen“) von West nach Ost durchlaufend von 1 bis 60 durchnummeriert. Die Haupt- oder Mittelmeridiane liegen jeweils bei 3°, 9°, 15° usw. östl. und westl. Länge, die durch den Hauptmeridian 9° östl. Länge gebildete Zone hat z.B. die Nummer 32.



UTM-System in Deutschland

Deutschland wird von den Zonen 32 (Mittelmeridian 9° ö.L.) und 33 (Mittelmeridian 15° ö.L.) erfaßt. (Ein von manchen GPS-Receiver mit ausgegebener großer Buchstabe zur Bezeichnung von Intervallen von 8° Breitenunterschieden innerhalb einer Zone bezieht sich eigentlich auf das „MGRS“, dem US-amerikanischen Military Grid Reference System). Der Nordwert ist der Abstand zum Äquator, wobei bei Koordinaten auf der südlichen Erdhalbkugel 10 000 000 m addiert werden.

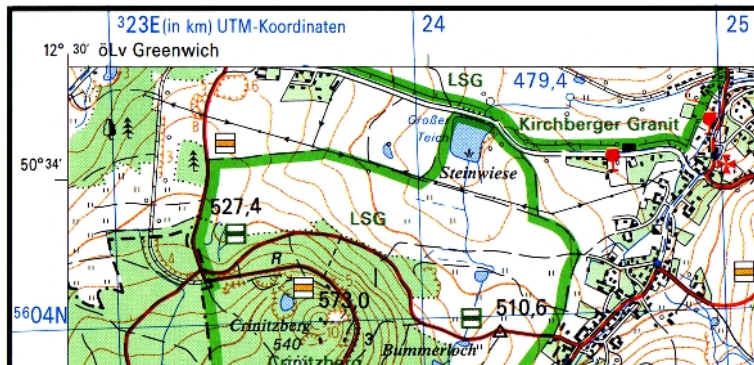


Gegenüberstellung von Gauß-Krüger- und UTM-Koordinatensystem

Bei einer UTM-Koordinatenangabe wird zuerst der Ost- und dann der Nordwert genannt, die Stellen der Koordinatenangabe, die Tausend und Zehntausend Meter repräsentieren, werden oft

hervorgehoben (vergrößert) dargestellt, während die Zonenangabe gewöhnlich nur in der Kartenlegende steht. Beispiele für unterschiedliche Schreibweisen derselben Koordinaten:

33U 0323<sup>000</sup> m E, 0323<sup>000m</sup> E., 0323<sup>000m</sup> E, 323E (in km)  
5604<sup>000</sup> m N, 5604<sup>000m</sup> N., 5604<sup>000m</sup> N, 5604N (in km)



Topographische Karte mit UTM-Gitter auf Basis ETRS 89 (Naturpark Erzgebirge, Blatt 3 und 4). Ostwerte der UTM-Koordinaten am oberen Kartenrand, Nordwerte am linken (Zonenbezeichnung fehlt)

Das UTM-Koordinatensystem erfaßt den Bereich zwischen 84° nördlicher und 80° südlicher Breite der Erde. In Polnähe wird das sogenannte Universale Polare Stereographische Koordinatensystem verwandt, Parameter der UPS-Koordinaten sind gleichfalls der Ost- und Nordwert in m.

Das UTM-Koordinatensystem mit dem korrespondierenden geodätischen Datum WGS 84 (bzw. in Europa ETRS 89) dürfte in allen GPS-Empfängern implementiert sein. Es ist *das* weltweit angewandte Koordinatensystem der Zukunft.

## Literatur

- [1] Günter Hake, Dietmar Grünreich: Kartographie. Berlin, New York: de Gruyter 1994
- [2] Johannes Ihde, Henning Schoch, Lothar Steinich: Beziehungen zwischen den geodätischen Bezugssystemen Datum Rauenberg, ED 50 und System 42. Frankfurt am Main: Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie 1995
- [3] Johannes Ihde, Walter Lindstrot: Datumstransformation zwischen den Bezugssystemen ETRF/WGS, DHDN und System 42. Zeitschrift für das Vermessungswesen 120 (1995), H. 4
- [4] O. Labonde: Die Problematik der notwendigen Datums-Transformation beim GPS-Empfang in Deutschland [<http://user.baden-online.de/~olabonde/datum.html>]
- [5] NIMA TR8350.2: Department of Defense World Geodetic System 1984. Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. Third Edition 4 July 1997. (<ftp://164.214.2.59/pub/gg/tr8350.2/wgs84rpt.pdf>)
- [6] Peter H. Dana: Geodetic Datum Overview (<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/datum/datum.html>)
- [7] Stefan A. Voser: Geodetic Reference Systems (<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/1224/dat/dat.html>)
- [8] Manfred Spata, Hans Willi Kühnhold: Satellitennavigation mit GPS-Handgeräten. BDVI-FORUM 3/1994
- [9] Willi Kahl: Navigation für Expeditionen, Touren, Törns und Reisen. Orientierung in der Wildnis. Hattorf am Harz: Schettler Publikationen 1991
- [10] Wolfgang Linke: Orientierung mit Karte, Kompass, GPS. Grundwissen, Verfahren, Übungen. Herford: Busse + Seewald 1998
- [11] Großmann, W., Kahmen, H.: Vermesungskunde II. Berlin, New York: de Gruyter 1983

**Achtung: Wurde ca. 1998 verfasst und nicht verändert!!**