

14.2 Einmessung der Grabungsmesssysteme in übergeordnete Netze

Die Grundforderung, dass ausgegrabene Befunde eindeutig und absolut im Raum festzulegen sind, sie also rekonstruierbar sein müssen, erzwingt die Einmessung in übergeordnete Netze der Landesvermessung (Landeskoordinatensysteme und Landeshöhennetz). Sofern die Einmessungen in diese Systeme nicht vom Grabungsteam selbst gemacht werden können, kommen dafür in Frage:

- Vermessungsämter oder andere Vermessungsstellen
- Vermessungsbüros
- Vermessungsleute des Amtes.

In allen Fällen ist die Einmessung rechtzeitig zu veranlassen, denn vor den eigentlichen Vermessungsarbeiten müssen Vorarbeiten geleistet werden:

- Einsicht in die Katasterunterlagen der Vermessungsämter (Koordinaten von Lage- und Höhenfestpunkten, Pläne, Einmessungsskizzen usw.)

- Besichtigung des Geländes.

Möglicherweise müssen auch Angebote verschiedener Stellen eingeholt werden. Je nach Ländergesetzen kann für die Einsichtnahme in die Katasterunterlagen der Nachweis der fachlichen Befähigung verlangt werden oder eine Ausnahmegenehmigung erforderlich sein.

14.2.1 Die lagemäßige Einmessung

Die Einmessung eines Grabungsrasters oder einer Grabungsgrundlinie erfolgt sofort nach Absteckung von Raster oder Grundlinie. Ist dies nicht möglich, so ist sie baldmöglichst nachzuholen. Diese Forderung entfällt bei direkter Absteckung des Landessystems in die Örtlichkeit. Nicht zu empfehlen ist die Einmessung am Ende der Grabungskampagne, denn dann ist das Raster system oft nicht mehr in bestem Zustand, viele Punkte sind bereits beseitigt oder verlorengegangen, und die Lage der zufällig übriggebliebenen ist oft, weil vielleicht einseitig am Rande des Rasters liegend, nicht ideal. Optimal – und deswegen unbedingt anzustreben – ist die Einmessung der äußeren Eckpunkte des Rasters bzw. des Anfangs- und Endpunktes der Grundlinie.

Zum Einbinden von Rastern und Grundlinien stehen eine Reihe von Vermessungsverfahren zur Verfügung, die oftmals auch kombiniert angewandt werden können:

14.2.1.1 Rechtwinkelverfahren (Orthogonalverfahren)

Die Rastereckpunkte oder Anfangs- und Endpunkt einer Grundlinie werden auf die Verbindungslinie zweier amtlicher Festpunkte aufgewinkelt.

Zu messen sind (Abb. 13.1):

- die Lotfußpunkte entlang der Basislinie (100 – 101), die Länge der Lote und die Kontrollmaße
- die Länge der Basislinie ist mit dem im Katasterriss ein-

getragenen Vorgangsmaß (Soll-Maß) zu vergleichen. Differenzen sind auszugleichen (vergl. 14.1.4).

Das Aufwinkeln geschieht üblicherweise mit dem Winkelprisma, weswegen die Lote nicht zu lang sein dürfen (maximal ca. 30 m). Der Theodolit ist für diese Arbeit ungeeignet. Auf manchen Grabungen sind Kreuzscheiben vorhanden, die dafür zweckmäßig sind.

14.2.1.2 Einbindeverfahren

Die Grundlinie bzw. je zwei parallel zueinander verlaufenden Seiten eines Rasters werden verlängert und beidseitig mit gegebenen Vermessungslinien der amtlichen Vermessung zum Schnitt gebracht.

Zu messen sind (Abb. 13.2):

- die Schnittpunkte der Einbindelinien mit den Vermessungslinien (100 – 101 bzw. 203 – 204) und die Endmaße. Letztere sind wiederum mit den im Katasterriss eingetragenen Vorgangsmaßen zu vergleichen, Differenzen sind gegebenenfalls einzuteilen.

- Strecken von Rastereckpunkten bzw. Anfangs- und Endpunkten der Grundlinie bis zur Vermessungslinie

- Kontrollstrecken.

Bei diesem Verfahren müssen nur Strecken gemessen werden. Rechtwinkelgeräte oder ein Theodolit sind nicht erforderlich. Zur Ermittlung der Schnittpunkte sind drei Personen erforderlich: Die erste weist in die Linie ein, die zweite verlängert und die dritte lässt sich mit dem Fluchstab einweisen. Bei einiger Übung können die Aufgaben der zweiten und dritten auch von einer einzigen Person übernommen werden.

14.2.1.3 Polarverfahren

Von einem Standpunkt aus, einem amtlichen Vermessungspunkt oder einem neu bestimmten Festpunkt, werden die aufzunehmenden Rastereckpunkte oder Anfangs- und Endpunkt der Grundlinie durch Winkel- und Streckenmessung aufgenommen. Zwei weitere Festpunkte werden als Anschlusspunkte benötigt, wobei der erste Punkt als Bezugspunkt für die Winkelmessung, der zweite zur Kontrolle dient.

Zu messen sind (Abb. 13.3):

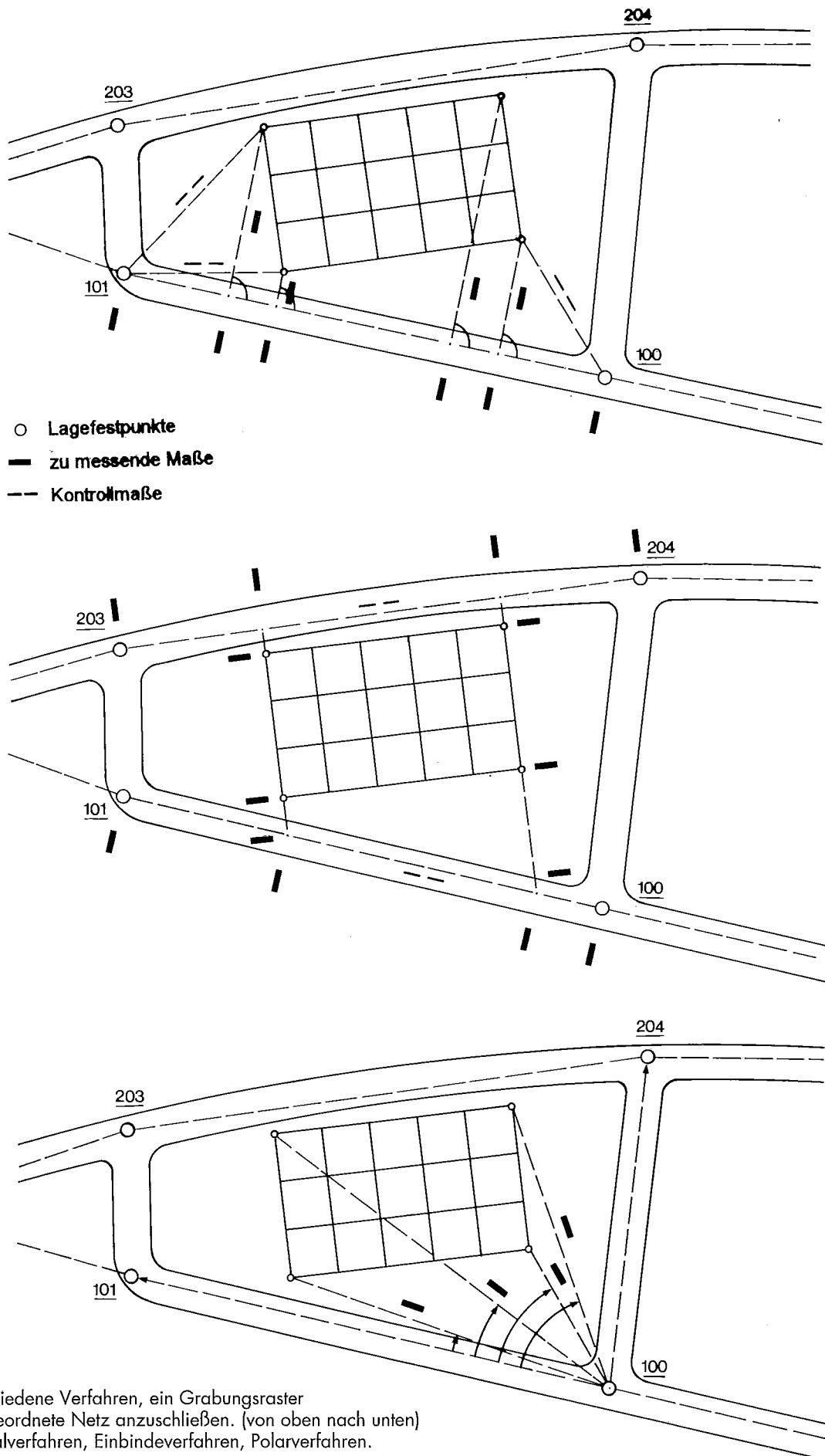
- Richtungen und Strecken zu Anschluss- und Kontrollpunkt (100 bzw. 204)

- Richtungen und Strecken zu den aufzunehmenden Punkten

- Kontrollen durch Zweitaufnahme von einem anderen Festpunkt aus, z. B. vom Anschlusspunkt oder Kontrollpunkt. Vergleich der aus Erst- und Zweitaufnahme berechneten Koordinaten.

14.2.1.4 Dreiecksverfahren (Einkreuzen)

Die einzumessenden Punkte werden von zwei Festpunkten aus durch reine Streckenmessung (Horizontalstrecken) bestimmt. Die Koordinaten des Neupunktes werden durch rechnerische Schnittbildung zweier Kreise ermittelt.



13 Verschiedene Verfahren, ein Grabungsraster ans übergeordnete Netz anzuschließen. (von oben nach unten) Orthogonalverfahren, Einbindeverfahren, Polarverfahren.

Aus Genauigkeitsgründen dürfen die Strecken weder unter zu spitzem noch unter zu stumpfem Winkel aufeinandertreffen.

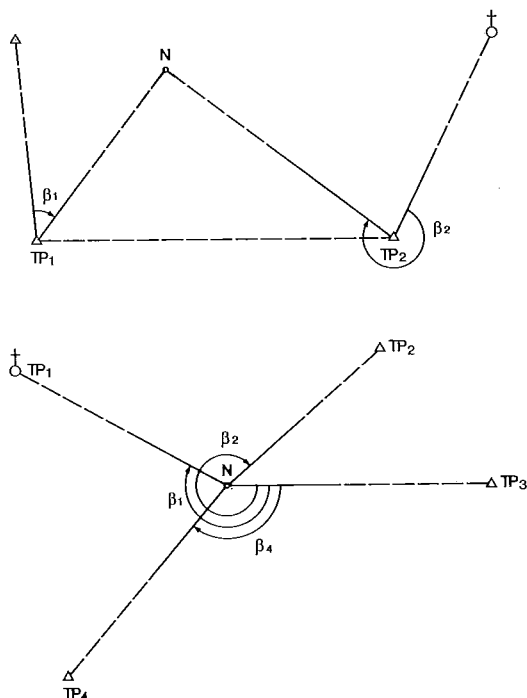
Das Einkreuzverfahren kommt nur in Ausnahmefällen, bei optimal liegenden Festpunkten, zur Anwendung. Sehr geeignet ist es hingegen bei der Einmessung von Befunden mit einfachen Hilfsmitteln (siehe Kap. 14.4).

14.2.1.5 Vorwärts- und Rückwärtseinschneiden

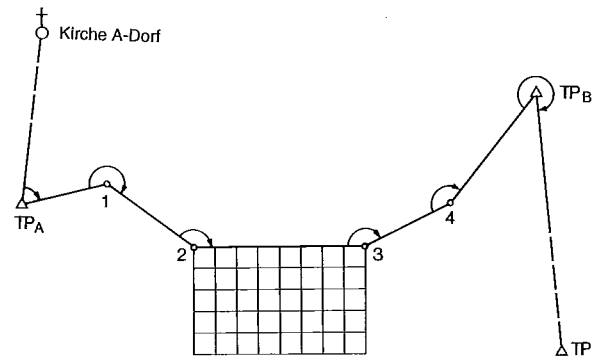
Beim Vorwärtseinschneiden werden die aufzunehmenden Punkte von mindestens zwei koordinierten Festpunkten aus durch Richtungsmessung bestimmt (Abb. 14.1) und ihre Koordinaten berechnet. Seit mit elektronischen Tachymetern auf einfache Weise Streckenmessungen durchgeführt werden können, hat dieses Verfahren seine Bedeutung verloren. Bestenfalls zur Aufnahme unzugänglicher Punkte wird es, falls keine reflektorlose Messung möglich ist, noch angewandt.

Beim Rückwärtseinschneiden (Abb. 14.2) steht der Theodolit auf dem Neupunkt. Mindestens drei koordinierte Festpunkte, die etwa gleichmäßig über den Horizont verteilt sein sollten und nicht zugänglich sein müssen, werden angezielt und ihre Richtungen gemessen. Wie beim Vorwärtseinschneiden handelt es sich um eine reine Winkelmessung. Auch dieses Verfahren hat seine Bedeutung verloren.

In beiden Fällen sind gute Ergebnisse nur bei hoher Winkelmessgenauigkeit zu erzielen. Ohne Rechenprogramm ist die Koordinatenberechnung nicht einfach.



14 Bestimmung von Neupunkten durch Vorwärtseinschnitt (1) und Rückwärtseinschnitt (2). Der Neupunkt kann z. B. ein Eckpunkt eines Grabungsrasters sein oder ein Aufnahme- punkt in der Nähe des Rasters, von dem aus dieses polar aufgenommen werden soll.



15 Bestimmung der Neupunkte 2 und 3 (Rastereckpunkte) durch polygonometrische Messung.

14.2.1.6 Freie Stationierung

Die freie Stationierung ist eine Methode, die erst durch die Einführung von elektronischen Tachymetern und programmierbaren Rechnern in der Vermessungspraxis Bedeutung erlangt hat. Die Bestimmung eines Neupunktes geschieht durch Messung auf dem Neupunkt nach mindestens drei koordinatenmäßig bekannten Punkten.

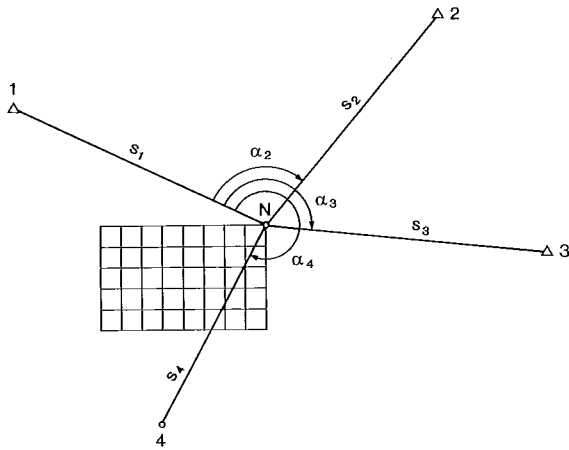
Gemessen werden Richtungen und Strecken zu den einzelnen Festpunkten (Abb. 15). Die Koordinatenberechnung erfolgt mit entsprechendem Programm auf einem Taschenrechner oder im Instrument bzw. mit Feldrechner. Von einem frei stationierten Punkt aus werden im allgemeinen die Rastereckpunkte oder die Grundlinie eingemessen. Es können natürlich auch einer oder mehrere dieser Punkte selbst durch freie Stationierung bestimmt werden.

14.2.1.7 Polygonierung

Die Polygonierung ist das zum Einmessen von Grabungsmesssystemen am meisten verbreitete und anpassungsfähigste Verfahren (Abb. 16). Zwischen zwei gegebenen Festpunkten, z. B. den Trigonometrischen Punkten TP_A und TP_B, werden Neupunkte eingeschaltet, z. B. Rastereckpunkte (Punkt 2 und 3) bzw. Anfangs- und Endpunkte von Grundlinien, und durch einen gebrochenen Linienzug (Polygonzug) verbunden. Der Linienzug sollte möglichst gestreckt verlaufen.

Die Bestimmung der Neupunkte erfolgt durch Winkel- und Streckenmessung:

Vom koordinierten Vermessungspunkt (TP_A) wird mindestens ein ebenfalls koordinierter Punkt (Kirchturm von A-Dorf) angezielt und der Brechungswinkel zu Neupunkt 1 sowie die Strecke TP_A nach 1 gemessen. Grundsätzlich werden die Strecken hin und zurück gemessen. Bei Verwendung von elektronischen Tachymetern, die intern Instrumental- und Stehachsenfehler kompensieren, kann auf die sonst zwingend vorgeschriebene Messung der Richtungen in zwei Lagen evtl. verzichtet werden. Auf Punkt 1 werden der Brechungswinkel TP_A-1-2 und die Strecken 1-TP_A und 1-2 gemessen. Auf Punkt 2 und den folgenden, bis zum Endpunkt TP_B, werden die entsprechenden



16 Bestimmung eines Neupunktes N durch freie Stationierung.

Messungen vorgenommen. Auf TP_B wird als Abschlusswinkel $4-TP_B-TP$ gemessen. Die Polygonzugberechnung wird entweder mit einem Vermessungsprogramm oder durch fortgesetztes polares Anhängen durchgeführt. Gegebenenfalls sind bei der Berechnung die Reduktion auf die Meereshöhe und die Gauß-Krüger-Reduktion zu berücksichtigen. Die ermittelten Koordinaten für den TP_B weichen in aller Regel von den vorgegebenen Koordinaten ab. Sofern die Differenzen innerhalb festgelegter Fehlergrenzen liegen, müssen sie sachgerecht auf die Neupunkte verteilt werden. Sind die Abschlussfehler zu groß, so ist die Messung unbrauchbar und muss wiederholt werden.

14.2.1.8 Satellitengestützte Vermessung (GPS)

Satellitengestützte Vermessungen sind die modernste Messmethode. Auf den neu zu bestimmenden Punkten wird ein Empfänger zentrisch aufgestellt. Gleichzeitig muss auf einem koordinatenmäßig bekannten Punkt ein zweiter Empfänger stationiert sein (Referenzstation). Durch Auswertung der gleichzeitig ausgeführten Messungen mit entsprechender Software erhält man die Koordinaten der Neupunkte.

Welche Art der Einmessung von Raster bzw. Grundlinie in Frage kommt, hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- von den örtlichen Verhältnissen (Vermessungspunkte in unmittelbarer Nähe, Sichtverhältnisse)
- von den zur Verfügung stehenden Messinstrumenten
- und, sofern die Einmessung vom Grabungspersonal vorgenommen wird:
- von den vermessungstechnischen Kenntnissen des Grabungstechnikers oder der Grabungstechnikerin.

14.2.2 Die höhenmäßige Einmessung

Die Höhe eines Höhenfestpunktes über NN sollte grundsätzlich vor Grabungsbeginn, bevor die ersten Nivellements anfallen, bestimmt sein. Man erspart sich da-

durch die nachträgliche Umrechnung zahlreicher Punkte. Die Höhen werden durch Streckennivellements (vgl. Kap. 13.4.1) von amtlichen Höhenfestpunkten oder in Ausnahmefällen von Trigonometrischen Punkten (TP) aus übertragen. Dabei ist zu beachten, dass TPs keine Höhenfestpunkte sind, ihre Oberflächen jedoch meist höhenmäßig, mit geringerer Genauigkeit als Höhenfestpunkte, bestimmt sind. Maximale Abweichungen bei unveränderten TP-Pfeilern betragen etwa 7 cm. Vorsicht ist angezeigt, wenn TPs in ihrer Lage offensichtlich verändert wurden. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob auch ihre Höhenangaben korrigiert wurden.

Beim Streckennivellement ist zu beachten:

- nicht an dem Punkt abschließen, an dem auch begonnen wurde (Anfangs- und Endpunkt sollen zwei verschiedene Höhenfestpunkte sein)
- ist dies nicht möglich, so ist durch Hin- und Rückmessung zu einem zweiten Höhenfestpunkt der Ausgangspunkt zu kontrollieren
- der Neupunkt (Grabungshöhenfestpunkt) darf nie als seitwärts gelegener Punkt (Zwischenblick) bestimmt werden, sondern nur als Wechsellpunkt in der Nivellements-schleife. Als seitwärts gelegener Punkt wäre er unkontrolliert.

Neben der gängigen Höhenübertragung mittels Nivellement gewinnt das trigonometrische Nivellement durch den Einsatz elektronischer Tachymeter zunehmend an Bedeutung. Gemessen werden Vertikalwinkel und Schrägstrecke, woraus der Höhenunterschied automatisch im Instrument ermittelt und angezeigt wird. Es gelten dieselben Grundsätze wie beim Nivellement (Prinzipische Skizze der trigonometrischen Höhenübertragung siehe Abb. 14 in Kap. 13). Bei direkten Höhenübertragungen über Distanzen, die größer als 200 m bis 250 m sind, müssen Erdkrümmung und Refraktion, letztere hervorgerufen durch unterschiedlich dichte Luftschichten, rechnerisch berücksichtigt werden. Oft werden diese Einflüsse instrumentenseitig, nach Eingabe verschiedener Konstanten (Höhe über NN, Luftdruck, Temperatur) berechnet und an den zu ermittelnden Höhenunterschieden angebracht.

Tip vom Praktiker:

Nivellements mit Zielungen über längere Distanzen nicht bei instabilen Luftschichtungen, d. h. nicht bei Luftflimmern durchführen.

Dipl.-Ing. Dieter Müller
Landesdenkmalamt Baden-Württemberg
Archäologische Denkmalpflege
Silberburgstraße 193
70 178 Stuttgart