

12.1 Grundlagen der Grabungsvermessung

Einleitung

Archäologische Vermessung nimmt sich im wesentlichen zweier Gebiete der Bodendenkmalpflege an. Da ist einmal die topografische Aufnahme obertägig sichtbarer Bodendenkmäler. Sie ist besonders deshalb von großem dokumentarischem Wert, weil der zum Zeitpunkt der Vermessung angetroffene Zustand eines Bodendenkmals erfasst wird. Wir gehen davon aus, dass durch äußere Einflüsse wie Erosion oder Baumaßnahmen der Erhaltungszustand eines Denkmals nur schlechter – niemals besser – werden kann. Daher stellt uns die Vermessung und der daraus resultierende topografische Plan eine Bestandsaufnahme mit der Bedeutung einer Urkunde zur Verfügung. Dieses Dokument wird nicht nur bei Restaurierungs- oder Rekonstruktionsmaßnahmen als Grundlage dienen, sondern auch als wichtiges Beweismittel bei Rechtsstreitigkeiten, die sich nach Zerstörungen am Denkmalbestand ergeben können. Nicht zuletzt ist der topografische Plan ein wichtiges Hilfsmittel der Forschung.

Allein diese Aspekte machen deutlich, mit welcher Sorgfalt und Sachkenntnis bei der Durchführung topografischer Aufnahmen von archäologischen Denkmälern vorzugehen ist.

Als zweiter großer Bereich archäologischer Vermessungstätigkeit sind die Ausgrabungen zu nennen. Hier gilt eines unumstößlich: Mit der Ergrabung ist in gewisser Weise immer auch die Zerstörung eines Befundes verbunden. Deshalb muss es oberstes Ziel des verantwortungsbewussten Grabungsleiters sein, neben der fachgerechten Bergung der Funde für eine ebenso fachgerechte Dokumentation der Fundumstände – also der Befunde – zu sorgen. So wie bei fortschreitender Ausgrabung eine fotografische Aufnahme nicht zu wiederholen ist, so wenig ist es möglich, ein vergessenes oder falsch gemessenes Maß nachzumessen oder zu kontrollieren, wenn der Ausgrabungsbetrieb zwischenzeitlich weitergegangen ist. Es muss sich im Verantwortungsbewusstsein der Grabungstechniker festsetzen, dass Versäumnisse dieser Art besonders verhängnisvoll sind; im schlimmsten Fall wird ein Grabungsbefund als Totalverlust abzuschreiben sein.

Ziel der Grabungsvermessung ist deshalb die unzweideutige Dokumentation des Grabungsbefundes nach Lage und Höhe. Jeder Punkt, der im Rahmen einer archäologischen Ausgrabung dokumentiert worden ist, muss bezüglich seiner räumlichen Lage rekonstruierbar sein. Diese Anforderung kann nur dann als erfüllt gelten, wenn sowohl bei der Lagevermessung als auch bei der Höhenbestimmung die amtlichen Bezugssysteme zugrundegelegt wurden. Konkret gesagt: Alle Punkte der Ausgrabung sind im Gauß-Krüger-Koordinatensystem einzuhängen und höhenmäßig auf Normal Null (NN) zu beziehen. Notlösungen bei eiliger Befundaufnahme (wie der Höhenbezug des Befundes auf eine Treppenstufe), sind

nur als Zwischenlösungen zu betrachten, und eine korrekte Vermessung ist zwingend und baldmöglichst nachzuholen.

Es ist nicht Absicht der Autoren, im Rahmen dieses Handbuchs ein Lehrbuch der Vermessungstechnik vorzulegen. Da im wesentlichen der handwerkliche Teil der Vermessungstechnik vermittelt werden soll, sind beispielsweise alle vermessungstechnischen Berechnungen ausgeklammert worden. Zwecks Einstieg in das vermessungstechnische Rechnen sei daher das Studium der verschiedenen Fachlehrbücher empfohlen. Eine Auswahl enthält das Literaturverzeichnis.

12.1.1 Allgemeine Grundlagen

Fehlerquellen

Das Erreichen der erforderlichen Genauigkeiten in der archäologischen Vermessung setzt gründliche Kenntnisse der Fehlerquellen und der Fehlerakzeptanz voraus. Diese Anforderung wird oftmals grob unterschätzt, denn nur derjenige wird Fehlerquellen ausschließen können, der ihre Ursachen und Auswirkungen kennt. Ein simples Beispiel mag das veranschaulichen: Was nützt das Ablesen auf einem Messband im Millimeterbereich, wenn man nicht sicher sein kann, dass es am Anfang der Messstrecke mit dem Nullpunkt angelegt wurde. Da es Messbänder gibt, die am Anfang mit einem Vorsatzstück von 10 cm ausgestattet sind, würde in einem solchen Fall die Millimeterablesung zwar richtig sein, der Messfehler aber glatte 10 cm betragen. In diesem Fall hätte mangelnde Kenntnis der Messgeräteausstattung zu einem Fehler geführt, der im Nachhinein kaum festzustellen und zu korrigieren ist. Der Grundsatz „so genau wie nötig, aber nicht so genau wie möglich“ wäre in diesem Fall grob verletzt worden, da der Fehler eindeutig vermeidbar war.

Man unterscheidet im Vermessungswesen grobe Fehler sowie systematische und zufällige Abweichungen. Das hat seinen Grund darin, dass systematische Abweichungen nach mathematischen Gesetzen stets in demselben Sinne, also mit demselben Vorzeichen wirken und durch geeignete Mess- und Rechenmethoden auszuschalten sind, während zufällige Abweichungen im Bereich der Messgenauigkeit liegen, den Messwert in Größe und Vorzeichen unregelmäßig verfälschen und prinzipiell unvermeidbar sind. Der als Beispiel angeführte Fall des nicht berücksichtigten Vorsatzes an Messbandanfang würde sich bei längeren Strecken mit jeder Messbandlage auswirken, er würde also regelmäßig auftreten und wäre damit konkret berechenbar. Auch wenn eine Messbandmessung von starkem Wind beeinflusst wird, also in diesem Fall die Auswirkungen nicht konkret greifbar sind, hat sich eine systematische Abweichung in die Messung eingeschlichen.

Grobe Fehler hingegen sind falsche Messungen wie eine fehlerhafte Ablesung am Messband im Meterbereich, die durch Kontrollmessungen festzustellen und zu eliminieren sind.

Die Beispiele zeigen, wie schwierig es ist, die tatsächliche Abweichung in einer Messung zu ermitteln. Allerdings kann gelten: Wichtiger als die Kenntnis von der wahren Größe eines Fehlers ist die Kenntnis von den Fehlerquellen überhaupt. Wer die Auswirkungen verschiedener Fehlerquellen auf die Messergebnisse kennt, wird schon ein Gutteil des für eine methodisch einwandfreie Vermessung erforderlichen Sachverständnisses mitbringen. Wer also beispielsweise bei einer Streckenmessung erkannt hat, ob eine mögliche Abweichung im Messergebnis zu einer längeren Strecke gegenüber der wahren Strecke führen würde oder zu einer kürzeren, wird am ehesten mit akzeptablen Messergebnissen aufwarten können. Die wichtigsten Fehlerquellen sind in den Kapiteln Längenmessung, Winkelmessung und Höhenmessung angeführt.

12.1.2 Koordinatensysteme

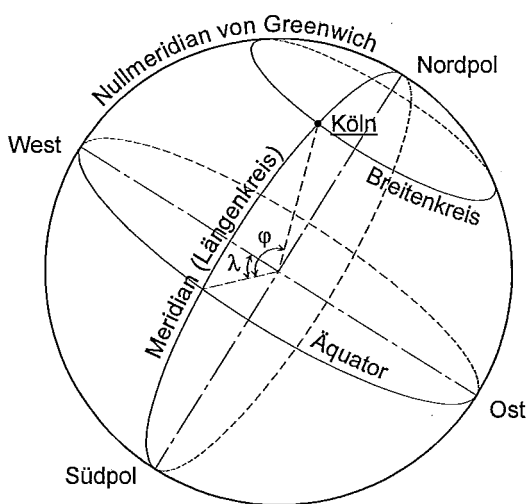
Ein mathematisches rechtwinkliges Koordinatensystem besteht aus einem Achsenkreuz, bei dem die y-Achse von unten nach oben zeigt, die x-Achse von links nach rechts. Im Gegensatz dazu sind in einem geodätischen Koordinatensystem diese beiden Achsen vertauscht: die y-Achse verläuft von links nach rechts, die x-Achse von unten nach oben. In beiden Systemen ist die dritte Dimension durch die z-Achse dargestellt, womit die Höhe eines Punktes über dem xy-System gemeint ist.

Ein solches einfaches Koordinatensystem wird vor dem Beginn einer jeden Ausgrabung in Form eines Grabungsnetzes festgelegt. Im Normalfall rahmen die Seiten

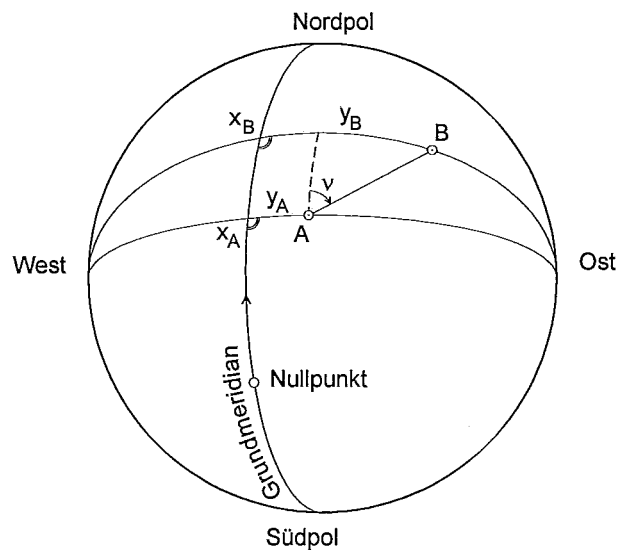
des Koordinatensystems die Ausgrabungsfläche ein, und die Einzelbefunde können auf diese Seiten eingemessen werden. Damit erhält man ein in sich stimmiges Abbild der Ausgrabung: jeder Punkt der Ausgrabung hat in diesem System seinen festen Platz und der Befund ist in Zeichnungen und Beschreibungen darstellbar. Allerdings schwebt diese Grabung – bildlich gesprochen – im freien Raum, denn es besteht keinerlei Bezug zu übergeordneten Systemen: der Befund ist zwar als solcher gesichert, er ist aber weder älteren Befunden aus seiner Nachbarschaft zuzuordnen noch können spätere Befunde mit ihm in Zusammenhang gebracht werden.

Deshalb besteht die Verpflichtung, jeden Grabungsbefund in ein übergeordnetes, möglichst amtliches Koordinatensystem einzuhängen. Diese Anforderung wird mit Einführung neuer Vermessungstechniken wie satellitengestützte Messverfahren (GPS) immer leichter zu erfüllen sein und deshalb auch selbstverständlicher werden. Bis zu einer allgemeinen Ausstattung der Grabungstechniker mit den entsprechenden Instrumenten muss man die Koordinatenbestimmung allerdings mit den herkömmlichen Mitteln bewerkstelligen.

Die räumliche Zuordnung von Punkten auf der Erdoberfläche erfolgt durch die Festlegung ihrer Koordinaten. Das ist schwierig, da die Erde keine regelmäßige Figur ist. Vereinfacht ausgedrückt handelt es sich bei ihr um eine an den Polen abgeplattete Kugel. Eine Aufgabe der Landesvermessung besteht darin, diese Erdkugel oder Teile davon auf einer ebenen Fläche abzubilden. Die Übertragung der gewölbten Fläche in der Natur auf die Bildebene einer Karte oder eines Planes nennt man Projektion, und es hängt von den Anforderungen des späteren Karten- oder Planbenutzers ab, welche Art der Projektion der Übertragung zugrundegelegt werden muss. Je nach Nutzung der Karten und Pläne soll die Abbildung der Erdoberfläche flächentreu, streckentreu, winkeltreu



1 Das geografische Koordinatensystem



2 Soldner-Koordinatensystem

oder mehreres davon sein. Das liegt ganz einfach daran, dass z. B. ein Archäologe eher an einer flächentreuen Kartenabbildung interessiert ist als der Seemann, der nach einem aus der Karte abgegriffenen Winkel seinen Kurs bestimmt.

12.1.2.1. Das geografische Koordinatensystem

Allen Projektionen liegt auf irgendeine Weise das geografische Koordinatensystem zugrunde. Es ist historisch, international und unmissverständlich. Mittels geografischer Koordinaten ist die Erdkugel aufgeteilt in Längen- und Breitenkreise (Abb. 1). Alle Längengrade (Meridiane) sind Großkreise und umspannen die Erde in Nord-Süd-Richtung, wobei sie sich in den beiden Polen schneiden. Die Zählung der Längengrade begann ehemals auf der Insel Ferro, dem bis zur Entdeckung der Neuen Welt westlichsten bekannten Punkt der Erde. Seit 1911 beginnt die Zählung der Längengrade auch international an einem fest markierten Punkt der Sternwarte von Greenwich (England) und zwar für die eine Hälfte der Erde in östlicher Richtung, für die andere in westlicher Richtung. Unter den Breitenkreisen handelt es sich nur beim Äquator um einen Großkreis. Alle anderen Breitenkreise verlaufen parallel zum Äquator und nehmen deshalb zu den Polen hin im Durchmesser stetig ab. Man zählt die Breitenkreise vom Äquator aus in nördlicher und in südlicher Richtung.

Das geografische Koordinatensystem spielt für die Grabungsvermessung nur insofern eine Rolle, als es eine theoretische oder mathematische Grundlage für die modernen Koordinatensysteme ist.

12.1.2.2. Das Soldner-System

In Deutschland ist im Vermessungswesen das Gauß-Krüger-Koordinatensystem weitgehend eingeführt. In manchen Gegenden ist die Umstellung noch nicht abgeschlossen, weshalb dort immer noch Soldner-Systeme gelten. Da die aus den Messergebnissen resultierenden Koordinaten aber von einem System in das andere umformbar sind, können Soldner-Systeme gleichermaßen benutzt werden. Die Verfahren der Vermessung sind in beiden Fällen gleich.

Bei den Soldner-Systemen handelt es sich um örtliche Koordinatensysteme (Abb. 2), für die man besonders prägnante Teile an Großbauten im Schnittpunkt des Achsenkreuzes als Nullpunkte ausgewählt hat (z. B. Kölner Dom, Dachreiter). In diesen Punkten schneiden sich die Achsen eines jeweiligen Systems, wobei die Hauptachse (x) von Süden nach Norden führt, während die y-Werte rechtwinklig auf dieser x-Achse aufgebaut sind. Von dieser Regel kann regional abgewichen werden.

Zwei entscheidende Nachteile bestehen dabei: Da der Mittelpunkt des Systems gleichzeitig sein Nullpunkt ist, ergeben sich für die vier Quadranten Koordinaten mit unterschiedlichen Vorzeichen. Besonders nachteilig ist aber

die Begrenzung der in jedem System auszunutzenden Fläche, was von der Erdkrümmung verursacht wird: Je weiter ein Punkt von der x-Achse entfernt liegt, um so größer werden die durch die Erdkrümmung verursachten, in Nord-Süd-Richtung wirkenden Streckenverzerrungen. Wegen dieser räumlichen Einschränkung waren z. B. für das Gebiet Preussens ehemals 40 verschiedene Soldner-Systeme aufzubauen.

12.1.2.3 Das Gauß-Krüger-System

Das Gauß-Krüger-System hat diese Nachteile nicht. Durch den Bezug auf das geografische Koordinatennetz ist es zudem auf der ganzen Erde anwendbar. Da auch hierbei gilt, dass von der x-Achse zu weit entfernt liegende Punkte von der Erdkrümmung beeinflusst sind, hat man rund um den Erdball schmale Streifen gelegt, die sich an den geografischen Längengraden orientieren (Abb. 3). Diese Streifen sind 3° breit und benutzen als Mittelachse die durch 3 teilbaren geografischen Längengrade (3°, 6°, 9° ... östlicher Länge). Um zu erkennen, in welchem dieser Streifen auf dem Erdenrund man sich befindet, hat man sie von 0° bei Greenwich ausgehend in östlicher Richtung durchnummeriert: Die erste Ziffer eines jeden Rechtswertes gibt danach an, welcher Längengrad den Mittelmeridian des jeweiligen Systems darstellt. Oder anders, die Gradzahl des Mittelmeridians geteilt durch drei ist die Kennziffer des jeweiligen Systems. Im Unterschied zu Soldner-Koordinaten (y, x) werden die Gauß-Krüger-Koordinaten mit R (= Rechtswert) und H (= Hochwert) bezeichnet.

Von den Mittelmeridianen aus sind jeweils Bereiche von 1,5° nach Westen und Osten abgedeckt. Damit sich nun für westlich des Mittelmeridians liegende Punkte keine negativen Werte ergeben – ein Nachteil der oben beschriebenen Soldner-Koordinaten – hat man den auf dieser Linie liegenden Punkten Ausgangswerte von $R = 500\,000$ m gegeben. Alle westlich des Mittelmeridians liegenden Punkte haben also Werte darunter, die östlichen haben Werte darüber. Der Wert unter oder über 500 000 m entspricht genau dem rechtwinklig gemessenen Abstand des Punktes vom Mittelmeridian und bildet zusammen mit der oben erwähnten Kennziffer den Koordinatenwert im y-Bereich:

Beispiel 1: $R = 25\,15\,512,17$

Ein Punkt mit diesem y-Wert liegt 15 512,17 m östlich des Mittelmeridians im 6°-Streifen des Gauß-Krüger-Systems.

Beispiel 2: $R = 34\,98\,284,63$

Ein Punkt mit diesem y-Wert liegt 1 715,37 m westlich des Mittelmeridians im 9°-Streifen des Gauß-Krüger-Systems.

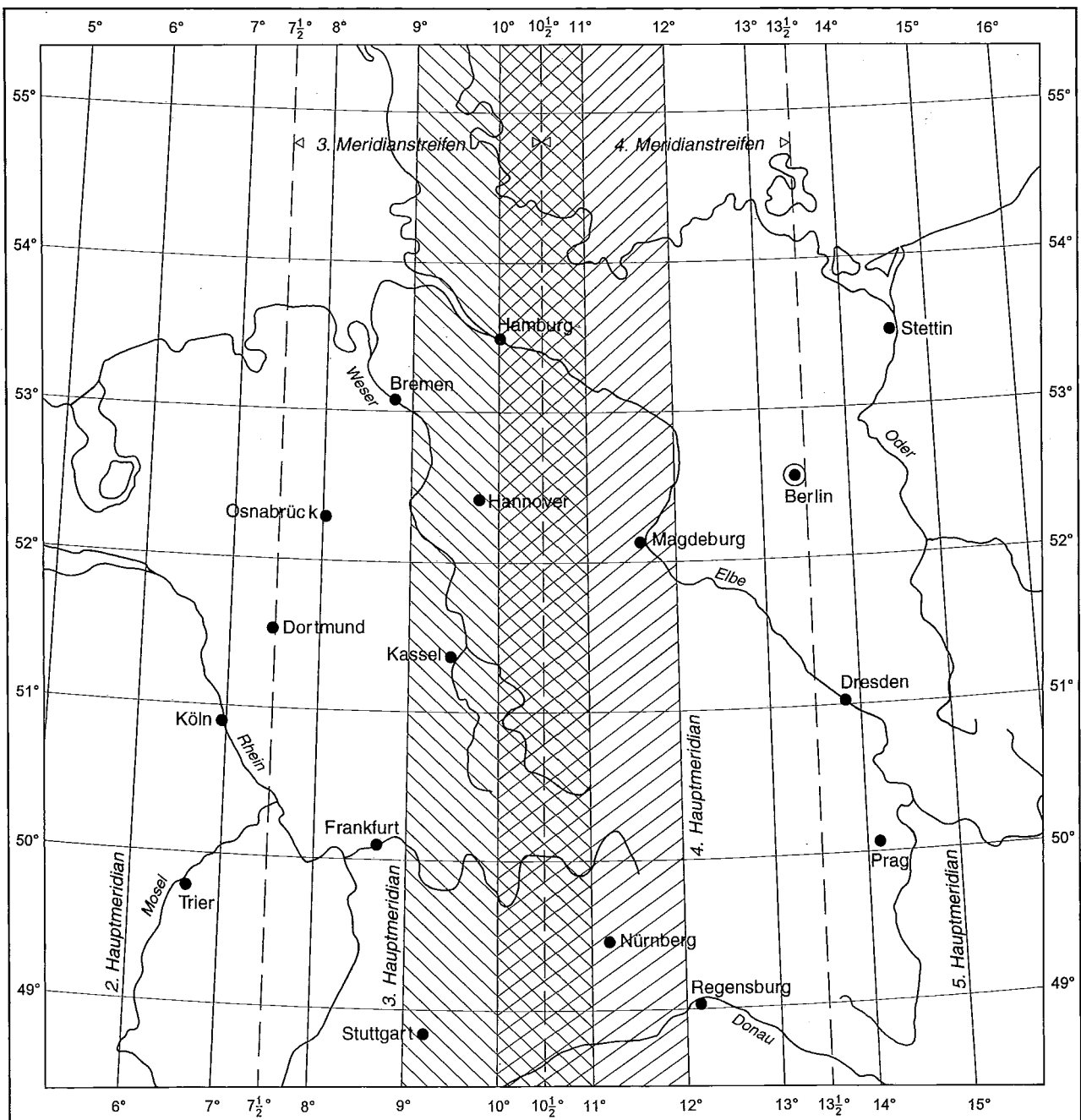
Die Festlegung der Koordinaten bezüglich ihres Hochwertes ist etwas einfacher, denn der Wert gibt den Abstand eines Punktes zum Äquator an seinem auf dem Mittelmeridian gemessenen Lotfußpunkt wieder.

Beispiel 3 $H = 55\,854\,23,65$
 Der Lotfußpunkt eines Punktes mit diesem x-Wert liegt $5585,42365$ km nördlich des Äquators. Aus praktischen Gründen hat man bei diesen Werten auf eine Kennzeichnung, ob es sich um einen Punkt auf der nördlichen oder der südlichen Erdhalbkugel handelt, verzichtet. Bleibt die dritte Dimension. Erst mit der Festlegung der Höhe eines Befundpunktes ist die vermessungstechnische Dokumentation vollständig. Während die R- und H-Werte eines Punktes per Lagevermessung in einem Messvorgang bestimmt werden, ist für die Höhenbestimmung häufig ein getrennter Messvorgang (in der Regel ein Nivellement) nötig. Eine Ausnahme ist in dieser Hinsicht die Hö-

henbestimmung im Rahmen einer tachymetrischen Einmessung oder mittels GPS-Verfahren. Das Nivellement ist die gebräuchlichste Methode der Höhenvermessung und unter den Vermessungsmethoden (siehe 13.4 und 14.1.6) eingehend beschrieben.

12.1.3 Festpunkte für die Lage- und Höhenvermessung

Die Bezugspunkte für das Einhängen von Grabungsvermessungen in amtliche Systeme sind über das ganze Land verteilt zu finden; sie sind von den zuständigen Ver-



3 Gauß-Krüger-Koordinatensystem

messungsbehörden festgelegt worden und in dicht besiedelten Gegenden in größerer Anzahl anzutreffen, als auf dem Land. Diese Punkte sind nach Lage (TP = Trigonometrische Punkte; AP = Aufnahmepunkte; PP = Polygonpunkte; KFP = Katasterfestpunkte u.ä.), nach Höhe (Höhenfestpunkte) oder nach Lage und Höhe bestimmt worden. In vielen Bundesländern ist das numerische Koordinatenkataster weitgehend eingeführt. Dadurch sind die meisten Grenzpunkte (Grenzsteine) koordiniert; sie zählen zwar nicht zu den Festpunkten, können aber in Ermangelung von Festpunkten gleichwohl für Anschlussmessungen herangezogen werden, wenn ihr richtiger Standort überprüft worden ist.

Die Einmessungsskizzen, um die Punkte im Gelände überhaupt finden zu können, sind bei den zuständigen Vermessungsbehörden (Landesvermessungsämter, Katasterämter, Vermessungsämter) erhältlich. Dort sind auch die Koordinaten der Lagefestpunkte und die Höhen für die Höhenfestpunkte erhältlich.

Die Bezugsfläche für eine Höhenangabe ist eine gedachte, die ganze Erde umspannende Fläche; in den alten Bundesländern NN (Normal-Null), in den neuen Bundesländern HN (Höhen-Null) benannt. Sie entspricht der Meeresoberfläche, welche man sich auf einem mittleren Meeresniveau in Höhe des Amsterdamer Pegels unter den Kontinenten fortgesetzt denkt. Der von ihr umschlossene Körper wird als Geoid bezeichnet. Um die Bezugsfläche für die vermessungstechnische Praxis benutzen zu können, wurden – von einem an der Sternwarte in Potsdam bestimmten nationalen Bezugspunkt aus – über das ganze Land Höhenfestpunkte verteilt. Ihre jeweiligen Höhenangaben bedeuten den senkrechten Abstand zur Bezugsfläche. Ein Punkt mit der Angabe 55,674 m ü. NN liegt also um diesen Wert höher als diese Fläche.

Höhenfestpunkte sind zumeist in Form von Eisen- oder Aluminiumbolzen in den Mauern fester Gebäude (Kirchen, Verwaltungsgebäude o.ä.) vermark. Seltener findet man Höhensteine, die einen eingelassenen Bolzen aufweisen. Lagefestpunkte gibt es als Steine im Wald, auf Wiesen oder am Ackerrand, als Eisenbolzen oder -rohre im Asphalt, unterirdisch gesetzte Tonrohre, eingemeißelte Kreuze in Bordsteinen oder ähnliches.

Bevor eine Grabungsvermessung an einen der amtlichen Festpunkte angeschlossen wird, ist natürlich zu prüfen, ob es sich bei diesem Punkt zweifelsfrei um den nach den Vermessungsunterlagen zu vermutenden Punkt handelt. Schon der erste Eindruck wird etwas über die Seriosität der angetroffenen Punktvermarkung aussagen: Ein schiefstehender TP oder ein eingemeißeltes Kreuz in einer nach einem Kanalbau neuverlegten Gehwegplatte sind von vornherein einer besonderen Prüfung zu unterziehen.

Da der Schein auch bei einwandfreiem Zustand der Vermarkung oftmals trügt, gehört die Kontrollmessung zum unverzichtbaren Bestandteil einer jeden Anschlussmessung. Man kontrolliert durch einen Vergleich mit der Beschreibung (bei einer Kirchturmspitze als TP auch durch einen Vergleich mit der Abbildung) in den Vermessungsunterlagen sowie durch Kontrollmessungen mit den in den Unterlagen ausgewiesenen Sicherungsmaßen. Erst wenn man absolut von der Richtigkeit des Anschlusspunktes überzeugt ist, kann man ihn für die Grabungsvermessung benutzen.

Dr. Klaus Grewe
Rheinisches Amt für Bodendenkmalpflege
Endenicher Straße 133
53 115 Bonn