

Einleitung

Um das GPS Gerät richtig zu verstehen, sollte man Grundbegriffe wie z. B. GPS, Koordinatensystem, Kartendatum, usw. kennen. Dies ist jedoch keine hochwissenschaftliche Abhandlung sondern ein Versuch, etwas klarer darzustellen, denn es werden Begriffe durcheinander geschmissen. Da wird z. B. von einem WGS84 Koordinatensystem geredet, aber WGS84 ist **kein** Koordinatensystem sondern ein Kartenbezugssystem. Auch im Internet gibt es viele Informationen, die aber meiner Meinung teilweise recht kompliziert aussehen. Selbst bei Wikipedia muss man den einen oder anderen Artikel mehrmals lesen, um alles zu verstehen.

Bekanntlich kann man mit einem GPS-Gerät Koordinaten aufzeichnen. Dabei spielt es erst einmal keine Rolle, ob man Wegepunkte oder GPS-Tracks aufzeichnet, denn GPS-Tracks sind nichts anderes als Wegepunkte, die in regelmäßigen Abständen - z. B. zeitlich (alle 10 Sekunden) oder Entfernung (z. B. alle 10 Meter) - aufgezeichnet werden und mit einer gerade Linie verbunden miteinander sind.

Man kann aber auch Wegepunkte in das GPS Gerät laden und im Gelände mit Hilfe des GPS-Gerätes darauf zusteuern. Damit man da keine Überraschungen erlebt und den Wegepunkt nicht findet, muss man wissen, welche Einstellungen man am GPS Gerät vornehmen muss. Ist z. B. das Kartendatum falsch eingestellt, dann kann es insbesondere bei Karten mit hochauflösendem Maßstab zu größeren Fehlern kommen und man findet den Punkt nicht. Die Abweichungen können je nach Einstellung einige 100 Meter betragen.

1.) GPS, was ist das.

Die offizielle Bezeichnung lautet „Navigational Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System“ (NAVSTAR GPS). Global Positioning System (GPS) ist ein globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung. Es wurde offiziell am 17. Juli 1995 in Betrieb genommen. Es wurde seit den 1970er-Jahren vom US-Verteidigungsministerium entwickelt - natürlich für das Militär. Es wird aber mittlerweile auch für den zivilen Bereich genutzt wie wir alle wissen. Die anfängliche zivile Variante hatte noch einen künstlichen eingebauten Fehler, der metergenaue Positionsbestimmungen nicht zuließ. Diesen künstlich produzierten Fehler hat man 2000 entfernt und somit können wir heute einen Punkt auf der Erde sehr genau bestimmen. Mittlerweile wollen auch andere Nationen ein eigenes Satellitennavigationssystem einrichten. In Europa wird z. B. das System Galileo entwickelt und im Augenblick ist man in der Phase Satelliten ins All zu schießen. Erste Dienste mit 18 Satelliten sollen voraussichtlich ab 2014 angeboten werden, während die vollständige Konstellation mit 30 Satelliten mit allen Diensten nicht vor 2020 betriebsbereit sein wird. Also kann man sich noch ohne Bedenken ein Gerät für das GPS-System, das für Galileo nicht genutzt werden kann, kaufen.

Aufbau und Funktionsweise

GPS basiert auf Satelliten, die kontinuierlich Informationen ausstrahlen, die u. a. die aktuelle Position des Satelliten (Bahndaten) und die genaue Uhrzeit enthalten.

Zur Positionsbestimmung muss ein GPS-Empfänger die Signale von mindestens vier Satelliten gleichzeitig empfangen. Eigentlich reichen dazu auch die Signale von drei Satelliten aus, da daraus die genaue Position und Höhe bestimmt werden kann. Aber die GPS-Empfänger haben keine Uhr, die genau genug ist, um die Laufzeiten der Signale korrekt messen zu können. Deshalb wird das Signal eines vierten Satelliten benötigt, mit dem dann auch die genaue Zeit im Empfänger bestimmt werden kann.

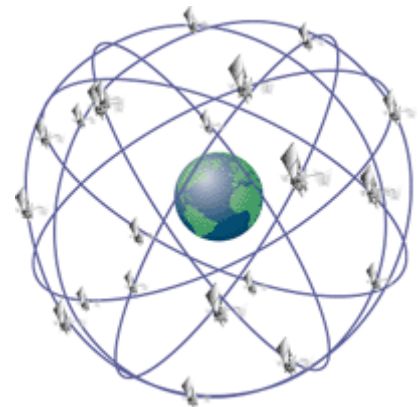
Im GPS-Empfänger werden die vier Signallaufzeiten (Zeit, die das Signal von den Satelliten zur Empfangsantenne braucht) errechnet. Daraus werden dann die aktuelle Position (inklusive der Höhe) und die genaue Empfängeruhrzeit ermittelt. Die Laufzeiten von drei Satellitensignalen zu einem Empfänger beschreiben drei Kugeloberflächen um den Satelliten. Diese Kugeloberflächen schneiden sich in einem Punkt auf der Erdoberfläche und dort ist die Position des GPS-Empfängers.

Damit man aber genaue Ortsbestimmungen im Meterbereich erzielen kann, müssen einige relativistische Effekte, die Albert Einstein in seiner Relativitätstheorie beschrieben hat, berücksichtigt werden. Keine Angst, es kommt keine Abhandlung über die einsteinsche Relativitätstheorie. Ich möchte nur darauf hinweisen, dass es vom Grundprinzip zwar relativ einfach ist, die genaue Position zu berechnen, aber in der Praxis doch recht kompliziert für uns „Normalanwender“.

Bei der Höhenbestimmung mittels GPS gibt es keine Beeinflussung der angezeigten Höhe durch Luftdruckschwankungen wie beim barometrischen Höhenmesser, der ja quasi den Luftdruck misst! Allerdings gibt es bei der Benutzung bei GPS andere Fehlerquellen. Auf die werde ich nicht eingehen, denn dann könnte man auch ein Buch schreiben.

Mit den GPS-Signalen lässt sich aber nicht nur die Position, sondern auch die Geschwindigkeit des Empfängers bestimmen. Die Bewegungsrichtung des Empfängers kann ebenfalls ermittelt werden und somit kann das GPS-Gerät als künstlicher Kompass dienen.

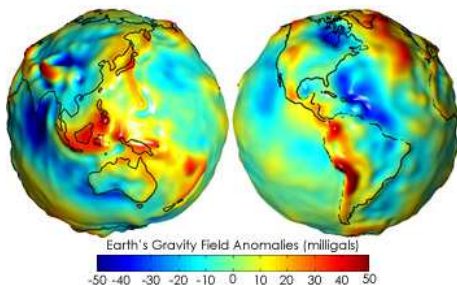
Damit ein GPS-Empfänger immer zu mindestens vier Satelliten Kontakt hat, werden beim GPS-System insgesamt mindestens 24 Satelliten eingesetzt, die die Erde zweimal pro Tag in einer Bahnhöhe von ca. 20.200 km umkreisen. Die Bahnhöhe ist so gewählt, dass die Satelliten einen halben Sterntag (11 Stunden und 58 Minuten) für eine Umkreisung benötigen. Auf jeder der 6 Umlaufbahnen kreisen 4 Satelliten. Dadurch ist es möglich, dass man von jedem Punkt auf der Erde bis zu 12 Satelliten empfangen kann. Die meisten GPS Empfänger verarbeiten daher parallel die Signale von bis zu 12 Satelliten, also gleichzeitig! Und das trägt dazu bei, dass die Angaben genauer sind.



2.) Kartendatum (englisch: map datum) oder Kartenbezugssystem

Die Übersetzung Kartendatum ist etwas unglücklich gewählt, besser ist die Bezeichnung Kartenbezugssystem. Das Kartendatum bzw. map datum ist kein Zeitpunkt, auf den sich die Karte bezieht, sondern ein Datensatz, der die Gestalt der Erde beschreibt. Zur Bestimmung eines Ortes auf der Erde ist die Festlegung eines Bezugssystems notwendig, das die Orientierung eines festgelegten Koordinatensystems definiert (X,Y,Z-Achse in Bezug auf ein globales System).

Ideal wäre es, wenn man die Erde als Kugel betrachten könnte. Tatsächlich ist die Erde keine Kugel, sondern sie ist abgeplattet. Das Ergebnis ist eine Verkürzung des Erdradius von 21 km an den Polkappen.



Man könnte die Erde jetzt als Ellipsenform betrachten, aber es gibt weitere Abweichungen. Die Verteilung der Erdmassen ist räumlich ungleichförmig und damit auch das für Gestalt der Erde zuständige Schwerfeld. Die Darstellung der schwerkraftbedingten Abweichungen verleiht der Erde ein kartoffelartiges Aussehen und ist als „Potsdamer Kartoffel“ bekannt geworden.

Wissenschaftlich wird die Erde als „Geoid“ bezeichnet. Die mathematische Beschreibung eines Geoids ist aber recht kompliziert und deshalb wird die Erde als Ellipsoid bzw. Rotations-Ellipsoid (leichter mathematisch beschreibbar) dargestellt.

Die mathematische genaue Beschreibung passt eigentlich nur für einen kleinen Bereich des Ellipsoids. Das ist auch der Grund, dass es heute viele verschiedene Referenzellipsoide und damit auch Kartenbezugssysteme gibt. (Referenzellipsoid-Beispiele: Bessel 1841, Fischer 1968, NORTH AMERICAN

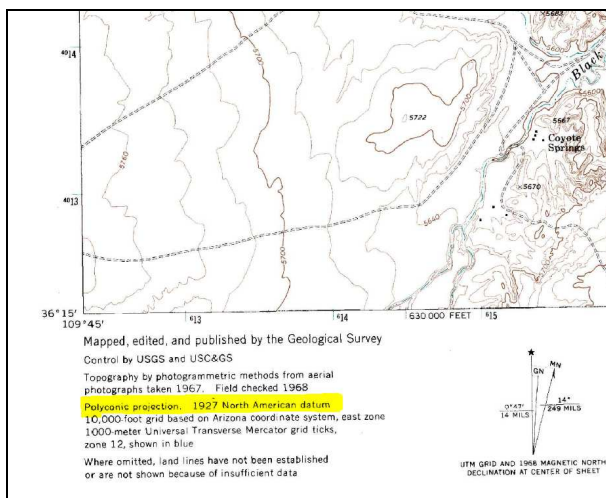
1927 (NAD 27), NORTH AMERICAN 1983 (NAD83), World Geodetic System 60 (WGS 60), World Geodetic System 72 (WGS 72), World Geodetic System 84 (WGS 84))

Das GPS-System basiert auf dem Kartendatum WGS 84 (World Geodetic System 1984), das heute Weltstandard ist. GPS-Empfänger können die angezeigten Werte jedoch auf verschiedene, wählbare Kartendaten umrechnen.

Meist ist ein bestimmtes Koordinatensystem immer nur mit einem speziellen Kartendatum in Gebrauch. So wird z.B. das System der Schweizer Landeskoordinaten ausschließlich mit dem Kartendatum CH-1903. In der Exceltabelle sind einige Länder mit den dazugehörigen Kartenbezugssystemen aufgelistet.

An GPS-Geräten lässt sich jede beliebige Kombination von Koordinatensystem und Kartendatum einstellen. Stellt man also versehentlich seinen GPS-Empfänger auf Schweizer Landeskoordinaten (Swiss Grid) in Kombination mit dem Kartendatum WGS 84, so ergeben sich Abweichungen der Koordinaten-Zahlenwerte gegenüber der gedruckten Papierfassung der Schweizer Landeskarten von ca. 100 m. Dies könnte fatale Folgen haben!

Die meisten USGS Maps in den USA haben als Kartenbezugssystem NAD 27, spätere USGS Maps NAD 83.



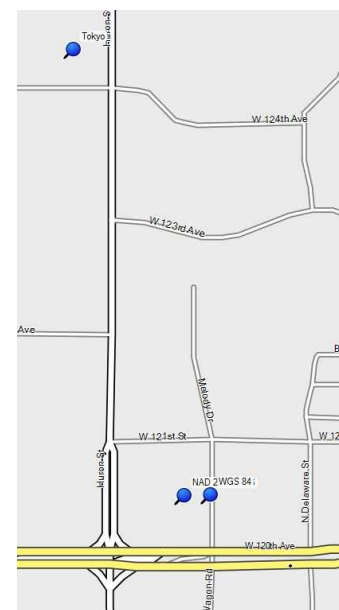
Es ist also wichtig wenn man Koordinaten von USGS Maps in sein GPS Gerät überträgt, dass man das richtige Kartenbezugssystem bzw. Kartendatum (NAD27) ausgewählt hat.

Auf vielen gedruckten Karten fehlt das Kartendatum, erst die neueren Auflagen berücksichtigen die Bedürfnisse der GPS-Anwender. Wer also Koordinaten von gedruckten Karten ohne Angabe des Kartendatums auf das GPS-Gerät übertragen will, der sollte beim Verlag nach dem Kartendatum nachfragen.

Beispiel für falsche Auswahl des Kartenbezugssystems (Bild):

Koordinatenvorgabe: N39 54 54.0 W104 59 40.9 (WGS 84)

Die Wegepunkt bei Auswahl WGS 84 ist korrekt. Wenn man bei NAD 27 Conus die Koordinaten eingibt, dann beträgt die Abweichung ca. 160 Feet, bei dem Kartenbezugssystem Tokyo beträgt die Abweichung schon ca. 0,6 Meilen.



Wichtig: Bitte achtet beim Ablesen von Koordinaten aus einer Papierkarte darauf, das entsprechende, auf der Karte angegebene Kartenbezugssystem im GPS-Empfänger einzustellen, um Fehler bei der Positionsbestimmung zu vermeiden. Abweichungen können im Extremfall mehrere hundert Meter betragen. Dieser Umstand könnte abhängig vom jeweiligen Gelände (z.B. Gebirge) fatale Folgen haben.

3.) Koordinaten und Koordinatensysteme

Mit **Koordinaten** werden Zahlenwerte bezeichnet, die die Lage eines Punktes in der Ebene oder im Raum beschreiben.

Ein **Koordinatensystem** dient zur eindeutigen Bezeichnung der Position von Punkten und Objekten in einem geometrischen Raum.

Für die fast runde Erde bieten sich Kugelkoordinaten mit Radius, Polarwinkel und Azimutwinkel an. Daraus resultierte das am meisten verwendete Koordinatensystem in Form von Breitengrad, Längengrad und die Höhe.

In der Kartografie nutzt man unterschiedliche Koordinatensysteme:

- geographisches Koordinatensystem
- geodätische Koordinatensysteme

Geographisches Koordinatensystem

Mit geographischen Koordinatensystemen kann man einen Punkt auf der Erdoberfläche mit eindeutigen Zahlenwerten metergenau darstellen. Das bekannteste geographische Koordinatensystem ist ein Koordinatennetz, das aus Längen- und Breitengraden (Longitude und Latitude) besteht. Diese Angaben findet man meist auf Globen, Atlanten und vielen Landkarten.

Dazu hat man sich ein Gradnetz auf der Erdoberfläche ausgedacht, beim dem sich Längen- und Breitenkreisen rechtwinklig schneiden. Die Erde wird dabei in 360 Längengrade und 180 Breitengrade aufgeteilt. Die Breitengrade werden dabei vom Äquator aus gezählt, die Pole liegen bei 90° Nord bzw. Süd, die Längengrade werden vom Nullmeridian (Meridian von Greenwich - Sternwarte in London) nach Osten und Westen jeweils bis 180°gezählt.



Da die Erdoberfläche ein sehr kompliziertes geometrisches Objekt ist, wird wie oben schon beschrieben mit vereinfachenden Modellen gearbeitet. Bei der genauen Ortsbestimmung muss daher beachtet werden, dass geographische Koordinatensysteme unterschiedliche Kartenbezugsysteme haben können und diese sollten daher immer angegeben werden.

Eine Koordinate im geographischen Koordinatensystem besteht aus zwei Parametern, der Longitude und Latitude (Längen- und Breitengrad), zum Beispiel das Visitor Center in Moab (WGS 84):

- Longitude: W 109°33'00.1" (= West 109 Grad 33 Minuten 00.1 Sekunden)
- Latitude: N 38°34'22.4" (= Nord 38 Grad 34 Minuten 22.4 Sekunden)

Bei der Longitude gibt es entweder East oder West (E oder W), d. h. rechts bzw. links von Greenwich und bei der Latitude Nord oder Süd (N oder S), d. h. über- oder unterhalb des Äquators. Die Angaben erfolgen in einem der folgenden Formate:

- Dezimalgrad: hddd.ddddd° (Beispiel: **N38.57289°** , **W109.55003°**)
- Grad und Dezimalminuten: hddd° mm.mmm
(Beispiel: **N38° 34.373' W108° 33.002'**)
- Grad, Minuten, Dezimalsekunden hddd° mm' ss.s"
(Beispiel: **N38° 34' 22.4" W109° 33' 00.1"**)

wobei

„h“ für „hemisphere“ also für Nord (N), Süd (S), Ost bzw. East (E), West (W)

„d“ für degree (Grad)

„m“ für (Grad-) Minuten

„s“ für (Grad-) Sekunden

Steht.

Für die Umrechnung gibt es eine einfache Regel: $1^\circ = 60' = 3600''$

Die Umwandlung an Beispielen:

Von Sekunden in Minuten in Grad: **38° 34' 22.4"**

- Umrechnung in Dezimalminuten (Dezimalsekunden durch 60 teilen): **38° 34' 22.4/60 = 38° 34.373'**

- Umrechnung in Dezimalgrad (Dezimalminuten durch 60 teilen): **38° 34.373/60 = 38.57289°**

Von Grad in Minuten in Sekunden: **109.550028°**

- Umrechnung in Dezimalminuten (Dezimalgrad multipliziert mit 60): $0.550028 * 60 = 33,00168$, also **109° 33.00168'**

- Umrechnung in Dezimalsekunden (Dezimalminuten multipliziert mit 60): $0.00168 * 60 = 0.1008$, also **109° 33' 00.1"**

Geodätisches (kartesisches) Koordinatensystem

Die Oberfläche des Erdellipsoids lässt sich nicht ohne Probleme auf eine Ebene, z. B. auf eine Karte, abbilden. Es würde hier zu weit führen, den genauen Ablauf darzustellen. Wichtig ist eigentlich nur, dass man die Erde auf einen Zylinder projiziert (Mercatorprojektion) und diesen dann aufrollt. Wer tiefer einsteigen will, für den gibt es entsprechende Literatur bzw. kann auch bei Wikipedia nachlesen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Mercator-Projektion>

Genau wie beim geographischen Koordinatensystem beziehen sich auch die kartesischen Koordinatensysteme auf die schon erwähnten Kartenbezugssysteme (z. B. WGS84), d. h. auch beim UTM-Koordinatensystem wird Bezugssystem WGS 84 genutzt.

Man erhält analog zum Längen- und Breitengrad beim grafischen Koordinatensystem für jeden dargestellten Punkt im kartesischen Koordinatensystem ebenfalls zwei Werte - einen Rechtswert und einen Hochwert.

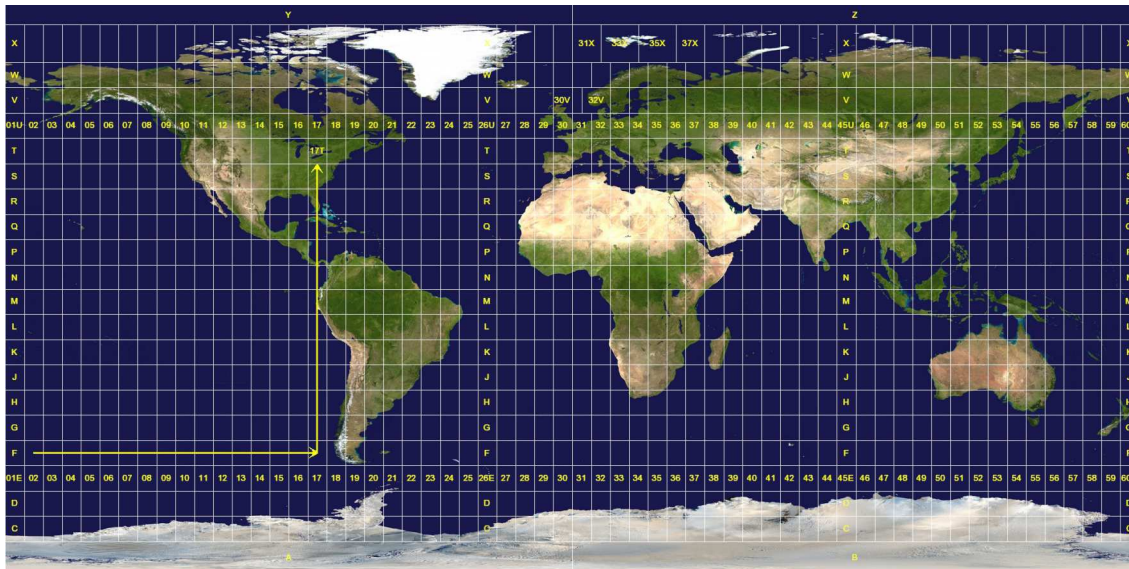
Praktische Anwendungen kartesische Koordinatensysteme sind z. B. die Schweizer Landeskoordinaten, das österreichische Bundesmeldenetz, das Gauß-Krüger-Koordinatensystem (hauptsächlich in Deutschland genutzt) und das UTM-Koordinatensystem.

Der heutige Standard beim kartesischen Koordinatensystem ist das UTM-Koordinatensystem, das ich etwas genauer darstellen möchte.

UTM-Koordinatensystem

Heutzutage wird bei topographischen Karten das UTM-Gitter zugrunde gelegt.

Das UTM-System (*Universal Transverse Mercator*) teilt die besiedelten Teile der Erde (von 80° Süd bis 84° Nord) in vertikale Streifen (Zonen) auf. Für die Abbildung der Polkappen wird die *Universale Polare Stereografische Projektion* (UPS) verwendet.



UTM-Zonenaufteilung

Die Erde wird zwischen dem 180. Längengrad West und dem 180. Längengrad Ost in 6° breite Zonen aufgeteilt. In der Mitte der so gebildeten 60 Zonen verlaufen jeweils die Bezugsmeridiane (Mittelmeridian) bei 3°, 9°, 15°, ... 177°. Die Zonen sind von West nach Ost durchnummeriert. Die Zone von 180° bis 174° westlicher Länge erhält die Kennziffer 1. Die von 174° bis 168° die Kennziffer 2, usw.

Die Zonen werden, vom 80. Breitengrad Süd bis zum 84. Breitengrad Nord in 22 Abschnitte (*Zonenfelder*) zu jeweils 8° unterteilt. Jedes Zonenfeld wird mit einem Buchstaben, beginnend mit C beschriftet. Die nördlichste Randzone X ist mit 12° etwas größer als die anderen Zonen. Die Buchstaben I und O werden ausgelassen, um eine Verwechslung mit den Ziffern 1 und 0 zu vermeiden.

Die Nordpol- bzw. Südpolregionen werden mit einer eigenen Kartenprojektion (UPS) abgebildet. Die Südpolregion, alles südlicher als 80° südlicher Breite, wird in die Zonen A (0 und 180 Grad westlicher Länge) und B (0 bis 180 Grad östlicher Länge) aufgeteilt. Die Nordpolregion, alles nördlicher als 84° nördlicher Breite, wird in die Zonen Y (westliche Länge) und Z (östliche Länge) aufgeteilt. Hierbei werden keine Kennziffern verwendet, sondern der Buchstabencode der Zonenfelder fortgesetzt.



In Nordeuropa gibt es einige Besonderheiten der Zoneneinteilung. So wurde beispielsweise die Zone 32 V etwas auf Kosten der Zone 31 V verbreitert, um Norwegen nicht unnötig in zwei Zonen zu zerschneiden.

Deutschland liegt größtenteils in den Zonen 32 (6° bis 12° ö.L.) und 33 (12° bis 18° ö.L.).

Die USA (ohne Hawaii und Alaska) liegen in den Zonen 10 bis 19.

UTM-Koordinaten

Beim geografischen Koordinatensystem gibt es nur einen Bezugspunkt von dem gezählt wird, den Schnittpunkt von Nullmeridian und Äquator. Beim UTM Gitter hat jede Zone seinen eigenen Bezugspunkt, den Schnittpunkt des jeweiligen Mittelmeridian mit dem Äquator. Gezählt wird innerhalb jeder Zone von West nach Ost, also nach rechts (deshalb spricht man auch von Rechtswert) und von Süd nach Nord, also nach oben (hier spricht man von Nord- oder Hochwert).

Der Äquator bildet nun die X-Achse, der Mittelmeridian die Y-Achse. X- und Y-Achse stehen senkrecht aufeinander und man liest die X- und Y-Werte wie in einem kartesischen Koordinatensystem ab.

Per Definition wird der X-Wert des Mittelmeridians um 500.000 Meter versetzt (man spricht auch von "false easting"). Dadurch vermeidet man die negativen Werte westlich des Mittelmeridians, die entstehen würden, wenn der Wert des Mittelmeridians 0 Meter betragen würde. Ein höherer Wert als 500.000 bedeutet, dass der Punkt östlich des Mittelmeridians befindet, ein niedriger, dass er westlich davon liegt. Eine Zone ist maximal 666,72 km breit und somit können die Werte nur zwischen 166640 und 833360 liegen, sind also immer sechsstellig.

Der Äquator erhält zwar auf der Nordhalbkugel den Y-Wert 0 m, für die Südhalbkugel aber den Y-Wert 10.000.000 m um hier negative Zahlen zu vermeiden. Ein Punkt mit dem Wert 5678000 kann also 5678 km nördlich oder $(10000 - 5678 =) 4322$ km vom Äquator liegen. Damit man weiß ob der Punkt nördlich oder südlich des Äquators liegt, muss man den Buchstaben des Breitenbandes angeben.

Um die Lage eines Punktes beim UTM Koordinatensystem festzulegen, wird immer zunächst das Zonenfeld angegeben, dann der Rechtswert und der Hochwert, z. B. das Infocenter in Moab: 12 S 626248 4270334 wobei

- Zonenfeld: 12 S
- Rechtswert: 626248
- Hochwert: 4270334

ist.

Die Koordianten des UTM Systems geben Positionen auf bis zu 1 Meter genau an.

Das **UTM-Referenzsystem (UTMREF)** teilt die Zonen zusätzlich in Quadrate der Größe 100 km x 100 km parallel zum Mittelmeridian auf, unabhängig von den Zonenfeldern. Die Gitterfelder erhalten Buchstabenpaare als Namen und dienen zusätzlich zur Eingrenzung von Koordinaten. Dieses System findet Anwendung z. B. bei der deutschen Bundeswehr, beim Katastrophenschutz, der Feuerwehr, dem Rettungsdienst, der Polizei und sonstigen Hilfsorganisationen. In Deutschland ist so eine präzise Kommunikation z. B. zwischen Feuerwehr und einem Rettungshubschrauber möglich. Damals kam ich bei der Bundeswehr leicht ins Schleudern, denn der Ausbilder konnte das UTM-Referenzsystem nicht so richtig erklären.

ECEF-Koordinatensystem

(Earth Centered Earth Fixed) XYZ.

Es handelt sich dabei um ein geozentrisches, rechtwinkliges, dreidimensionales Koordinatensystem. Dieses Koordinatensystem eignet sich besonders für die Satellitentechnik und Navigation und wird deshalb bei allen GPS-Empfängern als originäres Koordinatensystem benutzt.

Computer - und damit auch GPS-Geräte - können mit diesem System hervorragend rechnen, sind aber für allgemeinen täglichen Gebrauch eher ungeeignet. Im GPS-Gerät werden allen Positionen im ECEF-System berechnet und gespeichert. Für die Anzeige werden die Koordinaten dann in das vom Benutzer ausgewählten System umgerechnet.

Ich hoffe, dass die Ausführungen verständlich sind. Ich habe mich bemüht, gründlich zu recherchieren. Sollte sich dennoch ein Fehler eingeschlichen haben, dann teilt mir das bitte mit.