

4 Raumbezug

Geodaten heißen so, weil sie einen Bezug zur Erde haben bzw. überhaupt einen räumlichen Bezug. Um die Lage der Geodaten im Raum festlegen zu können, werden Bezugssysteme definiert. Die Geodaten werden in diesen Bezugssystemen mit Koordinaten beschrieben. Die Festlegung von Bezugssystemen ist nicht immer einfach. Insbesondere hängt die Festlegung von der Menge der Objekte bzw. von der räumlichen Ausdehnung ab. Sollen nur Punkte in einem kleinen Gebiet zueinander in räumliche Beziehung gesetzt werden, kann man ein anderes Bezugssystem wählen, als wenn man alle Objekte auf der ganzen Welt zueinander in Beziehung setzen will. Kleine Gebiete der Erdoberfläche sind fast eben, sodass man auch ebene Koordinatensysteme verwenden kann. Ist die Fläche mehrere Quadratkilometer groß, ist sie für ein ebenes Koordinatensystem schon zu sehr gekrümmt. Die Erdoberfläche insgesamt kann in verschiedenen Näherungen betrachtet werden. Wenn man die Objekte darauf in räumliche Beziehung zueinander setzen wollte, wäre es am einfachsten, wenn dazu geometrisch einfache Gebilde verwendet werden könnten. Die Erdoberfläche lässt sich in verschiedenen Abstraktionsstufen näherungsweise geometrisch wie folgt beschreiben (vgl. auch Resnik und Bill, 2009):

- **Ebene:** nur für kleine, lokale Gebiete
- **Kugel:** wie ein Globus
- **Ellipsoid:** eine abgeplattete Kugel
- **Geoid:** unregelmäßig gekrümmte Oberfläche, die mit dem mittleren Meeresspiegel der Ozeane zusammenfällt und auf der an jeder Stelle das gleiche Schwerkraftpotenzial vorherrscht

Das Geoid ist nicht einfach zu beschreiben und ungünstig für die Berechnung von Flächeninhalten und Strecken. Es dient als Referenzfläche für den Höhenbezug, wohingegen die anderen drei als Referenzflächen für den Lagebezug dienen.

Vermessungen auf der Erde wurden traditionell mit Geräten ausgeführt, die man an der Erdanziehungskraft ausgerichtet hat. So, wie man eine Wasserwaage ausrichtet, wurden auch die Instrumente für die Vermessung ausgerichtet. Die Ausrichtung war also entsprechend senkrecht zum Geoid. Um die Vermessungsergebnisse möglichst mit wenigen Fehlern auf eine der anderen Flächen wie Ebene, Kugel oder Ellipsoidoberfläche übertragen zu können, wurden diese Flächen möglichst genau an das Geoid angepasst. Dabei hat zunächst jedes Land an sich selbst gedacht und seine eigene Anpassung vorgenommen. So entstanden viele verschiedene Koordinatensysteme. Früher, als jeder noch seine eigenen Aufgaben hatte und vor allem kleinräumig gedacht und gehandelt wurde, standen die verschiedenen Systeme sich nicht gegenseitig

im Wege. Im Gegenteil, sie waren sogar von Vorteil. Heute, da immer globaler und weiträumiger gedacht und gehandelt wird, müssen Koordinatensysteme nicht nur an den Rändern einander angepasst werden, sondern in weltumspannende einheitliche Systeme umgerechnet werden. Die weltweite Betrachtungsweise und vor allem die satellitengestützte Vermessungstechnik machen global einheitliche Systeme erforderlich. Die alten Systeme können nicht ohne Weiteres aufgegeben werden, denn sie haben im lokalen Bereich, bei dem es um hohe Genauigkeiten geht, Vorteile. Aber vor allem liegen sehr viele wertvolle Daten noch in diesen alten Systemen vor. Es ist also eine Umrechnung notwendig, die als Koordinatentransformation bezeichnet wird.

Diese Aufgabe kann im Allgemeinen vor der Präsentation von Geodaten im Internet durchgeführt werden. Es gibt zahlreiche Transformationsprogramme. Ein Vertreter kommerzieller Software ist der Geographic Calculator. Ein Open-Source-Beispiel ist Proj, auf das in Abschnitt 12.2.1 ab Seite 389 eingegangen wird. Allerdings besteht das Problem, dass Daten auf der Serverseite oft aus verschiedenen Quellen stammen. Daten anbietende müssten gleiche Daten in unterschiedlichen Koordinatensystemen vorhalten. Diese Redundanz bringt Speicherplatzprobleme und Schwierigkeiten bei der Aktualisierung und Verwaltung der Daten mit sich. Es ist also eine Koordinatentransformation notwendig, die auf individuelle Nutzeranfragen hin durchführbar ist. Natürlich kann auch der Client die Koordinatenumrechnung übernehmen. Dazu muss dieser allerdings die entsprechenden Tools und die Performance haben. Beispiele, bei denen auf der Clientseite umgerechnet wird, sind in Abschnitt 3.3 aufgeführt. Da auch Server als Client auftreten können (vgl. Abschnitt 3.2.2), wird manchmal auch auf Servern transformiert, die zwischen einem anderen Server und einem Client stehen. Koordinatentransformation kann also auch als separater Dienst ausgeführt werden. Auf eine standardisierte Variante wird in Abschnitt 11.2.8 ab Seite 375 eingegangen.

4.1 Koordinaten, Koordinatensysteme, Bezugssysteme und Projektionen

Da Koordinatensysteme vielen GIS-Nutzenden immer wieder Rätsel aufgeben und es immer wieder zu Verwechslungen durch falschen Gebrauch von Begriffen kommt, wird in diesem Abschnitt auf die Trennung der Begrifflichkeiten eingegangen.

Genaue Definitionen von Begriffen zur Beschreibung der räumlichen Referenzen findet man in ISO-Norm 19112. Hier wird sich jedoch etwas von Definitionen entfernt und es wird stattdessen versucht, die Begriffe sinngemäß zu beschreiben. Dies vermag besonders Fachkundigen den Umgang mit Koordinaten zu erleichtern.

Der Begriff *Koordinatentransformation* hat sich allgemein für die Umrechnung von Koordinaten eingebürgert (siehe Abschnitt 4.2). So heißt der vom Open Geospatial

Consortium (OGC) standardisierte Dienst auch Web Coordinate Transformation Service (WCTS, siehe Abschnitt 11.2.8 ab Seite 375). Bei der Koordinatentransformation wird zwischen mathematisch eindeutigen Berechnungen und solchen, bei denen das Ergebnis der Umrechnung von einer Reihe von ausgewählten Passpunkten abhängt, unterschieden. Genau genommen wird auch unterschieden zwischen Transformation und Projektion. Letztere, auch Abbildung genannt, behandelt die Berechnung zur Abwicklung der kugel- oder ellipsoidförmigen Oberfläche unserer Referenzflächen in eine Ebene (siehe Abschnitt 4.1.4).

4.1.1 Koordinaten

Koordinaten sind geordnete Werte, die die Lage von Objekten zu einem Bezugssystem eindeutig definieren. Einfach zu verstehen sind Koordinaten bei Bildkoordinaten. Der Bildpunkt in der Mitte des Bildes hat bei einem Bild mit der Ausdehnung 1200 x 800 Pixel z. B. die Koordinaten 600, 400. Schwierigkeiten gibt es immer nur dann, wenn es darum geht, ob man nun von unten nach oben zählt oder von links nach rechts. Hinzu kommt noch, dass man sich zu allem Überfluss nicht einigen kann, ob man zuerst den Wert, der nach rechts bzw. links zeigt, oder den, der nach oben bzw. unten zeigt, schreibt. Das mag aber auch daran liegen, dass man gar nicht weiß, wo oben und unten ist. Es ist also eine Frage der Definition. Eben diese Definition wird mit der Festlegung eines Koordinatensystems getroffen.

Exemplarisch werden im Folgenden einige wichtige Arten von Koordinatensystemen aufgezeigt, die im Internet immer wieder anzutreffen sind. Koordinaten können entweder in Form von Winkelangaben definiert sein oder in einem rechtwinkligen System vorliegen. Des Weiteren können die Koordinaten in 2 oder 3 Dimensionen angegeben werden.

Geographische Koordinaten sind mit Winkelangaben auf einer Kugel definiert und somit *polare Koordinaten*. Beziehen sich die Winkel auf ein Ellipsoid, heißen sie *Geodätische Koordinaten*. Diese Art von Koordinaten liefert z. B. das Global Positioning System (GPS, vgl. Bauer, 2011) und diese werden u. a. von Google Earth verwendet (Brown, 2006). Vielen mögen Koordinaten auch durch die Längen- und Breitengrade aus dem Geographieunterricht bekannt sein. Die Punkte, die hier definiert werden, liegen alle auf einer Kugel oder der abgeplatteten Version der Kugel, dem Ellipsoid. Dabei wird vernachlässigt, dass die Erde diese Formen natürlich nur näherungsweise aufweist. Die Punkte, die in geographischen Koordinaten angegeben sind, liegen also nicht unbedingt exakt auf den – auch Referenzflächen genannten – Flächen. Für die Umrechnungen wird aber einfach davon ausgegangen, dass diese auf der Oberfläche liegen. Die Höhe über der Fläche wird hinterher als Höhe über dem

Meeresspiegel angegeben oder auch ganz weggelassen. Um später die Umrechnungen gedanklich nachvollziehen zu können, stellen Sie sich also einfach den Globus vor, die Längen- und Breitengrade und das sich daraus ergebende Netz von Koordinatenlinien. Wer räumlich zu denken vermag, kann auch den Punkt seines Interesses, z. B. London, mit dem Mittelpunkt der Erde verbinden und sich die Ebene vorstellen, die durch diese Lotrichtung und den Meridian entsteht, auf dem London liegt (Nullmeridian, der durch Greenwich verläuft). Als zweite Ebene nimmt man die Äquatorebene. Diese beiden stehen senkrecht aufeinander und in den Ebenen wird die Länge und Breite gemessen (siehe Abb. 4.1).

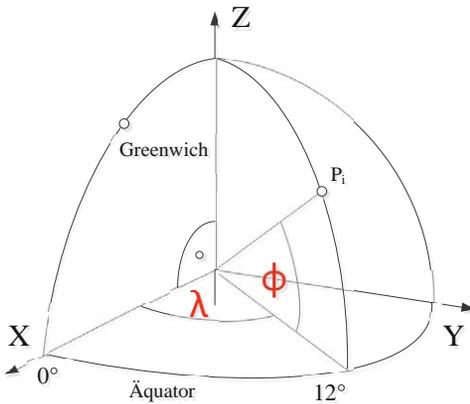


Abb. 4.1 Geographische Koordinaten, gegeben durch Längen- und Breitengrade.

Auch wenn bei den geographischen Koordinaten nur zwei Werte gegeben sind, handelt es sich dennoch um 3D-Koordinaten, denn die Punkte liegen auf der Kugel bzw. auf dem Ellipsoid. Durch die Angabe des Erdradius kann man einfach den 3D-Bezug herstellen.

Ebene kartesische Koordinaten sind, wie der Name schon sagt, *eben*, das heißt, zweidimensional. Ein weiterer Unterschied zu den geographischen Koordinaten besteht darin, dass hier keine Winkel gegeben sind, sondern metrische Angaben. Die Koordinatenachsen sind nicht Meridian, Rotationsachse der Erde oder Äquator, sondern einfach nur zwei senkrecht aufeinander stehende Achsen, ohne genauer zu definieren, wodurch diese repräsentiert sind. Im Falle eines Bildkoordinatensystems können dies die Kanten eines Bildes sein. Solange die Flächen relativ klein sind, z. B. für eine Baustelle, kann man sich leicht vorstellen, wie all diese Punkte genau durch einen Rechts- und einen Hochwert definiert werden können (siehe Abb. 4.2). Die Einheiten können Meter, Fuß, Pixel oder sonstige Längeneinheiten sein.

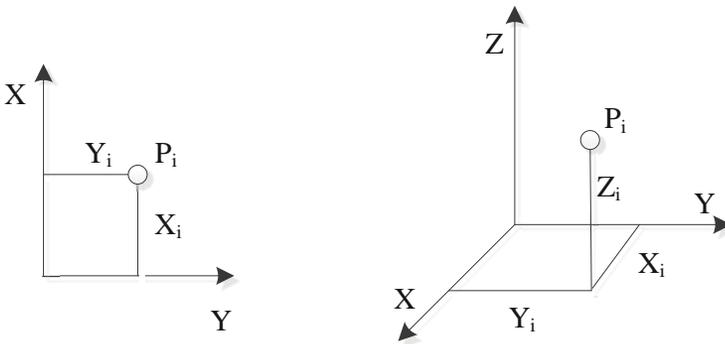


Abb. 4.2 Zwei- und dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem.

Wenn die Flächen größer werden, die auf dem Bildschirm oder einem Blatt Papier gezeichnet werden sollen, wird es schon schwieriger mit der Vorstellungskraft, denn die Punkte sind ja in Wirklichkeit nicht auf einer Ebene, sondern auf einer Kugel bzw. einem Ellipsoid. Trotzdem sollen sie in einem ebenen zweidimensionalen System abgebildet werden. Um dieses Problem lösen zu können, werden *Projektionen* benötigt (siehe Abschnitt 4.1.4).

4.1.2 Dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem

Dreidimensionale kartesische Systeme werden aus Perspektive des Erdmittelpunkts betrachtet. Erst wird eine erste Achse definiert, der Einfachheit halber Z-Achse genannt. Dazu wird einfach eine Verbindungslinie vom Mittelpunkt der Erde in Richtung Nordpol gezogen (siehe Abb. 4.1 auf Seite 108). Um diese Achse dreht sich unsere Erde, deshalb heißt sie auch Rotationsachse. Als nächstes wird eine Linie, auch Nullmeridian genannt, vom Nordpol durch Greenwich bis zum Äquator gezogen. Nun wird der Punkt, an dem diese Linie den Äquator schneidet, betrachtet. Dieser Punkt hat im Übrigen im geographischen Koordinatensystem die Koordinaten $0,0$. Die Verbindung zwischen dem Mittelpunkt der Erde und diesem Nullpunkt wird X-Achse genannt. Sie liegt senkrecht zur Z-Achse, wenn davon ausgegangen wird, dass die Rotationsachse senkrecht zur Äquatorebene liegt. Für das rechtwinklige 3D-System benötigt man jetzt nur noch eine dritte Achse, die Y-Achse. Diese Achse wird einfach senkrecht zu den anderen beiden Achsen gesetzt.

Es stellt sich noch die Frage, in welche Richtung senkrecht. Je nachdem, wie man sich entscheidet, ist es ein sogenanntes rechtshändiges oder linkshändiges Dreibein. Hier wird das rechtshändige gewählt, das vom Mittelpunkt aus zum 90° -Meridian zeigt und auch in der Äquatorebene liegt. Die Äquatorebene ist übrigens die Ebene, die durch den Äquator aufgespannt wird. Das Linkssystem würde mit der Y-Achse positiv zum -90° - oder 270° -Meridian zeigen. In den späteren Betrachtungen wer-

den nur Rechtssysteme betrachtet, obwohl auch Linkssysteme transformiert werden können.

Nun kann man das dreidimensionale kartesische Koordinatensystem auch wie in Abb. 4.2 auf Seite 109 darstellen. Da das hier definierte System näherungsweise in der Mitte der Erde liegt, können alle Punkte auf und unter der Erde mit diesem System beschrieben werden. Der Vorteil gegenüber den geographischen Koordinaten und einem Radius besteht darin, dass sich Strecken direkt mit dem Satz von Pythagoras berechnen lassen; das gilt sowohl für 2D als auch für 3D (siehe Formel (4.1), mit der sich Strecken nach dem Satz von Pythagoras in kartesischen Koordinatensystemen berechnen lassen).

$$S = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad (4.1)$$

4.1.3 Bezugssysteme

Bezugssysteme sind im Rahmen dieses Buches Systeme, mit denen beschrieben wird, wie Koordinaten in Bezug auf etwas anderes, festes, räumlich eindeutig zugeordnet werden können. Dabei geht es um die Zuordnung zu messbaren Größen, die z. B. mit der Erde verbunden sind oder sich durch die Richtung zu Sternen ergeben. Kleinere lokale Bezugssysteme werden durch Vermessungspunkte, die in der Erde vermarktet sind, festgelegt, z. B. entlang von Straßen oder auf Baustellen. Wenn Sie z. B. eine Baustelle betrachten, wird dort oft ein Koordinatensystem festgelegt, welches sich bspw. an einem langen Gebäude ausrichtet oder an der Achse einer Straße oder Schiene. Um die Baustelle in die übergeordnete Landschaft einordnen zu können, wird das lokale Baukoordinatensystem innerhalb des Landesvermessungssystems festgelegt. Das Landesvermessungssystem ist, wie der Name schon sagt, an ein ganzes Land gebunden, in Deutschland heute noch oft das Bundesland. Feste Punkte sind z. B. Kirchen oder Messpunkte, wie der Zentralpunkt Rauenberg bei Potsdam und die Marienkirche in Rostock, über die einst das Deutsche Hauptdreiecksnetz festgelegt wurde. Diese Systeme haben ihrerseits wieder einen Bezug zu benachbarten Landessystemen. Damit man nun nicht von jedem System den Bezug zu jedem anderen definieren muss, wird ein mittleres Erdreferenzsystem als zentrales System für die Umrechnungen der Landessysteme verwendet. Die Lage der Landesvermessungssysteme zum mittleren Erdsystem wird *geodätisches Datum* genannt. Einen Überblick finden Sie unter anderem auf der Seite *Geodetic Datum Overview*¹.

Obwohl natürlich auch die Möglichkeit besteht, zwischen unserer Baustelle und dem Landessystem umzurechnen, werden hier erstmal nur die Umrechnungen zwischen den Landessystemen betrachtet. Man wird sehen, dass mit dieser Berechnung

¹http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/datum_f.html