



1. Referenzsysteme

Einleitung

Die zentrale Rolle eines GIS spielen die Geodaten. Um mit diesen Daten arbeiten und um sie vergleichen zu können ist es notwendig, dass deren Bezug zur Erdoberfläche bekannt ist. Es müssen Bezugsflächen gefunden werden, die es möglich machen Objekte auf der Erdoberfläche eindeutig zuzuordnen (a). Die Position in einem **Bezugssystem** wird durch Koordinaten beschrieben, welche einem **Koordinatensystem** zugeordnet sind.

Die **Kartenprojektion** beschreibt wie die gekrümmte Erdoberfläche auf eine ebene Fläche abzubilden ist (b). Die Daten werden dadurch anschaulicher, außerdem hat eine Ebene gegenüber einer gekrümmten Fläche mathematisch günstigere Eigenschaften. Oftmals liegen Geodaten in unterschiedlichen Bezugs- und Koordinatensystemen vor, sollen aber gemeinsam genutzt werden. Dazu müssen diese Daten geometrisch kongruent gemacht werden, d.h., Koordinaten müssen durch eine **Koordinatentransformation** von dem einen in das andere Koordinatensystem überführt werden.



Von der Erdoberfläche zur Karte

Die physikalisch-dynamische Bezugsfläche, das Geoid, sowie geometrische Bezugsflächen in geschlossener mathematischer Darstellung (Ebene, Kugel und Rotationsellipsoid) werden im Folgenden behandelt.

Inhalt

1. Referenzsysteme

1.1 Einleitung	2
1.1.1 Entwicklung	2
1.1.2 Ziel	3
1.1.3 Problemstellung: Figur der Erde	3
1.2 Physikalische Bezugsfläche: das Geoid	5
1.3 Geometrische Bezugsflächen in geschlossener mathematischer Darstellung	7
1.1.1 Ebene	7
1.1.2 Kugel	7
1.1.3 Rotationsellipsoid	7
1.4 Literatur.....	10

1.1 Einleitung

1.1.1 Entwicklung

Die Gestalt der Erde beschäftigt die Menschheit seit jeher. Im Laufe der Geschichte wurde die Erde in unterschiedlicher Form angenommen, zunächst als Ebene, dann als Kugel und schließlich als Ellipsoid. Alle Formen hatten ein Ziel: die Darstellung der "Realen Welt". Im Hinblick auf die Kartenherstellung wäre es wünschenswert, wenn die Erde eine Scheibe wäre, es würden keine Verzerrungen auftreten (dazu später). Leider bemerkte Pythagoras ca. 550 v. Christus, dass die Erde keine Scheibe ist, sondern die Gestalt einer Kugel besitzt. Erst Ende des 17. Jahrhunderts wurde klar, dass zur Beschreibung der Erde die Gestalt der Kugel nicht ausreicht. Über die Form der Erde wurde zwar noch spekuliert, (hat sie nun die Form einer Zitrone, oder einer Apfelsine?), doch Mitte des 19. Jahrhunderts setzte sich die Form der heute gebräuchlichen Rotationsellipsoide durch. 1984 wurde das WGS84 eingeführt, welches als Referenzsystem für GPS dient.

Es zeigt sich allerdings, dass es je nach Anwendung sinnvoll erscheinen mag, verschiedene Bezugssysteme zu verwenden. Vermisst ein Grundstückseigentümer seinen Garten um eine Terrasse anzulegen, wird er kein Ellipsoid als Referenzsystem benutzen, sondern eine Ebene, da die Verzerrungen durch die Erdkrümmung hier noch sehr klein sind. Bei weiträumigen Arbeiten, wie z.B. dem Bau einer Eisenbahnstrecke, wird man natürlich entweder auf dem Ellipsoid, oder auf einer Kugel als Referenzsystem rechnen, da sich die Verzerrungen hier viel stärker auswirken.

1.1.2 Ziel

Um die "reale Welt" beschreiben zu können, müssen Modelle gefunden werden, die dies möglichst einfach und dem jeweiligen Zweck entsprechend genau möglich machen. Jeder Punkt auf der Erde soll nach Lage und Höhe eindeutig beschrieben werden können. Beispiele hierfür sind geographische Koordinaten und Höhen über Normal-Null.

Anforderungen an die Modelle:

- umkehrbar eindeutige Zuordnung von Punkten zur Erdoberfläche und der Bezugssysteme (auch „Referenzsysteme“)
- Bezugsflächen sollen Niveauflächen in einem bestimmten Bereich annähern
- einfache Geometrie = einfaches Rechnen

Im Folgenden sollen Bezugsflächen vorgestellt werden, um die Erde, oder Teile von ihr, in geeigneter Weise abzubilden.

1.1.3 Problemstellung: Figur der Erde

Da die Erde von sehr komplexer Form ist, werden zu deren Abstraktion und Vereinfachung geodätische Bezugssysteme eingeführt. Um solch eine Bezugsfläche für die Erde zu finden, muss man zuerst die Form der Erde kennen. Das Lösen dieses Problems ist Aufgabe der Geodäsie.

Hat die Erde die Gestalt einer Scheibe, einer Kugel, eines Ellipsoids oder einer Kartoffel?



Man könnte sie als Ellipsoid mit unregelmäßigen Beulen und Dellen beschreiben. Halten wir das Ellipsoid als Bezug fest, kann man die Oberfläche der Kartoffel an jeder Stelle des Ellipsoids entweder durch Abtragen oder Auftragen beschreiben.

Erschwerend kommt hinzu, dass wir uns auf der Erde bewegen und die Gravitationskraft Einfluss auf viele Messungen und die Form der Erde hat. Um Messergebnisse darstellen zu können bedarf es zweckmäßiger Bezugsflächen, sodass die Begriffe "horizontal" und "vertikal" in ihrer Bedeutung erhalten bleiben. Dies wäre relativ einfach zu bewerkstelligen, wenn die Lotrichtung immer in Richtung des Massenschwerpunktes der Erde zeigen würde. Durch die Unebenheiten auf und die Störpotentiale unterhalb der Erdoberfläche ist die Lotrichtung aber in der Regel nicht in Richtung des Massenschwerpunktes der Erde gerichtet.

Da eine rein geometrisch festgelegte Figur, wie das Ellipsoid, für die genaue Beschreibung der Erde nicht ausreicht, definierte Gauß eine Fläche, die überall auf der Lotrichtung senkrecht steht, das Geoid, welches als physikalisch-dynamische Ersatzfläche für die Erdoberfläche zu verstehen ist und den mittleren Meeresspiegel darstellen soll. Da diese Fläche jedoch durch die ungleiche Massenverteilung im Erdinnern keine regelmäßige Fläche ist, eignet sie sich nur für Höhen- und Schweremessungen und nicht als Bezugsfläche für Lagepunkte, da ihre Geometrie dafür zu kompliziert ist. Für Lagemessungen werden mathematisch-geometrische Ersatzflächen verwendet, die dem Geoid angenähert sind. Je nach Ausdehnung des darzustellenden Gebietes können unterschiedliche Flächen gewählt werden. So kann für eine kleine Umgebung eine Ebene als Bezug ausreichen, da hier die Verzerrungen noch relativ gering sind. Für großflächige Anwendungen müssen jedoch Kugeln und Ellipsoide verwendet werden.

In der Geodäsie werden traditionell getrennt betrachtet:

- die Lage eines Punktes auf dem Referenzellipsoid
- die Höhe eines Punktes über oder unter dem Bezugssystem (Geoid, Ellipsoid)

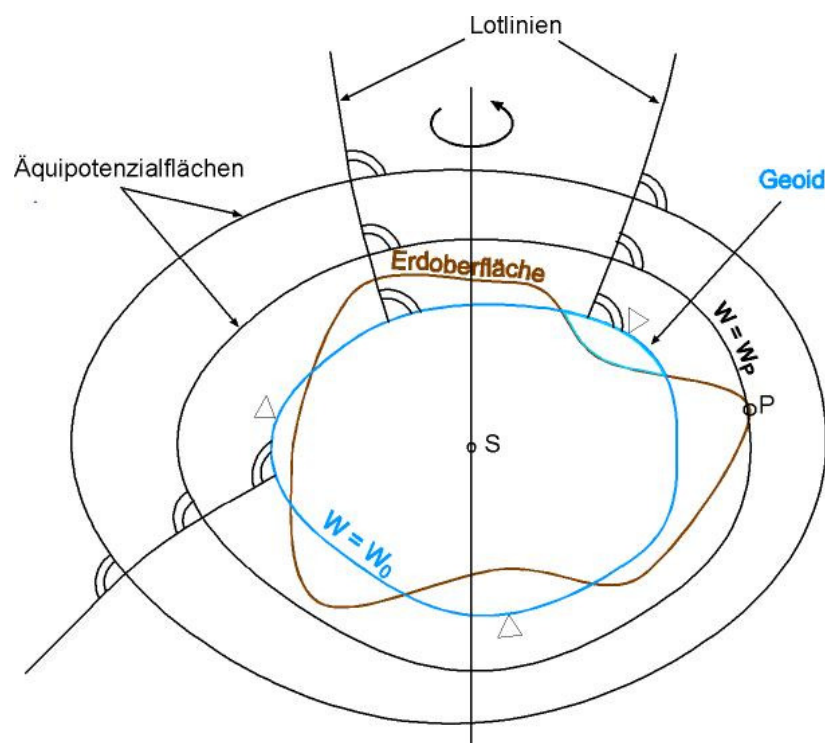
1.2 Physikalische Bezugsfläche: das Geoid

Das Geoid dient als Höhenbezugsfläche. Die Länge der Lotlinie zwischen dem Geoid (also Normal-Null) und einem Punkt auf der Erdoberfläche ist definiert als orthometrische Höhe. Die orthometrischen Höhen werden in topographischen Karten dargestellt, die jedem Wanderer vertraut sind. Neben dieser Höhe gibt es noch weitere Höhendefinitionen, wie z.B. die ellipsoidische Höhe, die den räumlichen Abstand zwischen dem Oberflächenpunkt und dem durch die Ellipsoidnormalen verbundenen Fußpunkt auf der Ellipsoidfläche darstellt.

Definition des Geoids nach [TOR75]

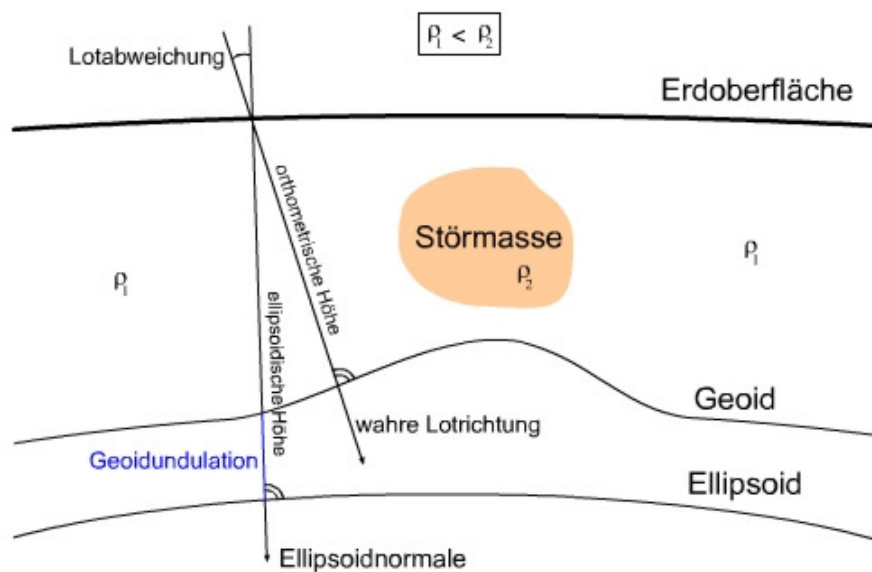
Wir betrachten das Meerwasser als frei bewegliche, homogene Masse, welche nur der Erdschwerkraft unterworfen ist. Nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes realisiert die Oberfläche der so idealisierten Ozeane eine Niveauläche des Schwerefeldes, welche wir uns unter den Kontinenten fortgesetzt denken können (etwa durch ein System kommunizierender Röhren). Diese Niveauläche wird als Geoid bezeichnet.

Flächen gleichen Potentials W heißen Äquipotenzialflächen. Das Geoid ist eine solche Äquipotenzialfläche mit dem Potenzial W_0 . Eine wichtige Eigenschaft der Äquipotenzialflächen ist, dass die Richtung der Schwerebeschleunigung überall senkrecht auf ihr steht (siehe Abbildung). Ungleichmäßige Massenverteilung im Erdinnern haben zur Folge, dass die Lotlinien gekrümmt sind.



Die Gestalt des Geoids ist keineswegs die eines Ellipsoids („Kartoffel“, s.o.). Das Geoid weicht von dem mittleren *Rotationsellipsoid WGS84*, welches in GPS benutzt wird und das Geoid global approximiert, in der Größenordnung von +70 m bis -110 m ab. Die Differenzen zwischen Geoid und Ellipsoid heißen *Geoidundulationen*.

Die unregelmäßige Verteilung von Bergen und Tälern ergibt Abweichungen in der Radialsymmetrie, ebenso lenken Massenunregelmäßigkeiten im Erdinnern die Richtung der Gravitation ab. Liegt beispielsweise ein Erzlager nahe der Erdoberfläche, so ist dort die Masse gegenüber dem Umland größer, die Richtung der Schwerebeschleunigung wird also zu dem Lager hin abgelenkt. Das Geoid weist an dieser Stelle eine Beule auf (siehe Abbildung unten). Wenn nahe der Oberfläche ein Massendefizit festzustellen ist, weist das Geoid hier eine Senke auf.



Auswirkung einer Störmasse auf die Lotrichtung

1.3 Geometrische Bezugsflächen in geschlossener mathematischer Darstellung

Im Folgenden werden typische mathematisch-geometrische Bezugsflächen vorgestellt. In einer Tabelle werden die geläufigsten Ellipsoide mit ihren Dimensionen gezeigt.

1.3.1 Ebene

Für dieses Modell gilt die **ebene Trigonometrie**. Bei größeren Abständen werden die Abweichungen zwischen Wirklichkeit und Modell immer größer, sodass dieses Modell nur für eine Ausdehnung bis 5 km brauchbar ist.

1.3.2 Kugel

Verzerrungsfreie Wiedergaben nur für Gebiete mit ca. 200 km Durchmesser. Hier ist **sphärischen Trigonometrie** anzuwenden.

1.3.3 Rotationsellipsoid

Es bietet eine bessere Approximation der Erdform als die Kugel. Das Rotationsellipsoid wird durch die 2 Halbachsen a (große Halbachse) und b (kleine Halbachse) festgelegt.

Man unterscheidet zwischen (siehe Abb. S. 8):

- mittleres Erdellipsoid
- lokal bestanschließendes Ellipsoid
- konventionelles Ellipsoid

mittleres Erdellipsoid

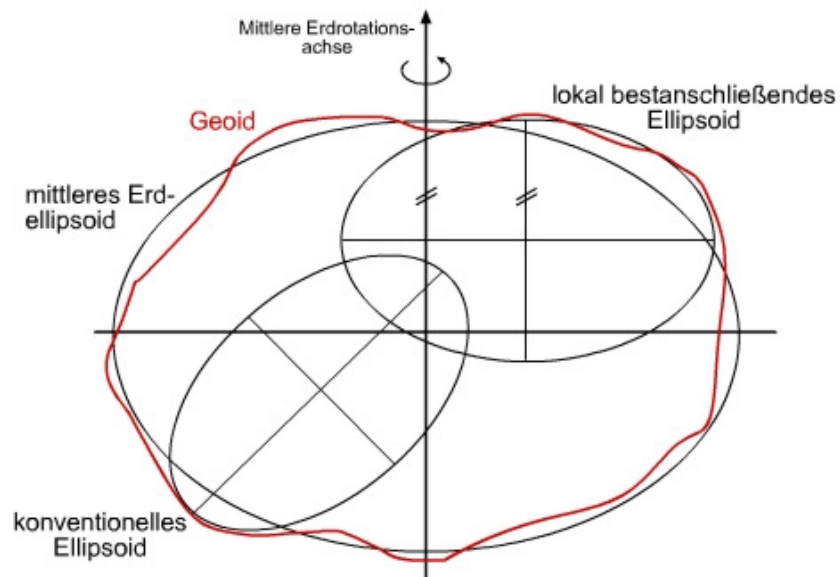
Man versucht, das mittlere Erdellipsoid als Approximation des gesamten Geoids festzulegen. Der Mittelpunkt des Ellipsoids liegt im Massenzentrum der Erde. Die Richtung der kleinen Halbachse fällt mit der mittleren Erdrotationsachse zusammen. Zur Bestimmung der Ellipsoidparameter wurden seit Ende des 17. Jahrhunderts bis Mitte des 19. Jahrhunderts Gradmessungen durchgeführt. Aus geometrischen Beobachtungen wurden die Ellipsoiddimensionen abgeleitet. Diese lassen sich ebenso aus dynamischen Beobachtungen ableiten, wobei die Analyse von Satellitenbahnen eine große Rolle spielt. Ein Beispiel ist das Ellipsoid WGS84.

lokal bestanschließendes Ellipsoid

Ein begrenztes Stück der Geoidfläche wird durch ein Ellipsoid dargestellt. Die Lage ist nicht geozentrisch, d.h. der Mittelpunkt des Ellipsoids liegt nicht im Massenschwerpunkt der Erde. I. A. steht die kleine Halbachse parallel zur mittleren Erdrotationsachse. Beispiel: das Ellipsoid nach Krassowski.

konventionelles Ellipsoid

Die konventionellen Ellipsoide sind weder geozentrisch gelagert, noch sind ihre kleinen Halbachsen parallel zu der mittleren Erdrotationsachse. Dies liegt daran, dass die lokalen Ellipsoide vor der Zeit der Weltraumtechnologien definiert wurden. Die Parameter wurden aus Gradmessungen bestimmt und spiegeln mehr oder weniger die Erdoberfläche in einem lokalen Bereich wieder. Sie waren Basis für den Aufbau der Landesvermessungsnetze im 18. und 19. Jahrhundert. Ein Beispiel ist das Bessel-Ellipsoid.



Mittleres Erdellipsoid, konventionelles Ellipsoid und lokal bestanschließendes Ellipsoid aus [Heck 1995]

Einige Beispiele und Kenngrößen sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Autor	Jahr	große Halbachse a [m]	kleine Halbachse b [m]	Abplattung $f = (a-b) / a$	Verwendung in der Landesmessung
Everest	1830	6377276	6356075	1 : 300.802	Indien, Pakistan
Bessel	1841	6377397	6356079	1 : 299.153	Westdeutschland, Österreich, Schweiz, Niederlande, Norwegen, Schweden, Japan
Clarke	1866	6378206	6356584	1 : 294.979	USA, Kanada
Clarke	1880	6378249	6356515	1 : 293.465	Frankreich, Großbritannien
Hayford	1909	6378388	6356912	1 : 297.000	Dänemark, Belgien, Italien, Türkei, NATO
Krassowski	1940	6378245	6356863	1 : 298.300	Russland, Ostdeutschland, andere osteuropäische Länder
IUGG*	1967	6378160	6356775	1 : 298,247	Australien, Indonesien
IUGG*	1980	6378137	6356752	1 : 298,257	
WGS84*	1984	6378137	6356752	1 : 298.257	Liegt GPS zugrunde
<p>* Dimensionen aus Satellitenbeobachtungen abgeleitet IUGG = Internationale Union für Geodäsie und Geophysik WGS = World Geodetic System</p>					

1.4 Literatur

Heck, B. 1995: Rechenverfahren und Auswertemodelle der Landesvermessung : klassische und moderne Methoden. 2. Auflage Wichmann Verlag, Heidelberg.

Kahmen, H. 1997: Vermessungskunde. deGruyter Verlag, Berlin.

Schmidt, H. & Witte B. 2000: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. Wittwer Verlag, Stuttgart.

Torge, W. 1975: Geodäsie. deGruyter Verlag, Berlin.