

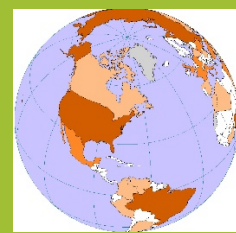
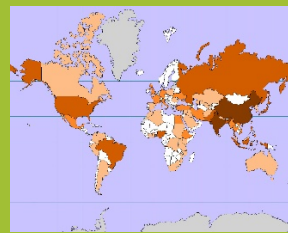


## Tutorial: Kartennetzentwürfe und Koordinatensysteme



### Kartennetzentwürfe und Koordinatensysteme

In dieser Lerneinheit soll das Problem der Abbildung der gekrümmten Erdfigur auf eine Ebene oder eine andere Ersatzfigur erläutert (Kartennetzentwürfe) sowie gängige Koordinatensysteme beschrieben werden.



Bildquellen: Bill (2016, S. 184)

### Kartennetzentwürfe

Die Erde hat eine in zwei Richtungen gekrümmte Gestalt. Die einfachste Annäherung ist die Kugel. Mathematisch komplexer wird die Erde als Ellipsoid beschrieben. Die tatsächliche Gestalt ähnelt jedoch am ehesten einer Kartoffel. Man spricht von einem Geoid. Da ein unregelmäßiger Körper für Berechnungen wenig geeignet ist wird als geometrische Näherung ein Ellipsoid verwendet. Es existieren verschiedene Ellipsoide, die je nach kartiertem Gebiet verwendet werden. Da das Ellipsoid die Erde stets nur annähert, entstehen in der Abbildung immer kleinere Abweichungen. Um diese zu minimieren gibt es z.B. lokal angepasste Ellipsoide, wie das Bessel-Ellipsoid oder das Krassowski-Ellipsoid. Diese sind in ihren Abmessungen und ihrer Lage so gestaltet, dass sie den abgebildeten Ausschnitt der Erdoberfläche besonders gut wiedergeben. Für globale Betrachtungen sind sie hingegen nicht geeignet. Dafür werden geozentrisch gelagerte Ellipsoide, wie z.B. das WGS 84 Ellipsoid, verwendet. Geozentrisch bedeutet, dass der Mittelpunkt des Ellipsoids und der Mittelpunkt der Erde identisch sind.

Als gekrümmte Körper kann das Ellipsoid nicht ohne weiteres auf eine Ebene abgebildet werden, ebenso wenig, wie man eine Kartoffel nicht in ein Blatt Papier einwickeln kann, ohne dass Falten entstehen. Ein einfaches Beispiel soll die Idee der Kartennetzentwürfe veranschaulichen.

Nehmen wir an, die Erde ist eine gläserne Kugel, in deren Zentrum sich eine Glühbirne befindet. Auf der Kugel sind die Kontinente und das Netz der geographischen Koordinaten (Meridiane und Breitenkreise) als schwarze Linien markiert. Knipst man nun die Glühbirne an und hält ein Blatt Papier an die Kugel so werfen die Linien Schatten. Zeichnet man diese Schatten nach, erhält man eine Karte. Meist ist die Projektion in die Kartenebene etwas komplexer, aber die Grundidee ist dieselbe.

Die Position der Glühbirne kann ebenso variieren wie die Position und Form des Blattes Papier auf welches projiziert wird. Je nach Position des Projektionszentrums (= „Glühbirne“) unterscheidet man: orthographische, stereographische und gnomonische Projektion (siehe Abbildung 1).

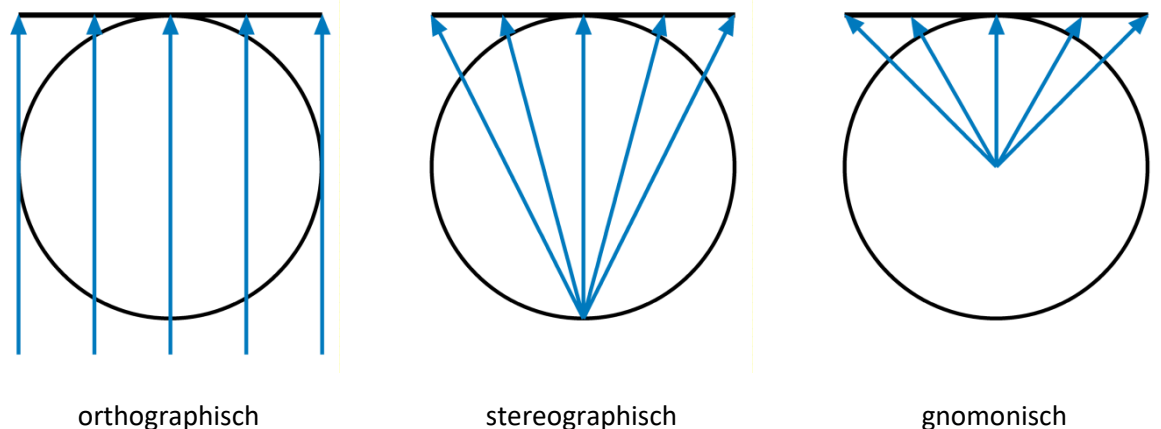


Abbildung 1: Position des Projektionszentrums

Die orthographische Projektion ist eine Parallelprojektion. Das Projektionszentrum liegt im Unendlichen. Das Projektionszentrum einer stereographischen Projektion liegt dem Berührungspunkt der Bildebene genau gegenüber. Ein Verbindungsvektor zwischen Berührungspunkt und Projektionszentrum führt durch den Kugelmittelpunkt. Bei der gnomonischen Projektion befindet sich das Projektionszentrum dagegen im Kugelmittelpunkt.

Kartennetzentwürfe führen zu bestimmten Eigenschaften der Karte. Eine Karte kann niemals verzerrungsfrei sein. Doch bestimmte Eigenschaften wie Längentreue, Winkeltreue und Flächentreue sind teilweise erreichbar. Winkeltreue bedeutet, dass Formen erhalten werden, ebenso wie Kurswinkel. Diese Eigenschaft ist wichtig für die Navigation auf See oder in der Luft. Flächentreue Abbildungen enthalten keine Flächenverzerrung. Winkeltreue und Flächentreue schließen sich gegenseitig aus. Um die Eigenschaften einer Abbildung deutlich zu machen, wird die TISSOT'sche Indikatrix verwendet. Die TISSOT'sche Indikatrix ist ein Kreis, der je nach Eigenschaften der Abbildung vergrößert oder zur Ellipse verzerrt wird (siehe Abbildungen 2 und 3).

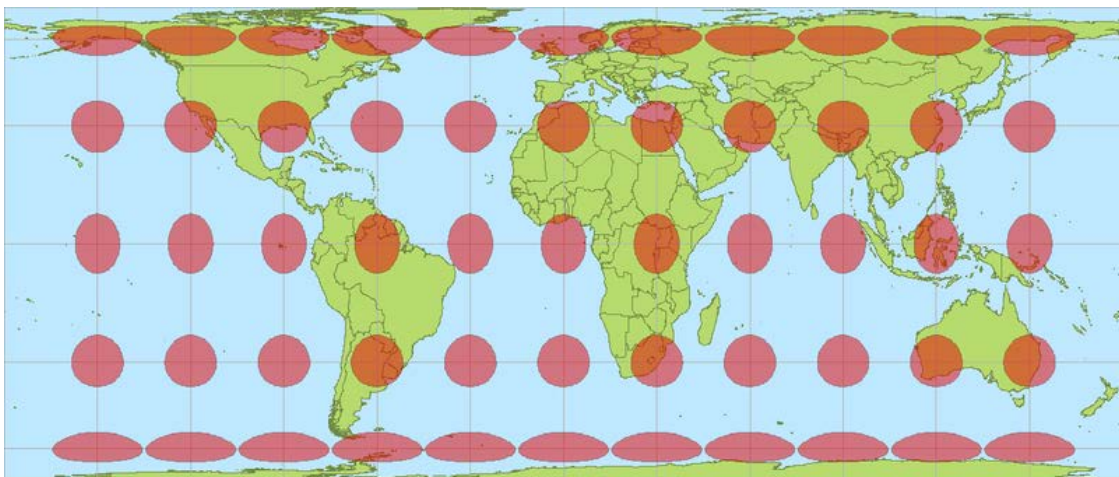


Abbildung 2: Flächentreue dargestellt mittels TISSOT'scher Indikatrix

(Quelle: Stefan Kühn, [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de), 05.08.13)

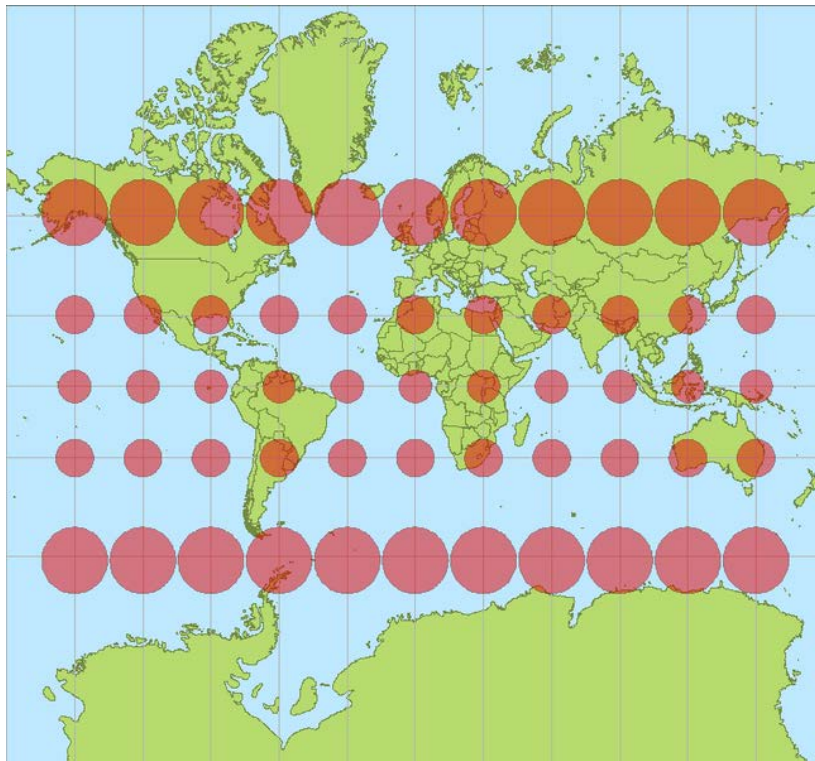


Abbildung 3: Winkeltreue dargestellt mittels Tissot'scher Indikatrix

(Quelle: Stefan Kühn, [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de), 05.08.13)

Die stereographische Projektion führt bei einer azimuthalen Abbildung (Projektion auf eine Ebene) zu einer winkeltreuen Abbildung. Die gnomonische Projektion hingegen ist für die Abbildung auf eine Ebene weder winkel- noch flächentreu. Vermittelnde Entwürfe versuchen die Gesamtverzerrung zu minimieren.

Als Abbildungskörper (= Projektionsfläche) dienen neben der Ebene u.a. auch Kegel und Zylinder (siehe Abbildung 4). Nachdem das Bild der Erde auf den Abbildungskörper projiziert wurde, können Kegel und Zylinder einfach in die Ebene abgewickelt werden. So entsteht die Karte. Der Kegel wird dazu vom unteren Rand in gerader Linie zur Kegelspitze aufgeschnitten und der Kegelmantel dann ausgebreitet. Der Zylindermantel wird vom unteren Rand zum oberen Rand in gerader Linie aufgeschnitten und ebenfalls ausgerollt.

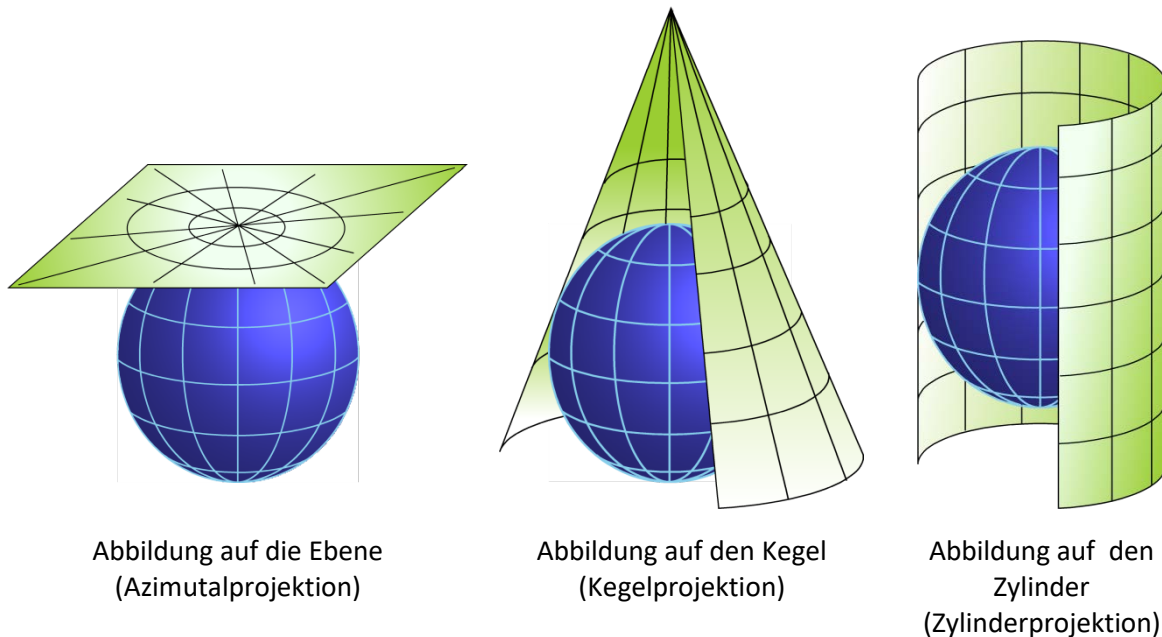


Abbildung 4: Abbildungskörper

Die Abbildungskörper können unterschiedliche Positionen in Bezug auf die Kugel oder das Ellipsoid einnehmen (siehe Abbildung 5).

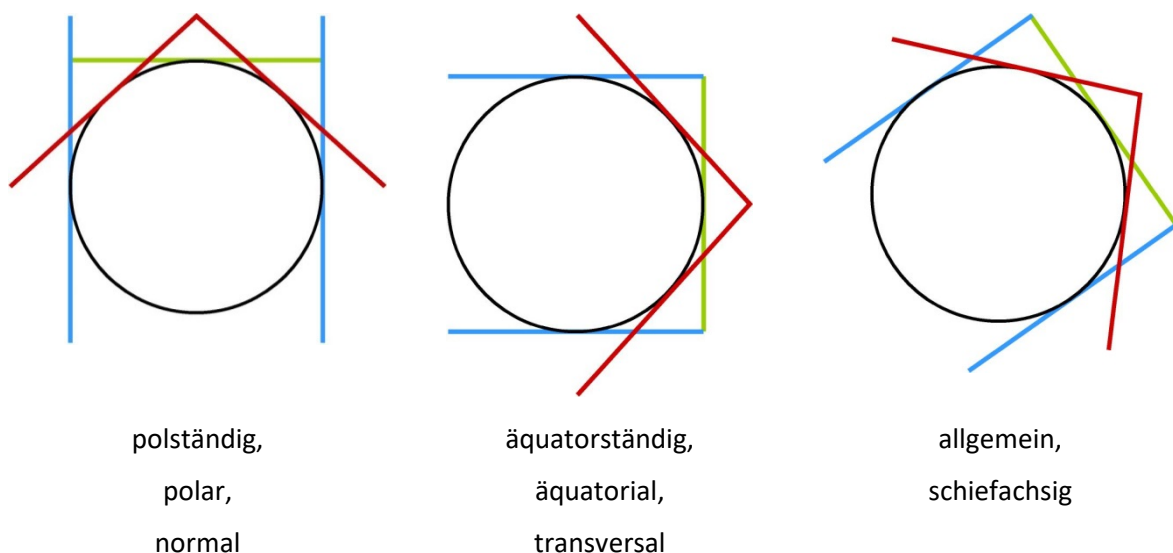


Abbildung 5: Lage der Abbildungskörper I

Die Abbildungskörper können die Erde berühren oder schneiden. Sie können jedoch auch berührungsfrei sein (siehe Abbildung 6). Die Berühr- bzw. Schnittlinien (z.B. die Schnittmeridiane in der UTM-Abbildung) werden unverzerrt abgebildet.

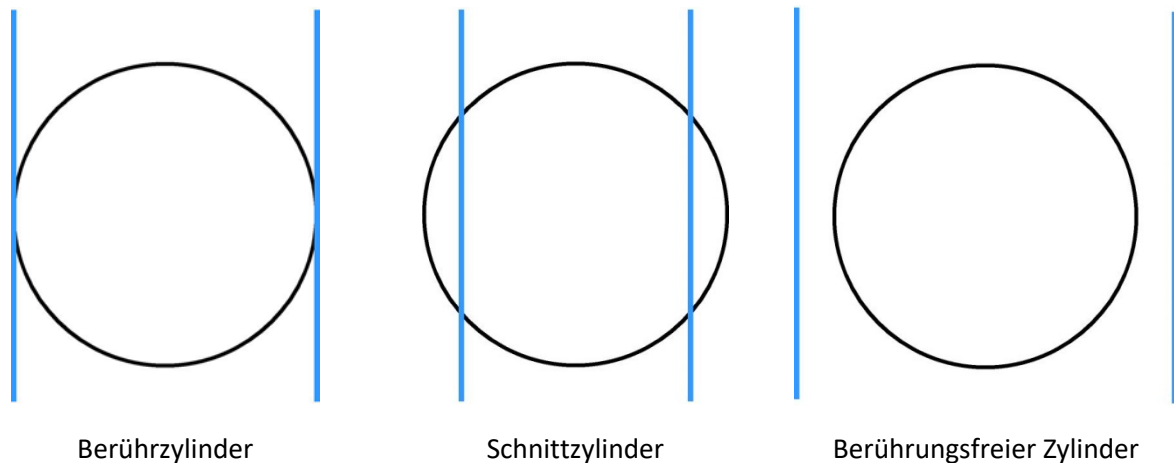


Abbildung 6: Lage der Abbildungskörper II

Die Wahl des Kartennetzentwurfes richtet sich vor allem nach dem abzubildenden Gebiet. Allgemein gilt für kleinmaßstäbige Karten, die ein großes Gebiet darstellen und einen polständigen Abbildungskörper verwenden:

- für polare Gebiete: Azimutalprojektion
- für ein Gebiet der mittleren Breiten: Kegelprojektion
- für ein Gebiet entlang des Äquators: Zylinderprojektion

Die Kartennetzentwürfe werden in echte und unechte Entwürfe unterteilt. Diese Einteilung richtet sich nach der Abbildung von Meridianen und Breitenkreisen. Echte Entwürfe bilden Meridiane als Geradenbüschel oder als Schar zueinander paralleler Geraden ab. Die Breitenkreise werden als konzentrische Kreise oder als eine zweite Schar zueinander paralleler Geraden abgebildet. Die Orthogonalität zwischen Meridianen und Breitenkreisen bleibt auch in der Abbildung erhalten. Bei unechten Entwürfen hingegen werden Meridiane als beliebige Kurven abgebildet. Die Orthogonalität zwischen den Koordinatenlinien des geographischen Koordinatennetzes geht in der Abbildung verloren.

## Koordinatenreferenzsysteme

Es existiert eine Vielzahl verschiedener Koordinatensysteme, die entweder lokal oder global angewendet werden. Nahezu jedes Land hat ein eigenes Landeskoordinatensystem entwickelt und seine amtlichen topographischen Karten damit herausgegeben. Im Zuge der Vereinheitlichung der topographischen Karten auf globaler Ebene fand in den amtlichen Karten Deutschlands der Wechsel vom bisherigen Gauß-Krüger-System zum neuen UTM-System statt. In der Übergangsphase sind beide Systeme auf den Karten angegeben. Zukünftig sollen die Gauß-Krüger-Koordinaten entfallen. Neben diesen beiden kartesischen (eben, rechtwinklig) Koordinatensystemen sind stets auch geographische Koordinaten angegeben.

## Geographische Koordinaten

Geographische Koordinaten beziehen sich auf die Erdfigur. Die Koordinatenlinien werden als Meridiane und Breitenkreise bezeichnet. Meridiane verlaufen durch Nord- und Südpol und schneiden die Breitenkreise in rechtem Winkel. Die Breitenkreise sind bis auf den Äquator keine Großkreise, d.h. ihr Mittelpunkt ist nicht identisch mit dem Erdmittelpunkt. Geographische Koordinaten werden in Länge (Meridiane) und Breite (Breitenkreise) angegeben. Die Maßeinheit ist Grad ( $^{\circ}$ ), wobei 60 geographische Sekunden ( $''$ ) 1 geographische Minute ( $'$ ) und  $60' = 1^{\circ}$  entsprechen. Für eine global



eindeutige Positionierung werden die Meridiane mit den Angaben w.L. (westliche Länge) oder ö.L. (östliche Länge) und die Breitenkreise mit n.B. (nördliche Breite) und s.B. (südliche Breite) versehen. Als Trennlinie zwischen östlicher und westlicher Länge dient ein Nullmeridian. Früher gab es mehrere dieser Nullmeridiane, bis man sich 1884 auf den Nullmeridian von Greenwich einigte. Die Trennung zwischen Nord- und Südhalbkugel markiert der Äquator.

Geographische Koordinaten sind an den Blattecken der amtlichen topographischen Karten angegeben. Zur Ablesung der Zwischenwerte dienen die abwechselnd hell und dunkel gekennzeichneten Abschnitte am inneren Kartenrahmen. Die geographischen Koordinaten bestimmen den Blattschnitt (die Abgrenzung der einzelnen Kartenblätter) bei den sog. Gradabteilungskarten (TK10 bis TÜK200). Sie dienen lediglich zur Orientierung. Für eine genaue Navigation in großen Maßstäben (z.B. beim Wandern) sind sie weniger geeignet.

### Gauß-Krüger-Koordinaten

Das Gauß-Krüger-Koordinatensystem (GK-Koordinaten) ist ein kartesisches Koordinatensystem. Die GK-Koordinaten werden als Rechts- bzw. Hochwert bezeichnet. Das Prinzip der GK-Koordinaten besteht darin, jeweils einen Streifen beiderseits eines Meridians in rechtwinkligen Koordinaten abzubilden. Dafür verwendet die Gauß-Krüger-Abbildung einen querachsigen Zylinder, der den Erdkörper entlang eines Meridians berührt (siehe Abbildung 7). Dieser Meridian, der Mittelmeridian eines sog. Meridianstreifens, wird längentreu abgebildet. Je weiter man sich davon entfernt, desto mehr lässt die Längentreue nach. Die Ablesung der Koordinaten erfolgt stets parallel zu den Koordinatenlinien.

Um die Verzerrungen stets so klein wie möglich zu halten, wandert der Berührungsmeridian des Zylinders (Mittelmeridian des Meridianstreifens) je nach Darstellungsgebiet. Die dafür verwendeten Meridiane sind festgelegt. Meist beträgt der Abstand zwischen den Mittelmeridianen  $3^\circ$ , seltener  $6^\circ$ . Die amtlichen Topographischen Karten (TK) in Deutschland verwenden das Gauß-Krüger-System mit  $3^\circ$  breiten Meridianstreifen im System DHDN (Deutsches Hauptdreiecksnetz), welches man auch unter den Bezeichnungen Rauenberg-Datum und Potsdam-Datum findet.<sup>1</sup> Im Durchschnitt beträgt die Entfernung zweier Mittelmeridiane im Gauß-Krüger- $3^\circ$ -Meridianstreifensystem (GK3) in Deutschland 200 km.

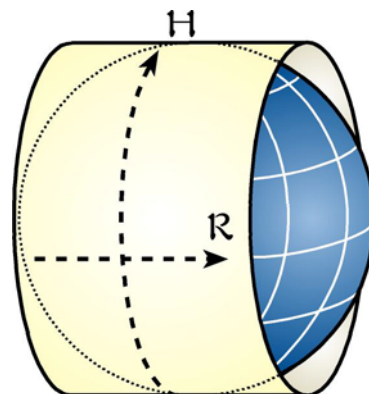


Abbildung 7: Abbildungsprinzip der Gauß-Krüger-Koordinaten

<sup>1</sup> Eine gute Übersicht über nationale und europaweite Koordinatenreferenzsysteme gibt folgende Seite:  
<http://www.crs-geo.eu/>

Bei der Gauß-Krüger-Abbildung nimmt die Verzerrung mit wachsender Entfernung vom Mittelmeridian, d.h. vom Berührungsmeridian zu. Alle Bereiche des Abbildungsgebietes werden mehr oder weniger stark gedehnt (siehe Abbildung 8). Bei einer Entfernung von 100 km vom Mittelmeridian beträgt die Abweichung 3,1 cm auf einer Strecke von 1 km. Bei einer Entfernung von 200 km sind es bereits 12,3 cm auf 1 km. Am Streifenrand tritt die Maximalverzerrung auf. Sie beträgt dort etwa 13 cm je km (vgl. STREMELE 1996).

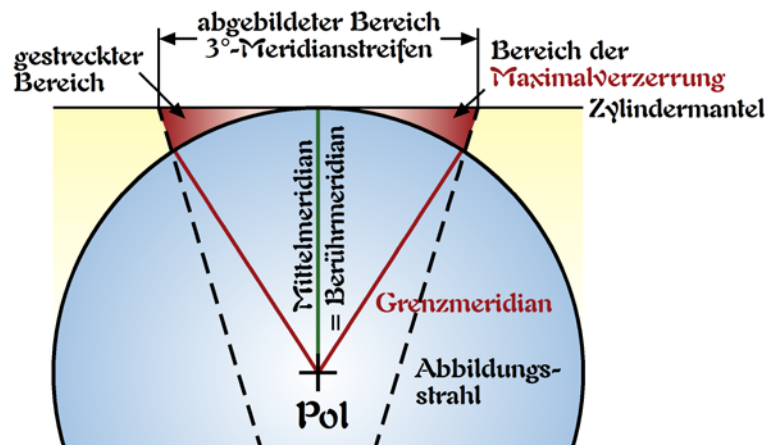


Abbildung 8: Verzerrungsbereiche der Gauß-Krüger-Abbildung

Die Rechtswerte der GK-Koordinaten bestehen aus der Streifenkennziffer und der Entfernung zum entsprechenden Mittelmeridian. Da diese in der TK in km angegeben wird, kommen zur Streifenkennziffer drei weitere Stellen hinzu. Die Streifenkennziffern des 3°-Meridianstreifensystems (GK3) zeigt Tabelle 1:

Tabelle 1: Streifenkennziffern der Gauß-Krüger-Koordinaten

Mittelmeridian (östl. Länge von Greenwich)	3°	6°	9°	12°	15°
Streifenkennziffer	1	2	3	4	5

Eine einfache Regel zum Merken der Streifenkennziffer im GK3-System ist:

$$\text{Streifenkennziffer} = (\text{Gradzahl des Mittelmeridians}) / 3$$

Umgekehrt gilt:

$$\text{Gradzahl des Mittelmeridians} = 3 \times \text{Streifenkennziffer}$$

Um negative Werte für Punkte westlich des Mittelmeridians zu vermeiden, wird der Mittelmeridian mit dem Wert 500 km versehen. Ist die dreistellige Entfernungsangabe im Rechtswert der Gauß-Krüger-Koordinaten kleiner als 500, so wird der Betrag von 500 abgezogen, um die Entfernung des Punktes vom Mittelmeridian zu bestimmen. Ist hingegen der dreistellige Code größer als 500, werden 500 km von der Entfernungsangabe abgezogen. Das bedeutet:

$$\text{Rechtswert} = \text{Streifenkennziffer A} + \text{Entfernungsangabe B (3 Stellen)}$$

A: s. Tabelle 1

B: wenn  $B < 500 \Rightarrow 500 - B = \text{Entfernung in km} \Rightarrow \text{Punkt westlich des Mittelmeridians}$

wenn  $B > 500 \Rightarrow B - 500 = \text{Entfernung in km} \Rightarrow \text{Punkt östlich des Mittelmeridians}$

Umgekehrt gilt für die Bestimmung der GK-Koordinaten eines Punktes, dessen Entfernung  $y$  (in km) und Lage zum Mittelmeridian bekannt ist:

B: wenn Punkt westlich des Mittelmeridians  $\Rightarrow B = 500 - y$

wenn Punkt östlich des Mittelmeridians  $\Rightarrow B = 500 + y$

Der Hochwert gibt die Entfernung zum Äquator in km an (bei vierstelliger Koordinate). Da GK-Koordinaten im Allgemeinen nur auf der Nordhalbkugel bzw. in Europa genutzt werden, entfällt eine Kennzeichnung von Nord- und Südhalbkugel.

Die Ablesung der GK-Koordinaten im Sub-km-Bereich in der TK erfolgt entweder durch Schätzung (der Koordinaten) oder durch Messung der verbleibenden Reststrecke zur nächstgelegenen Koordinatenangabe.

**Beachte:** Dabei ist zu beachten, dass die gemessene Kartenstrecke mit Hilfe des Maßstabs in Naturmaße umgerechnet werden muss.

Die so bestimmte Reststrecke wird anschließend zu der aus der als Anhaltspunkt genutzten nächstgelegenen Koordinatenangabe extrahierten Strecke addiert oder von ihr subtrahiert (je nach Lage des Punktes zur Koordinatenmarkierung in der Karte).

Zur Veranschaulichung sollen verschiedene Beispiele zur Bestimmung von GK-Koordinaten und Geographischen Koordinaten anhand von Zahlenwerten und in der amtlichen Topographischen Karte vorgestellt werden.

#### *Koordinatenbestimmung anhand von Zahlenwerten*

Der Punkt P besitzt die Gauß-Krüger-Koordinaten  $R = ^{45}35450\text{m}$ ,  $H = ^{54}48600\text{m}$ . Gesucht ist der Abstand zum Mittelmeridian und zum Äquator.

Zunächst wird der entsprechende Mittelmeridian bestimmt:  $3 * 4 = 12^\circ$

Die Entfernungsangabe ist größer als 500 000m. P liegt folglich östlich des Mittelmeridians. Die Entfernung zum Mittelmeridian wird berechnet:

$$535450 \text{ m} - 500000 \text{ m} = 35450 \text{ m}$$

**P liegt 35,45 km östlich des  $12^\circ$  Meridians.**

Der Hochwert gibt die Entfernung zum Äquator an: 5 448 600 m.

**P ist 5448,6 km vom Äquator entfernt.**

Von einem Punkt Q ist bekannt, dass er 59 km westlich des  $9^\circ$ -Meridians liegt. Sein Abstand vom Äquator beträgt 5702 km. Gesucht sind die GK-Koordinaten

Die benötigte Streifenkennziffer ist  $A = 9^\circ / 3 = 3$ .

Mit der gegebenen Entfernung  $y = 59 \text{ km}$  und der Angabe, dass Q westlich des Mittelmeridians liegt, kann die dreistellige Entfernungsangabe B bestimmt werden.



$$B = 500 \text{ km} - 59 \text{ km} = 441$$

Die gesuchten GK-Koordinaten sind: **R** <sup>34</sup>**41**, **H** <sup>57</sup>**02**.

*Koordinatenbestimmung in einer Karte (fiktives Blatt der TK25, siehe Abbildung 9)*

Oft sind überwiegend zweistellige und wenige vierstellige Koordinatenangaben am Kartenrand der TK 10 und TK 25 zu finden. Die vierstelligen Angaben sind vollständige km-Angaben der GK-Koordinaten, wobei die ersten beiden Stellen hochgestellt sind. Innerhalb eines Kartenblattes ändern sich diese ersten beiden Stellen (Streifenkennziffer + 100er-km-Angabe) nur selten. Es ist daher nicht notwendig alle Stellen an jeder Koordinatenmarkierung anzugeben. Ändert sich eine der vorderen Stellen, so wird das an der Beschriftung mittels 4 Stellen sichtbar. Diese Form der Beschriftung findet sich auch bei UTM-Koordinaten, wobei teilweise anstelle der Zonennummern des Easting-Wertes auch die Buchstabenkombination des Merdegitters verwendet wird.

An den Ecken der TK sind die geographischen Koordinaten angegeben. In der nordöstlichen Ecke finden sich die Werte 11°30' öL und 50°42' nB. In der südwestlichen Ecke stehen die Werte 11°20' öL und 50°36' nB. Das Kartenblatt befindet sich im 4. Meridianstreifen (erkennbar an der Streifenkennziffer 4 in den Rechtswerten). Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass die Koordinatenlinien der GK-Koordinaten jeweils parallel zum Kartenrand verlaufen. Das ist nicht immer der Fall!

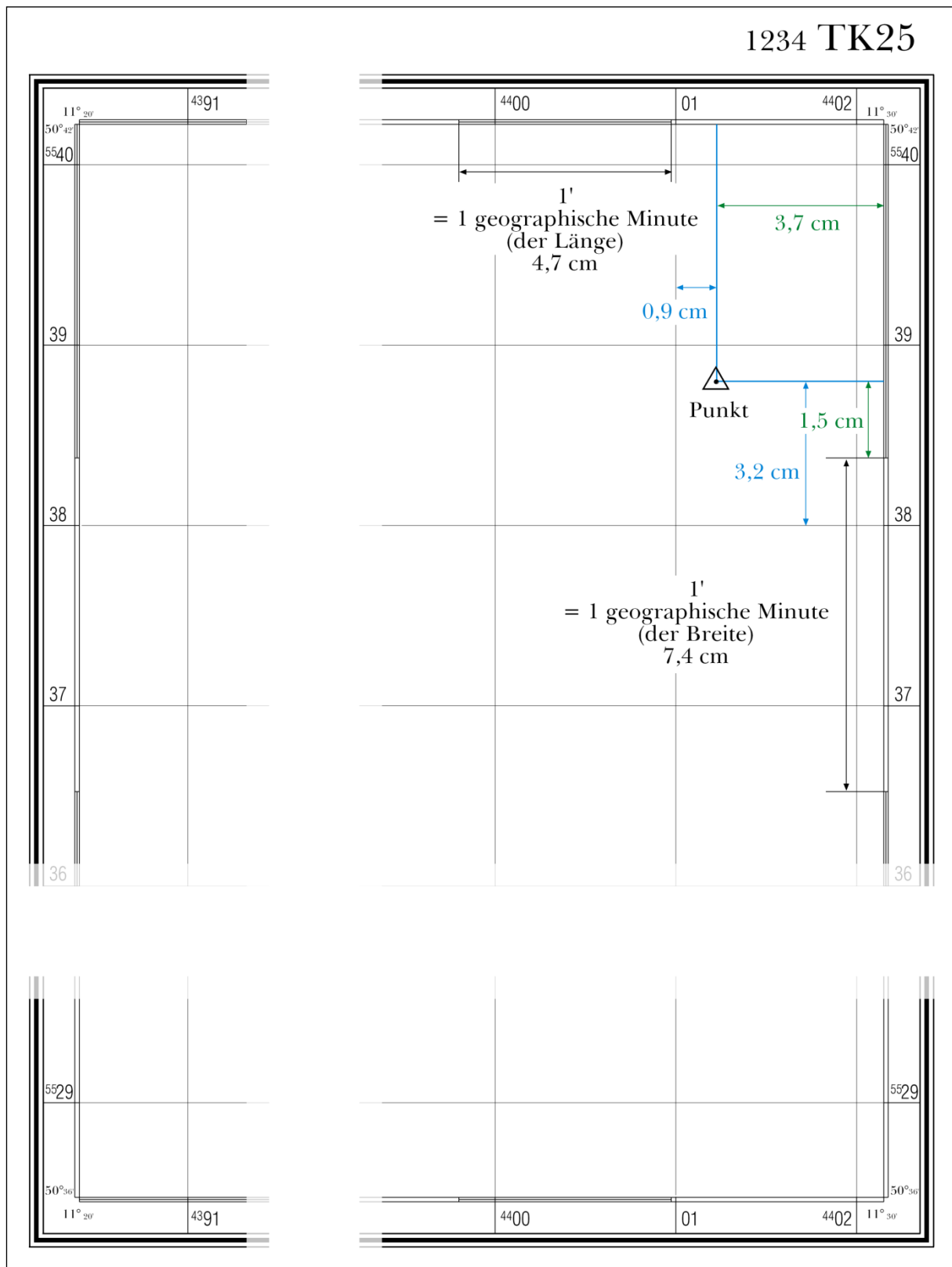


Abbildung 9: Koordinatenbestimmung in einer TK

Als Bezugskordinaten für die Koordinatenbestimmung des Punktes wurden die geographischen Koordinaten  $11^{\circ}30'$  öL (östlich vom Punkt) und  $50^{\circ}41'$  nB (südlich vom Punkt) verwendet. Bei den GK-

Koordinaten wurden die Koordinatenlinien 01 (eigentlich 4401) und 38 (eigentlich 5538) verwendet. Die gemessenen Abstände sind in der Abbildung eingetragen. Für die Koordinatenbestimmung werden nun die gemessenen Strecken ins Verhältnis gesetzt zu den bekannten Strecken.

### Geographische Koordinaten:

Eine geographische Minute der Länge ist in der Karte 4,7cm lang. Die gemessene Strecke beträgt 3,7cm. Gesucht ist die Reststrecke x:

$$x = \frac{1'}{4,7cm} \cdot 3,7cm = 0,7872' = 47''$$

Die gemessene Strecke entspricht 47'' (geographische Sekunden) der Länge. Bei der Umrechnung von Minuten in Sekunden ist der Umrechnungsfaktor zu beachten. 1'=60''!

Für die Berechnung der geographischen Breite gilt entsprechend:

$$y = \frac{1'}{7,4cm} \cdot 1,5cm = 0,2027' = 12''$$

Die so berechneten Reststrecken werden von den Bezugskordinaten abgezogen bzw. dazu addiert (je nach Lage).

$$11^{\circ}30' - x = 11^{\circ}30' - 47'' = 11^{\circ}29'13'' \quad 50^{\circ}41' + y = 50^{\circ}41' + 12'' = 50^{\circ}41'12''$$

Die gesuchten geographischen Koordinaten sind: 11°29'13'' öL und 50°41'12'' nB.

### GK-Koordinaten:

Für die Bestimmung der GK-Koordinaten werden die gemessenen Reststrecken umgerechnet in die Naturmaße.

$$x = 0,9cm \cdot 25000 = 22500cm = 225m \quad y = 3,2cm \cdot 25000 = 80000cm = 800m$$

Die gesuchten GK-Koordinaten sind: R 4401225m und H 5538800m.

Das Portable Document Format (PDF) wurde von Adobe System entwickelt, um es zu ermöglichen, Dokumente zwischen verschiedenen Plattformen transportieren zu können, so dass diese ihre originalgetreue Formatierung beibehalten. Typische Konvertierungs-Fallstricke werden dabei umgangen, in dem nicht implizit Strukturen wie „Überschrift“ oder „Absatz hier“ vorgegeben werden, sondern Positionen von Texten und Bildern explizit in einem Vektorformat festgeschrieben werden. Sogar verwendete Schriftarten können direkt in den .pdf-Dateien mitgeliefert werden. Das Anhängen weiterer Daten wie z.B. von Inhaltsverzeichnisse und Kommentaren ist auch möglich.

Dadurch das PDF als Austauschformat für fertiggestellte Dokumente entwickelt wurde, ist es nur schwer möglich diese zu verändern. Einige Programme erlauben zwar kleinere Veränderungen wie das Ausbessern von Tippfehlern, jedoch sollte das Arbeiten an PDF-Dateien immer über die Ursprungsdatei und erneutes Exportieren ins PDF Format erfolgen.

### UTM-Koordinaten

Die UTM-Abbildung gehört, ebenso wie die Gauß-Krüger-Abbildung, zu den geodätischen Abbildungen, d.h. das abgebildete Gebiet ist verhältnismäßig klein um die Verzerrungen gering zu

halten. Durch systematisches Verschieben des Abbildungsgebietes kann die ganze Erde mit Ausnahme der Polgebiete in UTM-Koordinaten abgebildet werden.

Die UTM-Abbildung verwendet als Abbildungskörper einen transversalen (=querachsigen) Schnittzylinder (siehe Abbildung 10). Im Gegensatz zur Gauß-Krüger-Abbildung, die mit einem Berührungszylinder arbeitet, kann mit der UTM-Abbildung ein größeres Gebiet in einem Koordinatensystem (einem Meridianstreifen) abgebildet werden, ohne die zulässigen Verzerrungen zu überschreiten.

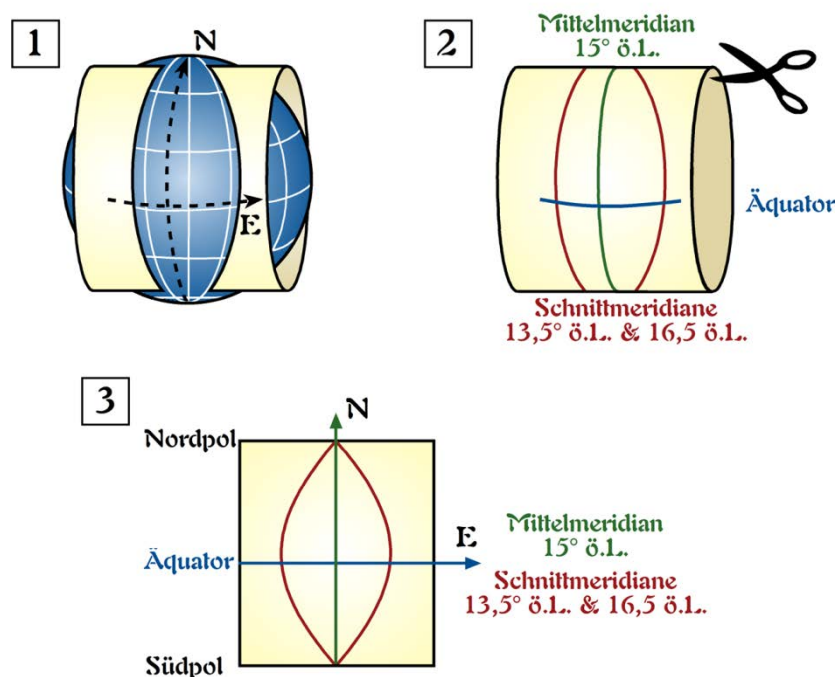


Abbildung 10: Abbildungsprinzip der UTM-Abbildung

Sowohl die Gauß-Krüger-Abbildung als auch die UTM-Abbildung sind winkeltreu (= konform), d.h. dass Winkel (und damit auch Formen) nicht verzerrt werden. Diese Eigenschaft ist für Navigationskarten sehr wichtig, da in Karten mit konformer Abbildung Kurslinien (konstanter Winkel => Loxodrome) als Geraden eingetragen werden können. Die beiden Abbildungen zugrundeliegende Projektion ist nach ihrem Entwickler Gerhardus Mercator benannt, die Mercator-Projektion (UTM = Universal Transverse Mercator).

Mercator verwendete für seine Karten einen polständigen Zylinder, was dazu führt, dass die Pole nicht abgebildet werden können und polnahe Gebiete sehr stark verzerrt werden. Besonders deutlich wird dies beim Vergleich zwischen Grönland und Afrika. In einer Karte mit Mercator-Projektion erscheinen Grönland und Afrika nahezu gleich groß. Tatsächlich besitzt Grönland jedoch nur etwa ein 14.tel der Fläche Afrikas. Die Mercator-Projektion ist folglich nicht flächentreu (siehe Abbildung 11).

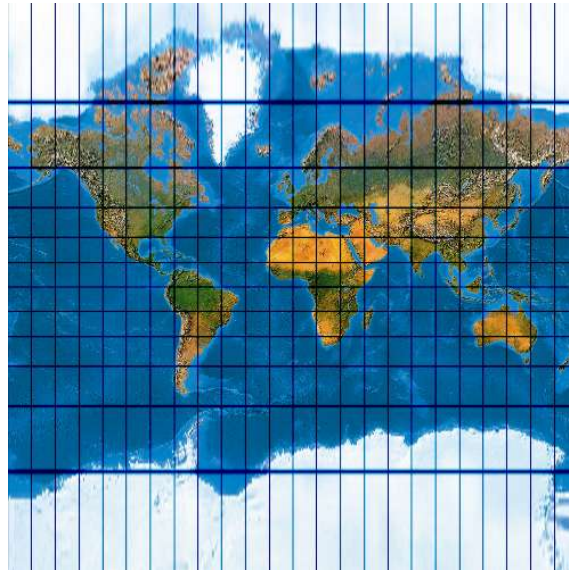


Abbildung 11: Weltkarte in MERCATOR-Projektion

(Quelle: [www.boehmwanderkarten.de/kartographie/is\\_netze\\_cyl.html](http://www.boehmwanderkarten.de/kartographie/is_netze_cyl.html))

Die UTM-Abbildung und die Gauß-Krüger-Abbildung nutzen den Vorteil, dass bei der Mercator-Projektion Gebiete entlang des Berührungsmeridians (bzw. der Schnittmeridiane) nahezu verzerrungsfrei abgebildet werden. Bei Mercator betraf das Gebiete entlang des Äquators. Um diesen Vorteil auch für weiter nördlich bzw. weiter südlich gelegene Gebiete nutzen zu können wird der polständige Zylinder von Mercator in einen transversalen Zylinder umgewandelt. Dieser Zylinder berührt (Gauß-Krüger) bzw. schneidet (UTM) die Erdgestalt nun entlang eines bzw. zweier Meridians/e. Die günstigen Verzerrungseigenschaften bestehen so für Gebiete entlang dieses Meridians. Die geographische Breite spielt dabei keine Rolle mehr. Der Berührungsmeridian bzw. die Schnittmeridiane wird bzw. werden bei der Abwicklung des Zylinders in die Ebene längentreu abgebildet.

Mit zunehmender Entfernung vom Berührungsmeridian bzw. von den Schnittmeridianen nimmt die Verzerrung jedoch ebenso zu, wie bei der Mercator-Projektion mit wachsender Entfernung vom Äquator. Daher ist die Gültigkeit der Abbildung auf einen Streifen entlang des Berührungsmeridians bzw. der Schnittmeridiane beschränkt (den Meridianstreifen). Für geodätische Anwendungen (Zwecke der Landes- und Katastervermessung) sind auch innerhalb des Meridianstreifens entsprechende Korrekturen anzubringen (Strecken- und Flächeninhaltskorrekturen).

Um alle Gebiete der Erde mittels der UTM-Abbildung darstellen zu können „wandert“ der Zylinder schrittweise um die Erde. Die Mittelmeridiane der abgebildeten Meridianstreifen sind festgelegt. Bei der UTM-Abbildung wird jeder sechste Meridian (ausgehend von 177° westlicher Länge) als Mittelmeridian genutzt. Die Schnittmeridiane sind jeweils 1,5° vom Mittelmeridian entfernt.

Das UTM-Koordinatensystem ist ein ebenes rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen Ordinate (Easting = Ostwert, Abstand vom Mittelmeridian) entlang des Äquators und dessen Abszisse (Northing = Nordwert, Abstand vom Äquator) senkrecht dazu entlang des Mittelmeridians verläuft. Der Abbildungsbereich des UTM-Koordinatensystems ist auf 84° nördlicher Breite bis 80° südlicher Breite begrenzt. Die unterschiedliche Ausdehnung in Nord-Süd-Richtung beruht auf der unterschiedlichen Lage „wichtiger“ Landflächen. So reichen Grönland, Kanada und Russland über 80° nördlicher Breite hinaus, während südlich von 80° südlicher Breite lediglich die Antarktis liegt. Ein



weiteres Problem der hohen Breiten macht eine Beschränkung des Abbildungsbereiches notwendig – die Meridiankonvergenz. So geht in Polnähe der Abbildungsbereich (die Ausdehnung des Meridianstreifens) gegen Null. Da sich die Angabe des Northing-Wertes (wie die des Hochwertes bei der Gauß-Krüger-Abbildung) auf die Messung entlang des Mittelmeridians versehen mit dem Maßstabsfaktor 0,9996 bezieht, wird die Krümmung der Meridiane bei den Koordinaten nicht berücksichtigt. Die Koordinatenachse der Northing-Werte ist senkrecht zur Koordinatenachse der Easting-Werte, die entlang des Äquators verläuft (siehe Abbildung 12). Dadurch werden die Abweichungen in Polnähe sehr groß. Die Krümmung der Meridiane, d.h. der Winkel zwischen Meridian und Gitternord, ist an den Polen am größten. Die Polgebiete werden durch günstigere Abbildungen, wie z.B. die UPS-Abbildung (Universal Polar Stereographic) dargestellt.

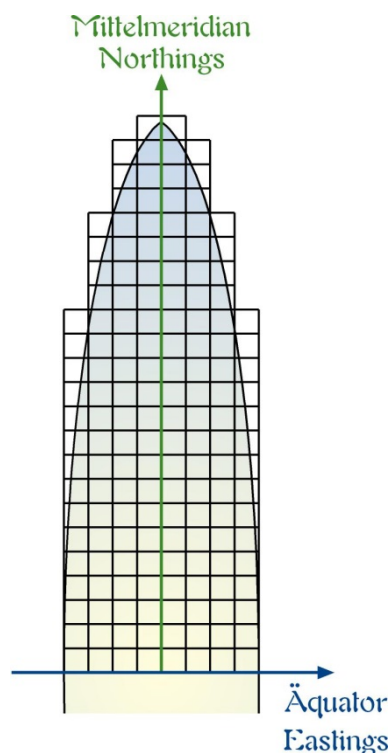


Abbildung 12: Meridiankonvergenz und Koordinatennetz

Die Meridianstreifen der UTM-Abbildung sind  $6^\circ$  breit. Benachbarte Streifen überlappen sich um jeweils  $0,5^\circ$ , sodass die einzelnen Streifen tatsächlich  $7^\circ$  breit sind. Die Mittelmeridiane der Meridianstreifen sind festgelegt. Im mitteleuropäischen Raum sind es die Meridiane bei  $3^\circ$ ,  $9^\circ$  und  $15^\circ$  ö.L.

Der Bereich zwischen den Schnittmeridianen wird bedingt durch den Maßstabsfaktor des Mittelmeridians (0,9996) gestaucht. So treten bei der UTM-Abbildung die größten Verzerrungen am Mittelmeridian auf. Dort sind es etwa 40 cm bei einer 1 km langen Strecke. Der Maßstabsfaktor für die gestauchten Bereiche liegt zwischen 0,9996 und 1. Die Bereiche zwischen dem jeweiligen Grenzmeridian und dem Schnittmeridian werden in der UTM-Abbildung gedehnt. Der Maßstabsfaktor für diese Gebiete ist größer als 1. Die Schnittmeridiane werden längentreu abgebildet (siehe Abbildung 13).

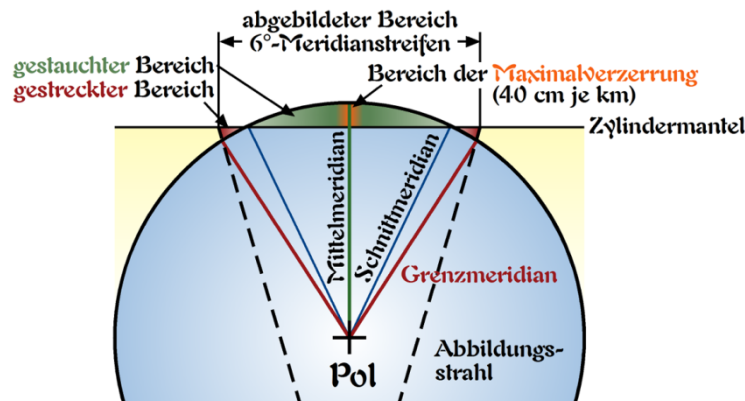


Abbildung 13: Verzerrungsbereiche der UTM-Abbildung

Die UTM-Koordinaten werden ähnlich den Gauß-Krüger-Koordinaten mit Easting (entspricht dem Rechtswert) und Northing (entspricht dem Hochwert) bezeichnet. Jedoch können Gauß-Krüger-Koordinaten und UTM-Koordinaten niemals gleichgesetzt werden. Die UTM-Koordinaten entsprechen einer Gauß-Krüger-Abbildung mit 6°-Meridianstreifen unter der Verwendung des Maßstabsfaktors 0,9996. Ebenso wie im Gauß-Krüger-Koordinatensystem erhält der Mittelmeridian auch im UTM-Koordinatensystem den Easting-Wert 500 000 m.

In topographischen Karten erfolgte die Umstellung von Gauß-Krüger- auf UTM-Koordinaten. Beide Koordinatensysteme sind anhand der angegebenen Rechts- bzw. Easting-Werte eindeutig zu unterscheiden. Während die Rechtswerte der Gauß-Krüger-Koordinaten am Kartenrand mit vier Stellen angegeben werden (Streifenkennziffer + Entfernungsangabe, km-Genauigkeit) sind es beim Easting-Wert lediglich drei Stellen (km-Genauigkeit). Der entsprechende Meridianstreifen wird im UTM-Koordinatensystem über die Zonennummer angegeben. Eine Unterscheidung anhand der Hoch- bzw. Northing-Werte ist in der Regel nicht möglich, da sich beide Werte stark ähneln.

Eine typische Angabe von UTM-Koordinaten in topographischen Karten ist:

E <sup>34</sup>57000m      N <sup>54</sup>89000m

Dabei wird die Zonennummer am Kartenrand angegeben. Die Zonennummer des Meridianstreifens mit dem Mittelmeridian 15° ist 33.

Zum Teil werden die Easting-Werte auch mit einer Streifenkennziffer versehen. Diese ist identisch mit den Streifenkennziffern des Gauß-Krüger-Systems mit 6°-Meridianstreifen, d.h. der Streifen mit dem Mittelmeridian 15° erhält die Streifenkennziffer 3. Der Easting-Wert der oben genannten Koordinate könnte demnach auch folgendermaßen angegeben werden: E 3357000 (in m) Die Angabe der Zonennummer entfällt dadurch.

## Literatur

Bill, R. (2016): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. 6. Auflage. Wichmann Verlag. Offenbach-Berlin. 867 Seiten. Kapitel 3.

Flacke, W., Kraus, B. (2003): Koordinatensysteme in ArcGIS. Points Verlag Norden, Halmstad.

Schröder, E. (1988): Kartenentwürfe der Erde. BSB B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig.

Strehmel, R. (1996): Amtliches Bezugssystem der Lage: ETRS89, in: Vermessung Brandenburg, Nr. 1,

([http://geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/verm\\_bb/pdf/196s51.pdf](http://geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/verm_bb/pdf/196s51.pdf))

[www.crs-geo.eu](http://www.crs-geo.eu): Informationen zu Koordinatenreferenzsystemen

[http://www.boehmwanderkarten.de/kartographie/is\\_netze\\_cyl.html](http://www.boehmwanderkarten.de/kartographie/is_netze_cyl.html): umfangreicher Überblick über Kartennetzentwürfe und Projektionen

<http://www.kowoma.de/gps/geo/Projektionen.htm>: Informationen zu Koordinatensystemen, Projektionen und Kartennetzentwürfen