

1 Geodätische Grundlagen

1.1 Wichtige Definitionen und Benennungen

1.1.1 Definition und Gliederung der Geodäsie

Der Begriff „Geodäsie“ stammt aus dem Griechischen, kann mit „Erdeileitung“ übersetzt werden und umfasst den gesamten Bereich des Vermessungswesens. Die Geodäsie kann auf eine lange Geschichte zurückblicken. Ihr Ursprung liegt im Altertum, als sich mit der Entstehung des Eigentums an Grund und Boden auch die Notwendigkeit ergab, Felder und Grundstücke einzuteilen und zu vermessen. So wurden z. B. noch vor dreitausend Jahren nach jeder der erwünschten Überschwemmungen in Babylon und Ägypten den Eigentümern erneut ihre Grundstücke zugeteilt. Um eine solche Zuteilung vornehmen zu können, mussten natürlich zuerst die Grenzen aufgenommen und registriert werden (Abbildung 1.1), was heute als eine typische *Katastervermessung* mit Wiederherstellung von Grenzen bezeichnet wird. Hier befinden sich die Wurzeln der *Vermessungskunde* (auch als niedere Geodäsie bezeichnet), welche aus der Tätigkeit im Zusammenhang mit Vermessung, Berechnung und Darstellung der kleinen Teile der Erdoberfläche folgen.

Es besteht auch kein Zweifel, dass schon vor Jahrtausenden zur Erstellung der ägyptischen oder griechischen Bauwerke mit ihren langen geraden Strecken und rechten Winkeln genaue Vermessungen durchgeführt werden mussten. Ein Beispiel dieser Art liefert die Cheops-Pyramide (Abbildung 1.1), die bei den Völkern der alten Welt zu den bestaunten sieben Weltwundern gezählt wurde. Zahlreiche Archäologen haben sich bemüht, das Vorgehen bei der Errichtung des Bauwerkes zu erklären, und im Zusammenhang mit dem quadratischen Grundriss der Pyramide wurde auch mehrfach die sehr genaue Vermessung erwähnt. Als weiteres Beispiel können die bekannten ägyptischen Höhenbestimmungen zum Zuleiten des Wassers genannt werden, wobei schon in Altertum unglaublich hohe Genauigkeiten erreicht wurden. Hier befinden sich die Wurzeln der *Ingenieurvermessung*, welche heute im Bauwesen und Maschinenbau weitergeführt werden.

Um etwas einteilen oder abstecken zu können, muss die Form des zu teilenden Objektes bekannt sein. Wenn eine Vermessung größerer Teile der Erde durchgeführt wird, betrifft dies die Figur der Erde als Ganzes. Aus rein philosophischen Gründen schlossen die Pythagoräer im 5. Jh. vor Christus auf eine *Kugel* als *Erdfigur*. Etwa im Jahre 230 vor Christi Geburt bestimmte *Eratosthenes* durch seine berühmte erste Gradmessung den Umfang der Erdkugel (Abbildung 1.1). Der aus der unterschiedlichen Schattenlänge zur Mittagszeit in Alexandria und Assuan und aus der bekannten Entfernung zwischen diesen Städten ermittelte Wert des Erdumfanges (umgerechnet 46 250 km) weicht nur um 16 % von heute gültigen Parametern ab (WITTE, SPARLA, BLANKENBACH 2020). Hier befinden sich die Wurzeln der *Erdmessung* (auch höhere Geodäsie genannt), welche der Bestimmung und Darstellung der Erdfigur dient und für die gesamte Erde gültige Bezugssysteme schafft.

Definition 1.1: Als Vermessungskunde bezeichnet man die Lehre von der Ausmessung größerer oder kleinerer Teile der Erdoberfläche und ihrer Darstellung in Verzeichnissen, Karten und Plänen.

Diese klassische Definition stammt aus dem 19. Jh. und ist heute nicht mehr völlig akzeptiert, da sie einige wesentliche Aufgabenfelder, wie z. B. die oben genannte Erdmessung oder die Bestimmung des Erdschwerefeldes, zumindest auf den ersten Blick nicht erkennen lässt.

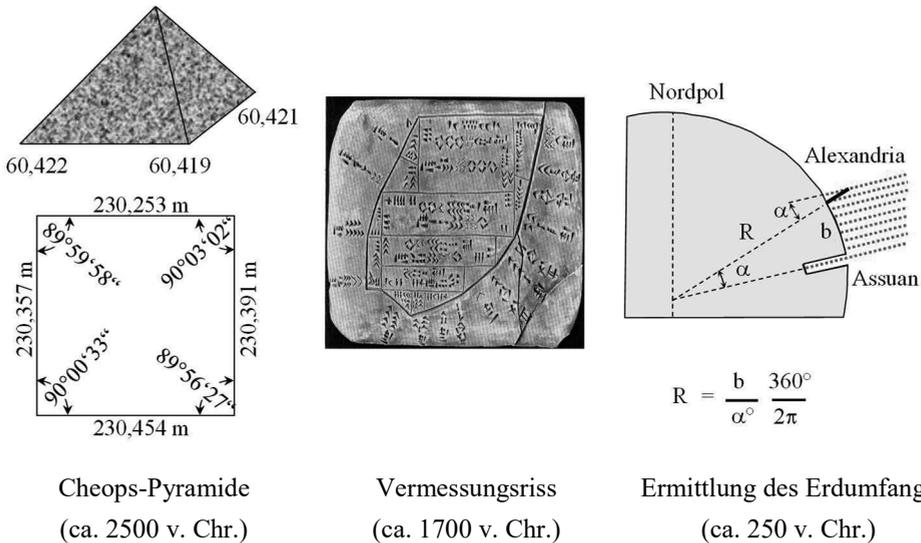


Abbildung 1.1: Historische Entwicklung der Geodäsie

Definition 1.2: Als Geodäsie bezeichnet man das Arbeitsgebiet, dessen Aufgabenbereich die Bestimmung der Erdfigur und des äußeren Schwerefeldes der Erde sowie die Vermessung und Darstellung der physischen Erdoberfläche umfasst.

In der Definition 1.2 ist deutlich zu erkennen, dass der Begriff „Geodäsie“ im deutschen Sprachraum umfassender als der Begriff „Vermessung“ ist, weil ersterer auch die Erdmessung und Landesvermessung umfasst:

- *Erdmessung* (auch als physikalische Geodäsie bezeichnet) dient der Bestimmung und Darstellung der Erdfigur einschließlich des äußeren *Schwerefeldes*. Sie schafft für die gesamte Erde gültige *Bezugssysteme* für Lage, Höhe und Schwere.
- *Landesvermessung* erstellt – auf der Grundlage der durch die Erdmessung bestimmten geometrischen und physikalischen Erdmodellparameter – *Lage-, Höhen- und Schwerefestpunkte* in ausreichender Dichte zur Erfassung der Gegebenheiten eines Landes. Sie ist weiterhin verantwortlich für die Herstellung und die Laufendhaltung topographischer Karten.

- *Detailvermessung* baut auf den in der Landesvermessung geschaffenen Festpunktfeldern auf und verdichtet diese zu einer ausreichenden Dichte zur Aufmessung lokaler Phänomene.

Handelt es sich bei der Detailvermessung um Gebäude, Eigentumsgrenzen und Nutzungsgrenzen, so spricht man von der *Kataster- oder Liegenschaftsvermessung*. Mit *topographischen* oder *photogrammetrischen Vermessungen* wird zusätzlich das Relief mit seinen Formen für die kartographische Darstellung erfasst. *Ingenieurvermessungen* treten bei der Absteckung, Errichtung und Überwachung von Bauwerken und Maschinen auf.

Viele dieser Tätigkeiten erfolgen computergestützt; der analoge Informationsträger Papier (Karte) wird durch digitale Informationsträger wie Datenbanken oder Webtechnologien ersetzt. Mit dem AAA-Vorhaben (AFIS – Amtliches Festpunktinformationssystem, ALKIS – Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem, ATKIS – Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) stellt das öffentliche Vermessungswesen deutschlandweit Geobasisdaten bereit, auf denen viele Fachinformationssysteme aus dem Umweltsektor, der amtlichen Statistik, der Planung und der Geowissenschaften aufbauen (BILL 2023).

Die Vermessung gründet sich stets auf die folgenden Prinzipien:

- *Vom Großen ins Kleine* besagt, dass Vermessungen sich in der Regel in ein übergeordnetes Netz einhängen: Z. B. schließt die Landesvermessung an die von der Erdmessung geschaffenen Basisnetze an, die Detailmessung wird eingebettet in die Festpunktfelder der Landesvermessung. Hierbei wird das Prinzip der Nachbarschaft angewendet, d. h., die neuen Vermessungen werden bestmöglich an die lokal benachbarten Punkte angeschlossen, womit ein homogener Aufbau des Messnetzes erreicht wird.
- Das *Prinzip der Zuverlässigkeit* fordert, dass jedes Mess- oder Rechenergebnis durch unabhängige Kontrollen zu sichern ist. Diese recht anspruchsvolle Forderung steht zwar der Wirtschaftlichkeit entgegen, garantiert aber andererseits die hohe Qualität der Vermessung und schafft somit das notwendige Vertrauen in die Netze der Landesvermessung oder den Liegenschaftsnachweis. Die Geodäsie nutzt zum Qualitätsnachweis statistische Methoden; sie ist eine der wenigen Disziplinen, die stets die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Arbeiten durch statistische Maßzahlen belegen kann.
- Konträr zum Zuverlässigkeitsprinzip steht das *Wirtschaftlichkeitsprinzip*. Jede Vermessung sollte „so genau wie möglich, aber nicht genauer als erforderlich“ durchgeführt werden. Aus dem großen Repertoire an Vermessungsmethoden ist eine dem Zweck angepasste Methode auszuwählen. Wichtig ist hierbei, die Genauigkeitsanforderungen des Auftraggebers (z. B. einer Umweltbehörde) präzise zu beurteilen und durch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen relativieren zu können.

Die moderne Instrumenten- und Computerentwicklung führt grundsätzlich nicht zu anderen Arbeitsprinzipien der Vermessung, sondern zu neuen Akzenten. So wird z. B. bei den modernen Messmöglichkeiten eine Netzbildung in wenigen Schritten oder sogar „in einem

Guss“ möglich und bei der Auswertung mithilfe von erprobten Programmen nicht die Berechnung, sondern lediglich die Dateneingabe überprüft.

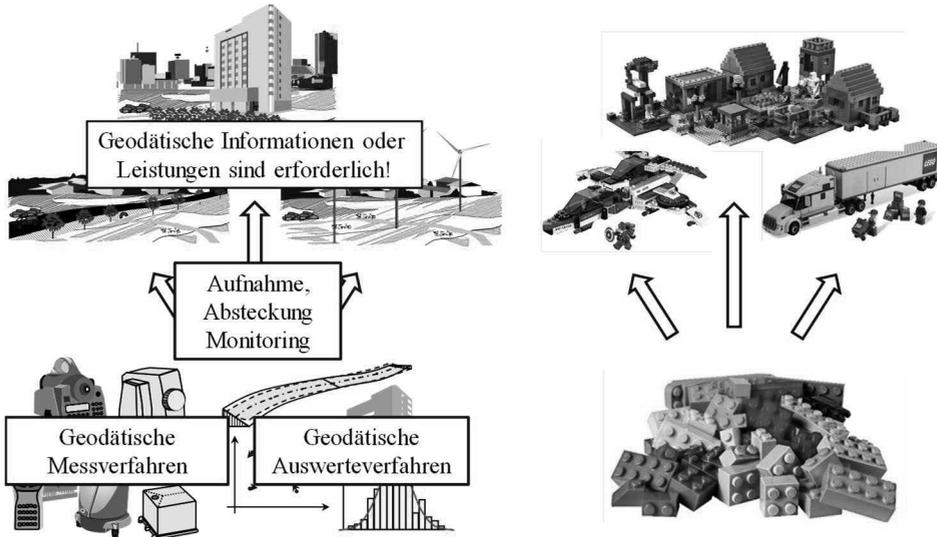


Abbildung 1.2: Anwendung von geodätischen Verfahren

Geodäsie bzw. Vermessung ist das Gebiet, das die interessanten Aspekte zusammenbringt, nämlich Messtechnik, mathematische Auswertemethoden, Geoinformatik und Anwendungen, die sehr vielfältig sind. Es ist eine Art „Schweizer Taschenmesser“, welches man in den unterschiedlichen Situationen sinnvoll einsetzen kann. Um die ganze Werkzeugpalette in diesem Messer sinnvoll nutzen zu können, sollte man jedoch einen breiten Überblick über das Anwendungsgebiet haben und sich nicht nur auf eine Technik beschränken. Mit anderen Worten ist Geodäsie nicht etwas anderes als eine sehr große Anzahl von unterschiedlichen Bausteinen, aus denen man die vielfältigen Konstruktionen erstellen kann. Es handelt sich dabei um eine Reihe von unterschiedlichen Techniken, Algorithmen und Vorgehensweisen, mit denen verschiedenste Aufgaben bei den Bau- und Planungsvorhaben, öffentlichem Handeln, Fernerkundung usw. erfolgreich gelöst werden können.

1.1.2 Definition von Maßsystemen und Maßeinheiten

In allen Ingenieurdisziplinen gehört das Messen physikalischer Größen zu den Grundaufgaben. In der Regel werden diese Größen bei solchen Messungen mit einer Basiseinheit verglichen, wobei die entsprechende Maßzahl als Vielfaches der angenommenen Vergleichsgröße festgestellt werden kann (Abbildung 1.3).

Längeneinheiten

Für das Vermessungswesen sind besonders die *Längeneinheiten* von Bedeutung, die die Grundlage zur eindeutigen Festlegung der Punkte in einem Koordinatensystem bilden. Das Maß der Länge ist in der Entwicklungsgeschichte des Menschen lange Zeit von natürlichen menschlichen Maßen abgeleitet worden (z. B. Elle, Fuß). Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften beschloss im Jahre 1791 die damalige französische Nationalversammlung, ein einheitliches Längenmaß einzuführen, das dem Vierzigmillionstel des Erdmeridians gleich sein und *Meter* heißen sollte. Die Größe des Meters wurde in den nächsten Jahren aus mehreren Gradmessungen abgeleitet. Damit es aber jederzeit zu reproduzieren war, wurde ein Prototyp aus Platin (das sog. „Archivmeter“) hergestellt. Das Metersystem wurde in den nächsten Jahrzehnten von mehreren Staaten übernommen und z. B. für das ganze damalige Deutsche Reich im Jahre 1872 eingeführt. Seit 1983 ist das Meter als die Länge einer Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1 / 299\,792\,458$ Sekunden durchläuft, definiert. Das Meter ist eine der sieben Basiseinheiten, die im *Internationalen Einheitensystem SI* festgelegt sind.

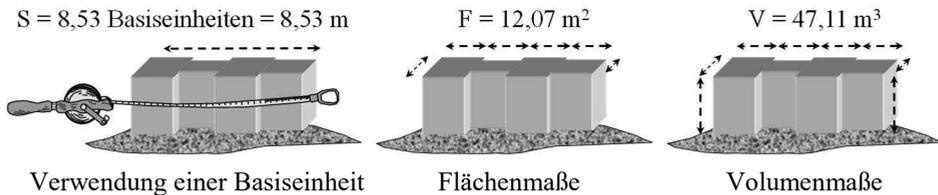


Abbildung 1.3: Längeneinheiten

Aus allen Einheiten lassen sich durch dezimale Vorsätze Vielfache und Teile bilden und durch Vorsatzzeichen kennzeichnen. Das Meter wird entsprechend in Zehnerschritten weiter unterteilt:

1 Dekameter	= 10^1 m	[dam]	1 Dezimeter	= 10^{-1} m	[dm],
1 Hektometer	= 10^2 m	[hm]	1 Zentimeter	= 10^{-2} m	[cm],
1 Kilometer	= 10^3 m	[km]	1 Millimeter	= 10^{-3} m	[mm].

Flächenmaße entstehen aus Längenmaßen durch Quadrierung und aus der Basiseinheit der Länge wird die Einheit für die Fläche abgeleitet, der Quadratmeter mit der Bezeichnung m^2 . Aus ihr folgt mit den obigen Vorsatzzeichen:

1 Ar	= 10^2 m ²	[a]	1 Quadratdezimeter	= 10^{-2} m ²	[dm ²],
1 Hektar	= 10^4 m ²	[ha]	1 Quadratzentimeter	= 10^{-4} m ²	[cm ²],
1 Quadratkilometer	= 10^6 m ²	[km ²]	1 Quadratmillimeter	= 10^{-6} m ²	[mm ²].

Volumenmaße erhält man durch die Dreierpotenz des Längenmaßes. Grundeinheit ist hier das Kubikmeter m^3 , welches das Volumen eines Würfels mit einem Meter Kantenlänge angibt.

Zahlenbeispiel 1.1:

Unter der Flächeneinheit „Morgen“ verstand man in Deutschland bis zum Beginn des 19. Jh. eine Fläche, die ein Bauer mit einem Gespann an einem Vormittag bearbeiten konnte. In Preußen war ein Morgen etwa 0,2553 ha groß. Rechnen Sie eine Katasterfläche von 121 Morgen in die heute üblichen Quadratkilometer und Quadratmeter um.

Lösung: $F = 121 \cdot 0,2553 \text{ ha} = 30,8913 \text{ ha} = 0,309 \text{ km}^2 = 308\,913 \text{ m}^2$

Winkleinheiten

Neben den Längenmaßen sind für das Vermessungswesen die Winkelmaße von besonderer Bedeutung. Als Winkelmaßeinheiten sind der Radiant, das Gon und der Grad (Abbildung 1.4) zulässig.

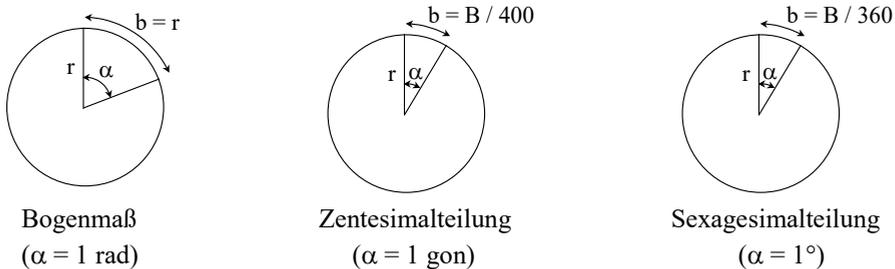


Abbildung 1.4: Winkelmaßeinheiten

Aus der SI-Basiseinheit des Meters kann der *Radian* (*Bogenmaß*) abgeleitet werden. Das Bogenmaß ist das Verhältnis des Bogens b , den die Schenkel eines Winkels α aus einem um seinen Scheitelpunkt geschlagenen Kreis ausschneiden, zu dem Kreishalbmesser r . Die Einheit des Bogenmaßes ist der Winkel, für den dieses Verhältnis gleich 1 ist. Ein voller Kreis entspricht dem Winkel von $2\pi \text{ rad}$.

Definition 1.3: Ein Radian (rad) ist gleich dem ebenen Winkel, der als Zentralwinkel eines Kreises vom Radius 1 m aus dem Kreis einen Bogen der Länge 1 m ausschneidet.

Für die Messtechnik ist das Radiantsystem wenig geeignet, da eine gleichmäßige Unterteilung eines Vollkreises in den Ganzzahlen nicht möglich ist. Das *Gon-System* beruht dagegen auf einer zentesimalen Aufteilung des Kreises und wird deswegen im Vermessungswesen standardmäßig verwendet. Der Zentralwinkel von einem Gon entspricht dabei dem 400. Teil des Kreises. Weitere abgeleitete Einheiten des ebenen Winkels sind:

Zentigon	1 cgon	[0,01 gon],
Milligon	1 mgon	[0,001 gon].