

Alexandra Czarnecki
Technische Universität München

Verfahren und Instrumente zur Vermessung von Rauminstallationen – ein Überblick

Special study within the European Research Project
"Inside Installations. Preservation and Presentation of Installation Art" (2004-2007)

28 Seiten

Publiziert auf www.inside-installations.org

Mai 2007



inside
installations

DOERNER INSTITUT

Inhalt

1	Vorwort und Dank	3
2	Einleitung	3
3	Grundlagen	3
4	Messwerkzeuge, -instrumente und Hilfsmittel	4
4.1	Streckenmessung	4
4.1.1	Meterstäbe, Messstäbe, Messbänder	4
4.1.2	Elektronische Distanzmessung	5
4.2	Messung der Horizontalen	6
4.2.1	Wasserwaage	6
4.2.2	Schlauchwaage	6
4.2.3	Nivelliergerät	7
4.2.4	Rotationslaser	7
4.2.5	Theodolit	7
4.2.6	Tachymeter	8
4.2.7	3D-Laser-Scanner	9
4.3	Messung der Vertikalen	10
4.3.1	Lot	10
4.4	Winkelmessung	10
4.4.1	Winkelspiegel / Winkelprisma	10
4.4.2	Bussole	11
5	Methoden und instrumentelle Verfahren	11
5.1	Handaufmaß	11
5.1.1	Grundriss	12
5.1.2	Aufmaß	14
5.1.3	Vor- und Nachteile des Handaufmaßes	16
5.2	Tachymetrie	16
5.3	3D-Laser-Scanning	17
5.3.1	Klassifizierung der Scanner	18
5.3.2	Software für Laserscanner	20
5.3.3	Ablauf eines Projekts	20
5.3.4	Vor- und Nachteile des Laserscanning	21
5.4	Photogrammetrie	21
5.4.1	Klassifizierung der Auswertungsverfahren	22
5.4.2	Vor- und Nachteile der Photogrammetrie	22
5.5	Sphärische Kamera	23
5.6	Methoden aus der Grabungstechnik	23
5.6.1	Zeichenrahmen	23
5.6.2	Feldpantograph	24
5.6.3	Trigomat	24
6	Literatur	26
7	Abbildungsnachweis	28

1 Vorwort und Dank

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Veranstaltung „Interdisziplinäres Seminar“ des Lehrstuhls für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft, Technische Universität München, sowie im Rahmen des internationalen Projekts „Inside Installations. Preservation and Presentation of Installation Art“ erstellt. Sie wurde während des Interdisziplinären Seminars von Prof. Erwin Emmerling, Lehrstuhl für Restaurierung, und von Dipl.-Rest. Maike Grün, Doerner Institut München, betreut. In einem sechswöchigen Praktikum im Doerner Institut München, Partner des internationalen Projekts, wurde die Arbeit unter der Betreuung von Dipl.-Rest. Maike Grün vertieft.

Fragen, insbesondere zum Kapitel Handaufmaß und Tachymetrie, wurden von Dipl.-Ing. Clemens Vogts, Assistent des Lehrstuhls für Baugeschichte und Bauforschung, TU München, Dipl.-Ing. Peter Weller, Vermesser, sowie Dipl.-Ing. und Master of Arts Christian Nippert, Baubeauftragter im Doerner Institut München, beantwortet. Bei der Erstellung von Graphiken war mir Eric Schäfer behilflich. Der Teil „3D-Laser-Scanning“ wurde von Dipl.-Ing. Thomas Weber und Dipl.-Ing. Thomas Schäfer, Assistenten am Lehrstuhl für Geodäsie, TU München, betreut. Zum Trigomat-System durfte ich Dipl.-Ausgrabungsing. Tilman Andreas Wanke, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege Memmelsdorf, befragen. Bei allen Betreuern und Helfern möchte ich mich hiermit aufs herzlichste für die kompetente Hilfe und konstruktive Kritik bedanken.

2 Einleitung

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Installationen in der Pinakothek der Moderne vermessen. Zur Ausführung kamen u. a. die Verfahren Tachymetrie, Photogrammetrie und 3D-Laser-Scanning. Die Ergebnisse sind in dem Text „Measurement of Installation Art. Methods and experience gained at Pinakothek der Moderne“ von Maike Grün, ebenfalls auf www.inside-installations.org veröffentlicht, dokumentiert. Folgender Text entstand in dem Anliegen, eine theoretische Grundlage für die Vermessung von Rauminstallationen zu schaffen. Einzelne Verfahren und Instrumente werden einer näheren Betrachtung unterzogen, und es wird ein allgemeiner Überblick über die jeweilige Funktionsweise und Anwendung gegeben.

3 Grundlagen

Ziel der Vermessung von Rauminstallationen ist es, das Erscheinungsbild der Kunstwerke in ihren Dimensionen zu erfassen und in maßstäbliche Abbildungen, wie z. B. Pläne, umzusetzen. Es soll ein analoges Bild entstehen, in dem die Eigenschaften des Kunstwerkes im verkleinerten Maßstab wiedergegeben und konstruktive Zusammenhänge erschlossen werden. Das analoge Abbild beschränkt sich auf drei Abbildungsebenen; die horizontale Ebene in Grundrissen, die vertikale in Aufrissen und das konstruktive Gefüge in Schnitten. Digital können zusätzlich dreidimensionale Abbildungen erzeugt werden. Die Abbildungen dienen als Dokumentationsmaterial oder als Hilfsmittel für den weiteren Umgang mit den Kunstwerken, z. B. beim Abbau und/oder Wiederaufbau.

Der messtechnischen Erfassung der Kunstwerke mittels Tachymeter, 3D-Laser-Scanner o. ä. folgt die graphische Wiedergabe, meist in Form von Plänen oder 3D-Modellen. Für die Verbindung dieser beiden Schritte gibt es zwei grundlegend verschiedene Vorgehensweisen. Die erste Vorgehensweise geht von einer unmittelbaren Umsetzung des Objektes in zweidimensionale Pläne aus. Der Vermessung folgt hierbei direkt die Darstellung. Hierzu zählt z. B. das Aufmessen eines Objektes per Handaufmaß. Im anderen Fall wird die Objektgeometrie in

Form von Bildern, wie z. B. bei der Photogrammetrie, oder digitalen Daten, wie bei der Tachymetrie oder beim 3D-Laser-Scanning, archiviert, um dann aus diesen Daten beliebige Visualisierungen zu erzeugen. Es kann sich um analoge oder digitale Visualisierungen handeln. Beispiele sind Papierpläne (analog) und 3D-Animationen (digital). Zwischen der Vermessung und der Darstellung erfolgen demnach die Schritte Datenspeicherung und Datenverarbeitung.

Die resultierenden Pläne stellen eine geometrische Dokumentation der Kunstwerke dar. Jede geometrische Dokumentation basiert auf Punkten und ihren Koordinaten. Aus den Punktverbindungen können Linien, aus geschlossenen Linienzügen Flächen und aus Flächengruppen Volumina definiert werden. Punkte werden nicht direkt gemessen, sondern indirekt über das Einmessen von Strecken und/oder Winkeln. Aus Strecken und/oder Winkeln wird der entsprechende Punkt mathematisch errechnet. Strecken werden meist in der Einheit Meter auf mindestens drei Stellen hinter dem Komma und Winkel in der Einheit Gon angegeben. „Ein Vollkreis, der aus vier rechten Winkeln besteht, entspricht 400 Gon (1937 in Deutschland eingeführt).“¹ 100 Gon entsprechen somit 90 Grad.

4 Messwerkzeuge, -instrumente und Hilfsmittel

Die Messwerkzeuge und -instrumente werden zunächst nach ihren Funktionen Streckenmessung, Messung der Horizontalen und der Vertikalen sowie Winkelmessung gegliedert. Es werden auch Messinstrumente beschrieben, die alle oben genannten Funktionen vereinen. Sie lösten vorangehende Instrumente zum Teil ab. Zum Beispiel werden heute statt Theodoliten, welche zur reinen Winkelmessung verwendet wurden, Tachymeter eingesetzt, da diese nicht nur Winkel, sondern zusätzlich auch Distanzen messen können.

4.1 Streckenmessung

4.1.1 Meterstäbe, Messstäbe, Messbänder

Für die einfache Streckenmessung von Hand kommen Meterstäbe, Messstäbe und Messbänder in Betracht. Als Meterstab, auch Zollstock genannt, ist ein Glieder-Zollstock von 2 m Länge üblich. Die Glieder sollten fest verbunden sein und im aufgeklappten Zustand eine möglichst gerade Linie ergeben. Messstäbe können ausziehbare Stangen (Teleskopmessstäbe) mit einer Länge von 5-15 m oder (Kunststoff-) Stangen mit Anzeigefeld von 8-15 m sein. Als Bandmaß ist ein beschichtetes Metall- oder Textilbandmaß mit Zentimetereinteilung in der Länge von 20-50 m üblich. Auch kürzere Bandmaße sind im Handel erhältlich.

Die Anordnung des Nullpunktes auf dem Band ist von Bedeutung. Der Nullpunkt sollte mit dem Anfang des eigentlichen Bandes identisch sein, damit das Band direkt an die Objektoberfläche angelegt werden kann. Bandmaße mit Griff und Spule haben sich bewährt.

¹ Petrahn 2003, S. 16.

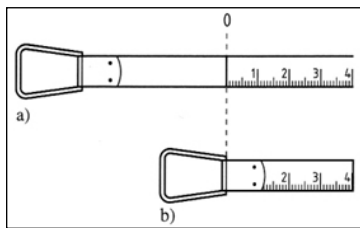


Abb. 1: Nullpunkt des Bandmaßes
 a) Bandüberstand; b) Nullpunkt identisch mit Bandanfang

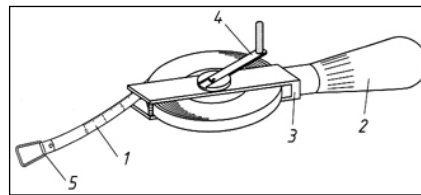


Abb. 2: Bandmaß
 1. Messband; 2. Griff; 3. Fassung;
 4. umgeklappte Kurbel; 5. Ring mit Beschlag

4.1.2 Elektronische Distanzmessung

Bei der elektronischen Distanzmessung werden elektromagnetische Wellen vom Ultraschall- bis zum Infrarotbereich verwendet. Die Entfernungsmessung erfolgt mittels Laufzeit- (Impulslaufzeitverfahren) oder Phasenmessung (Phasenvergleichsverfahren) elektromagnetischer Wellen.

Beim Impulslaufzeitverfahren wird vom Sender ein kurzer Lichtimpuls zum Objekt gesendet, welcher an der Objektoberfläche reflektiert wird und in den Empfänger gelangt. Aus der Hälfte der Gesamtlaufzeit des Impulses wird direkt die Strecke zwischen Laser und Objekt abgeleitet. Die Messinstrumente bestehen aus Sender, Empfänger und Zeitmesser.

Beim Phasenvergleichsverfahren nutzt man die Tatsache aus, dass eine elektromagnetische Welle eine harmonische Schwingung darstellt. Man vergleicht die Phasenlänge der ausgesandten und zurücklaufenden Wellen.

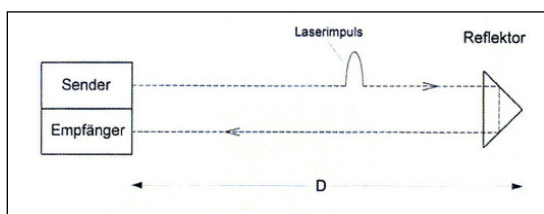


Abb. 3: Prinzip des Impulslaufzeitverfahrens

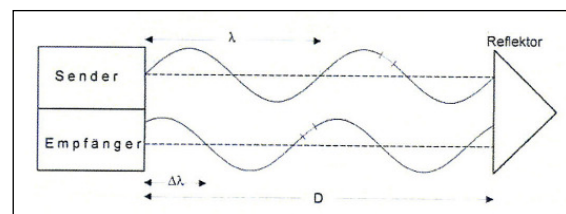


Abb. 4: Prinzip des Phasenvergleichsverfahrens

Ein weiteres Streckenmessverfahren ist die Triangulation. Die Triangulation ist ein mathematisches Verfahren, bei dem mit Dreiecken und mit Hilfe des Sinussatzes gerechnet wird. Sind die Winkel zwischen den Seiten eines Dreiecks und die Länge einer seiner Seiten (sog. Basis) bekannt, so lassen sich die Längen der anderen Seiten mittels trigonometrischer Formeln berechnen. Um die Messgenauigkeit hoch zu halten, sollte die Basis möglichst klein gewählt werden.

4.2 Messung der Horizontalen

4.2.1 Wasserwaage

Eine Wasserwaage ist ein gerader (Metall-, Kunststoff- oder Holz-) Stab unterschiedlicher Länge, in den zwei Libellen² eingearbeitet sind, die beim horizontalen bzw. vertikalen Anlegen die waage- bzw. senkrechte Stellung des Stabes anzeigen. Sie dient der Festlegung von Punkten gleicher Höhe. Die Wasserwaage hat den Nachteil, dass mit ihr keine weit von einander entfernten Punkte einnivelliert³ werden können, da sie begrenzt lang ist. Je länger eine Wasserwaage ist, desto genauer misst sie die Horizontale.

4.2.2 Schlauchwaage

Eine Schlauchwaage ist ein durchsichtiger Kunststoffschlauch von ca. 10 mm Durchmesser und in der Regel 10-20 m Länge.⁴ Die Schlauchwaage wird mit entmineralisiertem Wasser gefüllt. Damit eingeschlossene Luftblasen vollständig entweichen können, muss der Schlauch einmal mit beiden Enden nach oben vollständig aushängen. Das ist wichtig, da sonst das Messergebnis verfälscht wird. Für die Lagerung der Schlauchwaage können an den Enden Hähne zum Verschließen angebracht werden. Während des Arbeitens müssen die Enden jedoch wegen des Luftausgleichs offen bleiben.

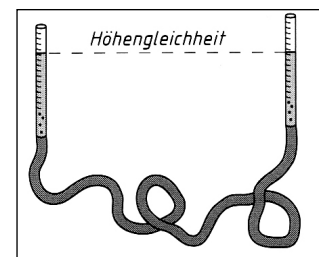


Abb. 5: Schlauchwaage

Die Schlauchwaage funktioniert nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren, bei dem gilt, dass in nicht zu engen, verbundenen Gefäßen die Flüssigkeitsoberflächen in einer waagerechten Oberfläche liegen. So können mit einer hydrostatischen⁵ Höhenmessung Höhengleichheit bzw. kleine Höhenunterschiede zweier Punkte präzise gemessen werden.

Die Schlauchwaage ist ein Hochpräzisionsmessgerät, welches unter anderem zum Brückenbau verwendet wird, wo es auf exakte Genauigkeit ankommt. Dort werden allerdings bei jeder Bewegung der Waage lange Wartezeiten eingehalten, so dass alle entstandenen Luftblasen entweichen können.

Nachteilig bei der Schlauchwaage ist, dass sie häufig umständlich zu gebrauchen ist. Es muss stets der ganze Schlauch durch den Raum bewegt werden, was zu häufigen Berührungen des zu messenden Objektes führen kann. Außerdem müssen streng genommen Wartezeiten eingehalten werden. Doch das Prinzip der Höhenmessung wird durch die Schlauchwaage gut verdeutlicht. Praktischer für die Anwendung ist hingegen der Rotationslaser oder das Nivelliergerät.

² Libelle (lat.: libra = Waage) ist in der Messtechnik eine mit einer Flüssigkeit und einer Gasblase gefüllter Hohlkörper mit Markierungen zur Überprüfung der horizontalen und vertikalen Lage eines Gegenstandes.

³ Nivellieren = gleichmachen, einebnen, Unterschiede ausgleichen. (Duden 1990).

⁴ Die Länge wird nach Bedarf gewählt.

⁵ Hydrostatik = Wissenschaft von den Gleichgewichtszuständen bei ruhenden Flüssigkeiten (Physik). (Duden 1990).

4.2.3 Nivelliergerät

Mit Hilfe des Nivelliergeräts (kurz als Nivellier bezeichnet) werden Höhen gemessen, um eine exakt horizontale Messflucht zu erzeugen. Ein Nivellier besteht aus einem drehbar gelagerten Fernrohr mit Fadenkreuz, mit dessen Hilfe Punkte in einer horizontalen Zielebene angepeilt werden. Das Fernrohr steht auf einem Stativ und muss mittels genauer Libellen horizontalisiert werden. Die Ablesung der Höhen erfolgt auf ebenfalls horizontalisierten Messlatten. Zur Durchführung einer Messung sind zwei Personen erforderlich; eine Person muss die Messlatte halten und eine weitere durch das Fernrohr blicken.

Das Nivellier wird häufig von Bauforschern als Hilfe für das Erstellen eines Handaufmaßes gebraucht. Außerdem ist es ein wichtiges Instrument zur Bestandserfassung bei archäologischen Ausgrabungen.



Abb. 6: Nivelliergerät

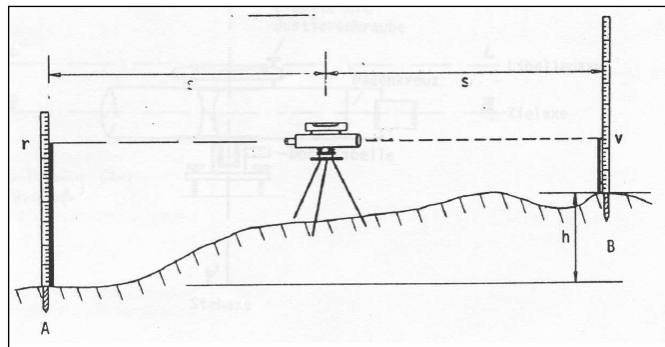


Abb. 7: Prinzip der Höhenmessung mittels Nivelliergerät

4.2.4 Rotationslaser

Der Rotationslaser, auch als Lasernivellier bezeichnet, ist wie das Nivelliergerät ein Instrument zur Bestimmung von Höhen und Fluchten bei Vermessungsarbeiten. Das Funktionsprinzip ist das gleiche. Der Unterschied liegt bei der Erzeugung eines sichtbaren Laserstrahls. Der Laserstrahl erzeugt durch Rotation eines Umlenkprismas eine Bezugsebene. Diese Ebene kann horizontal und – im Gegensatz zum Nivellier – auch vertikal oder mit einem definierten Neigungswinkel zur Erdoberfläche verlaufen. Eine Verbesserung gegenüber dem Nivellier ist außerdem, dass alleine gearbeitet werden kann, da der Strahl am zu messenden Punkt abgelesen werden kann und nicht mehr durch ein Fernrohr geschaut werden muss. Einschränkend ist die Tatsache, dass der erzeugte Strahl einen Durchmesser von einigen Millimetern hat, wodurch eine Messung ungenau werden kann.



Abb. 8: Rotationslaser

4.2.5 Theodolit

Der Theodolit ist ein Winkelmessinstrument. Es wird in der Vermessungskunde zum Messen von Horizontal- und Vertikalwinkeln gebraucht. Der Theodolit besteht im Wesentlichen aus einem Messfernrohr, einem Vertikal- und Horizontalteilkreis und mehreren Libellen zur lotrechten Ausrichtung. In das Messfernrohr ist ein Fadenkreuz integriert, mit dem das Ziel anvisiert wird. An den Teilkreisen können von einer Skala die Winkel in Gon abgelesen werden.

Der Theodolit gehört zu den ältesten Vermessungsinstrumenten. Ab ca. 1850 wurden Universalinstrumente gebaut. Abb. 9 zeigt einen historischen Theodolit mit Vertikal- und Horizontalkreis aus Metall. An beiden Teilkreisen sind kleine Nonien (Lupen) zum Ablesen der eingravierten Winkelwerte befestigt. Der Vertikalteilkreis wird zusammen mit dem Fernrohr als Alhidade bezeichnet. Der Horizontalteilkreis wird als Limbus bezeichnet. Zudem sind an dem Instrument mehrere Libellen angebracht.

In Abb. 10 ist ein moderner, automatisierter Theodolit dargestellt. Heute ist der Theodolit in der Vermessungskunde weitestgehend vom Tachymeter abgelöst worden.

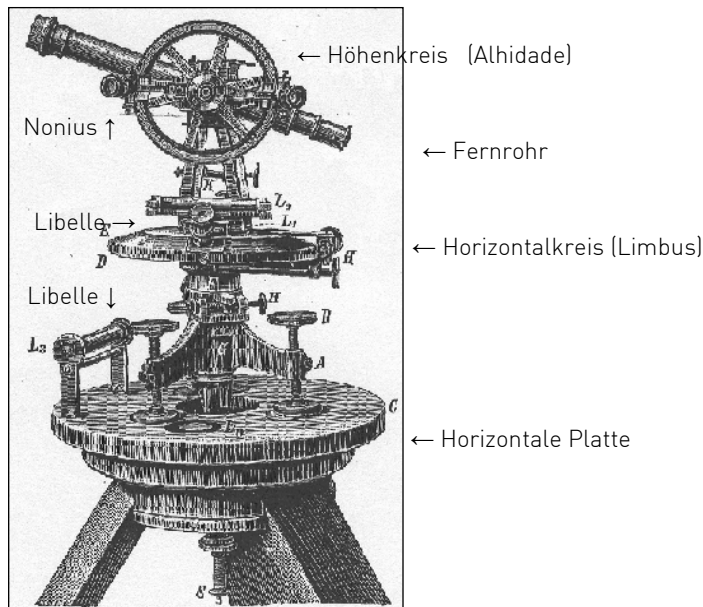


Abb. 9: Historischer Theodolit



Abb. 10: Moderner Theodolit

4.2.6 Tachymeter

Das Tachymeter ist ein Winkel- und Streckenmessgerät. Aus den gemessenen Winkeln und Strecken werden Punkte errechnet und in ein Koordinatensystem platziert. Die Punkte werden zusammengezogen und ergeben Linien bzw. Flächen.

Tachymeter lösten seit den 70er-Jahren die reine Winkelmessung mittels Theodolit nach und nach ab. Zuerst wurden Theodolite mit Entfernungsmessern aufgerüstet. An solchen Geräten fehlte allerdings die heute übliche Umrechnungselektronik, so dass gemessene Werte mit dem Taschenrechner umgesetzt werden mussten. Heute ist die so genannte „Totalstation“ (Abb. 11) üblich. Hierbei handelt es sich um ein elektronisches Tachymeter. Das optische Fernrohr und die mechanische Winkelmessung werden beim elektronischen Tachymeter um einen Rechner ergänzt, der alle Koordinaten automatisch berechnet. Durch die Möglichkeit der integrierten Streckenmessung und der automatischen Umrechnung ist das Aufnehmen eines Objektes um einiges unaufwändiger geworden.



Abb. 11: Totalstation

Tachymeter kommen zum Beispiel in der Bauforschung (ergänzend zum Handaufmaß), bei archäologischen Grabungen oder in der Ingenieurgeodäsie zum Einsatz. Für die Vermessung von Rauminstallationen eignen sich Tachymeter in der Regel gut.

Tachymetrische Messverfahren werden unter anderem unterschieden in Reflektortachymetrie und reflektorlose Tachymetrie. Bei der Reflektortachymetrie erfolgt die Streckenmessung mittels Reflektion des durch Tachymeter ausgesendeten Peilstrahls an ein Prisma, welches durch eine zweite Person am Zielpunkt gehalten wird. Bei der reflektorlosen Tachymetrie wird die Strecke ebenfalls mittels Reflektion vom angepeilten Messpunkt zurück zum Tachymeter gemessen, jedoch wird hier kein Prisma mehr benötigt, da die Reflexion des Peilstrahls zur Entfernungsmessung genügt. Die Entfernung wird in beiden Fällen nach dem Phasenvergleichsverfahren ermittelt.

Die Reichweite der Reflektortachymeter beträgt nach Wanke⁶ ca. 500 m.⁷ Bei reflektorloser Tachymetrie kann die Reichweite bei ca. 80 m liegen, und ist demnach deutlich geringer als bei der Reflektortachymetrie.⁸ Die Werte sind hier stark von den Reflexionseigenschaften der zu vermessenden Objektoberflächen abhängig.⁹

Für die Vermessung von Rauminstallationen ist eine hohe Reichweite nicht von großer Bedeutung. Die niedrigste angebotene Reichweite genügt meistens. Vielmehr ist die Genauigkeit der Tachymeter interessanter. Sie ist abhängig von Fehlern bei der Winkel- und der Streckenmessung. Die Winkel-Messgenauigkeit wird in der Regel in der Einheit mgon ausgedrückt, die Strecken-Messgenauigkeit in der Einheit mm. Die Genauigkeit der für Rauminstallationen in Frage kommenden Tachymeter liegt bei 0,3-1,5 mgon und ca. 2 mm.

4.2.7 3D-Laser-Scanner

Der 3D-Laser-Scanner funktioniert im Prinzip wie der Tachymeter. Nur werden dem Tachymeter, hier mit reflektorloser Entfernungsmessung, Motoren hinzugefügt, welche die Achsen des Tachymeters automatisch antreiben und so die horizontalen und vertikalen Ausrichtungen inkrementell¹⁰ (zunehmend) um kleine Beträge verstellen. Im Unterschied zur Tachymetrie werden mit dem 3D-Laser-Scanning wesentlich mehr Punktkoordinaten gemessen.

⁶ Wanke 2003, S. 43.

⁷ Auf dem Markt werden Instrumente mit höheren Reichweiten angeboten. Doch mit der hohen Reichweite schwindet die Genauigkeit im Nahbereich enorm (5 cm bei 100 m). Solche Tachymeter sind für Räume ungeeignet.

⁸ Wanke 2003, S. 43.

⁹ Mehr zu auftretenden Problemen bei Oberflächenreflexion in Kapitel „3D-Laser-Scanning“.

¹⁰ Inkrement = lat. „Zuwachs“. Betrag, um den eine Größe zunimmt (Math.). (Duden 1990).

4.3 Messung der Vertikalen

Neben bereits beschriebenen Geräten wie Rotationslaser, Theodolit und Tachymeter, dient auch das Lot zur Messung der Vertikalen.

4.3.1 Lot

Beim Lot handelt es sich um eine mit einer Metallspitze beschwerte (Maurer-) Schnur, die nach dem Einpendeln eine exakt senkrechte Linie angibt. Die Schnur muss (z. B. mit einem Nagel) an der Wand oder Decke befestigt oder mit ruhiger Hand gehalten werden.

4.4 Winkelmessung

Winkel können, neben oben genannten Messinstrumenten wie Theodolit und Tachymeter, auch mittels Winkelprismen ermittelt werden.

4.4.1 Winkelspiegel / Winkelprisma

Winkelspiegel¹¹ sind optische Messinstrumente zum Abstecken von unveränderlichen Winkeln (180° , 90° oder 45°). Das Winkelprisma hat zwei Prismenspiegel und ein Durchsichtfenster, welche alle drei gleichzeitig betrachtet werden können. Befindet man sich z. B. auf der Geraden zwischen zwei Fluchtstäben, so kann man den linken Stab in einem Prismenspiegel, den rechten Stab in dem anderen Prismenspiegel beobachten. Wenn beide Bilder zur Deckung kommen, befindet sich das Winkelprisma exakt in der Verbindungsgeraden. Wird nun ein dritter Stab im Durchsichtfenster so gesehen, dass er sich ebenfalls mit den beiden anderen Stäben überdeckt, so befindet er sich genau auf der Senkrechten zur Fluchtlinie, deren Fußpunkt im Prisma liegt.

Winkelspiegel fanden früher in der Geodäsie und in der Bauforschung Verwendung. Sie wurden eingesetzt, um den Fußpunkt eines Lotes in einer Fluchtgeraden zu finden. Heute werden sie unter anderem aufgrund ihrer ungenügenden Genauigkeit im Vergleich mit Präzisionsmessgeräten wie z. B. dem Tachymeter nicht mehr gebraucht.

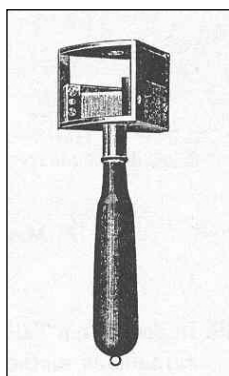


Abb. 12: Winkelspiegel

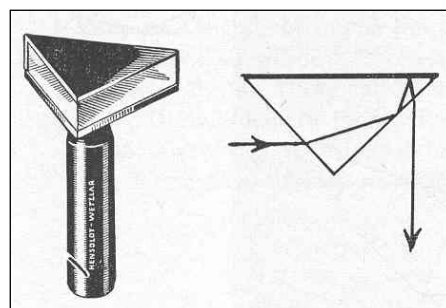


Abb. 13: Winkelprisma mit Strahlengang

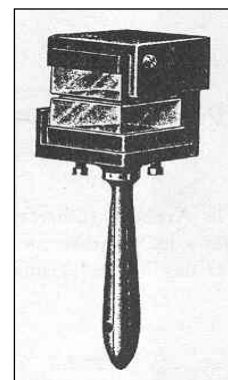


Abb. 14: Doppelprisma

¹¹ Die Begriffe Winkelspiegel und -prisma werden synonym gebraucht.

4.4.2 Bussole

Eine Bussole ist ein Kompass mit Visiereinrichtung. „Eine Magnetnadel stellt sich durch die magnetische Richtkraft der Erde in die Richtung „Magnetisch Nord“ ein.“¹² Für die Vermessung ist die Magnetnadel als gleich bleibender Richtungsanzeiger zu betrachten, von dem aus zu den aufzunehmenden Punkten Winkel bestimmt werden.

Die Bussole hat früher Funktionen erfüllt, die erst vom Theodolit, dann schließlich vom Tachymeter abgelöst wurden. Sie ist heute nicht mehr im Gebrauch.

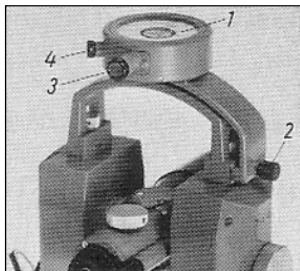


Abb. 15: Kreisbussole
1. Abschlussglas
2. Befestigungsschraube
3. Ableslupe
4. Arretierknopf

5 Methoden und instrumentelle Verfahren

Dieses Kapitel befasst sich mit möglichen Methoden und instrumentellen Verfahren zur Vermessung von Installationskunst.

5.1 Handaufmaß

Wie der Begriff Handaufmaß bereits verrät, wird bei diesem Verfahren „von Hand“ gearbeitet. Als Hilfsmittel dienen z. B. Bandmaß, Lot und Schlauchwaage. Die zeichnerische Umsetzung der Messung erfolgt sofort vor Ort mit Bleistift auf Karton. Das Verfahren wird als verformungsgerecht bezeichnet, wenn es auf der Anwendung eines objektunabhängigen Messsystems beruht. Dies wird erreicht, indem zunächst ein „Messnetz“ aufgespannt wird, das zunächst keinen Bezug zum Raum bzw. Objekt hat. Von diesem Messnetz aus werden dann Raum- und Objektpunkte eingemessen.

Das Handaufmaß wird hauptsächlich von Bauforschern praktiziert. Bei den zu vermessenden Objekten handelt es sich meistens um Gebäude, Räume und/oder Raumdetails. Dem Bauforscher geht es darum, das Objekt aufs Genaueste zu vermessen, zu dokumentieren, Konstruktionseigenschaften zu erfassen und zu verstehen. Mittels Handaufmaß ist es möglich, millimetergenau zu messen – der Messgenauigkeit sind im Prinzip keine Grenzen gesetzt. Es wird in der Regel im Maßstab 1:25 gezeichnet. Ein kleinerer Maßstab ist nicht zu empfehlen, da Ungenauigkeiten auftreten können. Dadurch, dass alle gemessenen Werte in die Zeichnung eingetragen werden, bleibt die Möglichkeit einer Übertragung in andere Maßstäbe oder in ein CAD-Programm offen.

Es wird meist zu zweit gearbeitet. Im Folgenden wird das Vorgehen Schritt für Schritt beschrieben.

¹² Volquarts / Matthews 1986, S. 133.

5.1.1 Grundriss

Es ist üblich mit dem Grundriss zu beginnen. Unter Grundriss versteht man eine horizontale Ebene (sog. Messflucht oder Messebene). Die Lage dieser Ebene wird je nach Anforderung des zu vermessenden Objekts gewählt. In der Bauforschung wird bei Räumen meist eine Ebene auf der Höhe der Fenster und Türen gewählt, damit diese im Schnitt sichtbar sind. Dies entspricht oft der Höhe von 1 m über Bodenniveau. Die horizontale Ebene wird durch aufgespannte Richtschnüre visualisiert (Abb. 16 und 17).

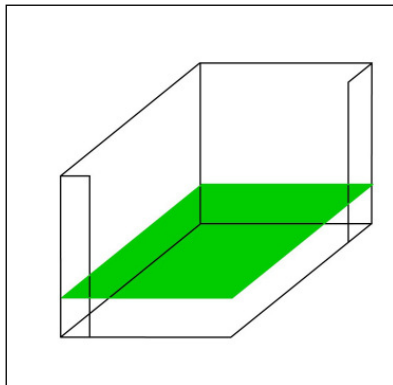


Abb. 16: Raum mit Grundrissebene in Höhe von ca. einem Meter.

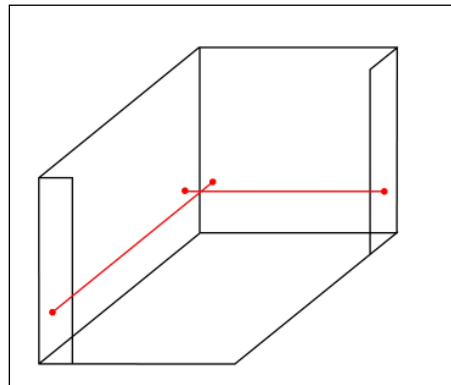


Abb. 17: Raum mit gespannten Richtschnüren, die den Grundriss, also die Messebene, symbolisieren.

Für das Erstellen des Raumgrundrisses werden Richtschnüre horizontal entlang der Raumwände gespannt und mittels Nägeln befestigt. Zuvor wurde die Horizontale mit der Schlauchwaage oder dem Nivelliergerät einnivelliert.

Liegt die Messebene des Raumes auf dem Boden, können der Einfachheit halber gleich anstelle der Richtschnüre Messbänder genommen werden. Wenn der Boden als Messflucht verwendet wird, muss vorher sichergestellt werden, dass er eindeutig horizontal ist.

Der Abstand der Richtschnur zur Wand sollte 10-30 cm betragen. Es ist nicht relevant, ob die Richtschnur an jeder Stelle exakt denselben Abstand zur Wand hat. Der Winkel zwischen den Richtschnüren kann beliebig gewählt werden.

Zu beachten ist, dass die Schnüre straff gespannt sind und nicht durchhängen. Hierzu wird eine Maurerschnur empfohlen. Mit dem in Abb. 18 dargestellten Knoten können die Schnüre problemlos befestigt und abgelöst werden. Es können auch Pinnadeln oder Klebmarken zur Markierung der horizontalen Ebene Verwendung finden.

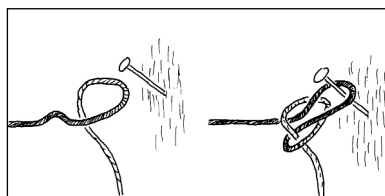


Abb. 18: Mit diesem einfachen Knoten kann die Richtschnur an jedem Nagel befestigt und leicht wieder gelöst werden.

Gemessene Punkte werden direkt nach der Messung eingetragen. Der Weg über eine Zwischenskizze, um später erst die letztendliche Zeichnung auszuarbeiten, empfiehlt sich nicht, da bei einer späteren Übertragung leicht Fehler passieren können, die sich vor Ort sofort erkennen und korrigieren lassen.

Kettenmaße. Um Maß zu nehmen, wird zunächst ein Nullpunkt auf einer Messflucht frei definiert. Vom Nullpunkt aus werden anschließend entlang der Messflucht Kettenmaße (Abb. 19) genommen. Um das Aufaddieren von Messfehlern zu vermeiden, sollte immer vom Nullpunkt aus gemessen werden. Zu beachten ist, dass keine Maße unmittelbar von der Schnur, sondern von der Messebene genommen werden dürfen, da die Schnur meist etwas durchhängt und die Messung verfälscht wäre. Die Schnur dient lediglich der Orientierung. Deshalb muss hier stets mit der Schlauchwaage kontrolliert werden.

Stichmaße. Horizontale – zur Messflucht rechtwinklig liegende – Maße werden als Stichmaße bezeichnet. Stichmaße (Abb. 19) werden erst nach der Entnahme eines Kettenmaßes vorgenommen. Die Null-Markierung des Maßbandes wird hierbei an den zu messenden Punkt angehalten und durch leichtes Schwenken des Maßbandes entlang der Achse wird der kleinste Wert ermittelt. Diese Art des Messens stellt sicher, dass eine Messung orthogonal zur Messachse vorgenommen wird, da nur der kleinste Abstand zwischen Punkt und Achse einen rechten Winkel zwischen Achse und Maßband ergibt. Es empfiehlt sich, zudem eine Wasserwaage zu benutzen, um das Messinstrument horizontal zu halten. Bei einem Abstand von über 50 cm wird die Messung ungenau, da es ab 50 cm schwer wird, den rechten Winkel zu ermitteln.

Dreiecksmessung. Für Abstände ab 50 cm eignet sich die so genannte Dreiecksmessung (Abb. 20). Zur Erstellung eines Messdreiecks werden auf der Messflucht zwei Punkte festgelegt (sie bilden mit dem zu messenden Punkt ein Dreieck). Von den gewählten Punkten auf der Messflucht aus wird nun jeweils der Abstand zum zu ermittelnden Punkt gemessen. Es sollten möglichst gleichschenkelige Dreiecke gewählt werden, so dass die Winkel optimalerweise zwischen 80° und 100° liegen. Sehr flache oder sehr spitze Dreiecke können zu verfälschten Messergebnissen führen. Auf das Papier überträgt man beide Abstände mit dem Zirkel. Wo sich die Zirkelschläge treffen, liegt der gemessene Punkt.

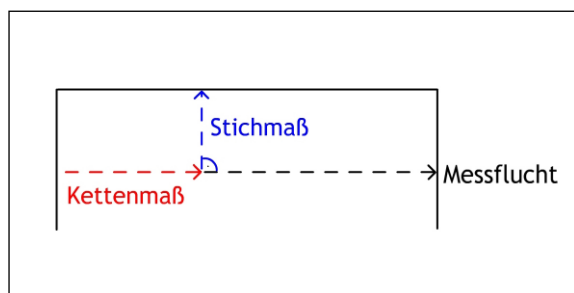


Abb. 19: Ketten- und Stichmaß

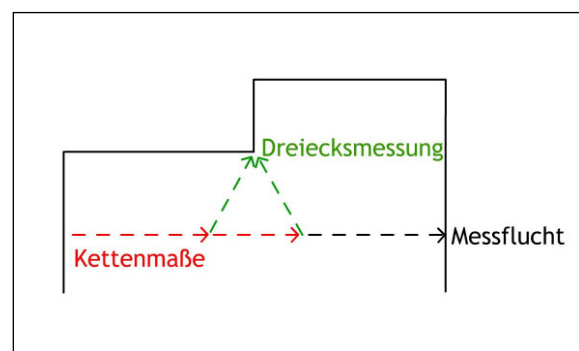


Abb. 20: Dreiecksmessung

Die genaue schrittweise Vorgehensweise beim Erstellen eines Raumgrundrisses parallel zum Messen wird in Abb. 21 beispielhaft erläutert. Die Schritte werden in der Reihenfolge der Ausführung durch die Farbe Rot gekennzeichnet.

In einem Raum werden vier Schnüre (Messfluchten) entlang der Wände aufgespannt. Sie bilden das objektunabhängige Messsystem. In Abb. 21 geht es darum, die Messfluchten auf den Zeichenkarton maßstäblich zu übertragen und von ihnen aus den Grundriss des Raumes sowie ein im Raum befindliches dreieckiges Objekt maßstabsgetreu abzubilden.

Die erste Messflucht geht von Wand zu Wand und ist 6 m lang (Abb. 21 a). Sie wird als gerade Punkt-Strich-Linie in den Plan eingetragen. Der Nullpunkt liegt unten rechts. Vom Null- und vom Endpunkt aus wird per Dreiecksmessung der Kreuzungspunkt von zwei weiteren Messfluchten rechts oben ermittelt. Die zweite Messflucht wird eingetragen (Abb. 21 b). Sie trifft auf die erste Messflucht bei 1 m Kettenmaß. Anschließend wird der nächste Kreuzungspunkt links oben ebenso eingemessen (Abb. 21 c) und die dritte Messflucht eingetragen (Abb. 20 d).

Die dritte Messflucht schneidet die erste bei 5 m Kettenmaß. In Abb. 21 e werden die gemessenen Punkte miteinander verbunden. Die Linie ergibt die vierte Messflucht. Nun sind alle vier Messfluchten in den Plan maßstäblich übertragen. Von den vier Schnittpunkten aus werden Stichmaße zu den umliegenden Wänden genommen (Abb. 21 f) und die Wände in den Plan eingetragen (Abb. 21 g). Zudem wird die Türöffnung (Abb. 21 g) und ein dreieckiges, sich im Raum befindliches Objekt (Abb. 21 h) per Dreiecksmessung eingemessen.

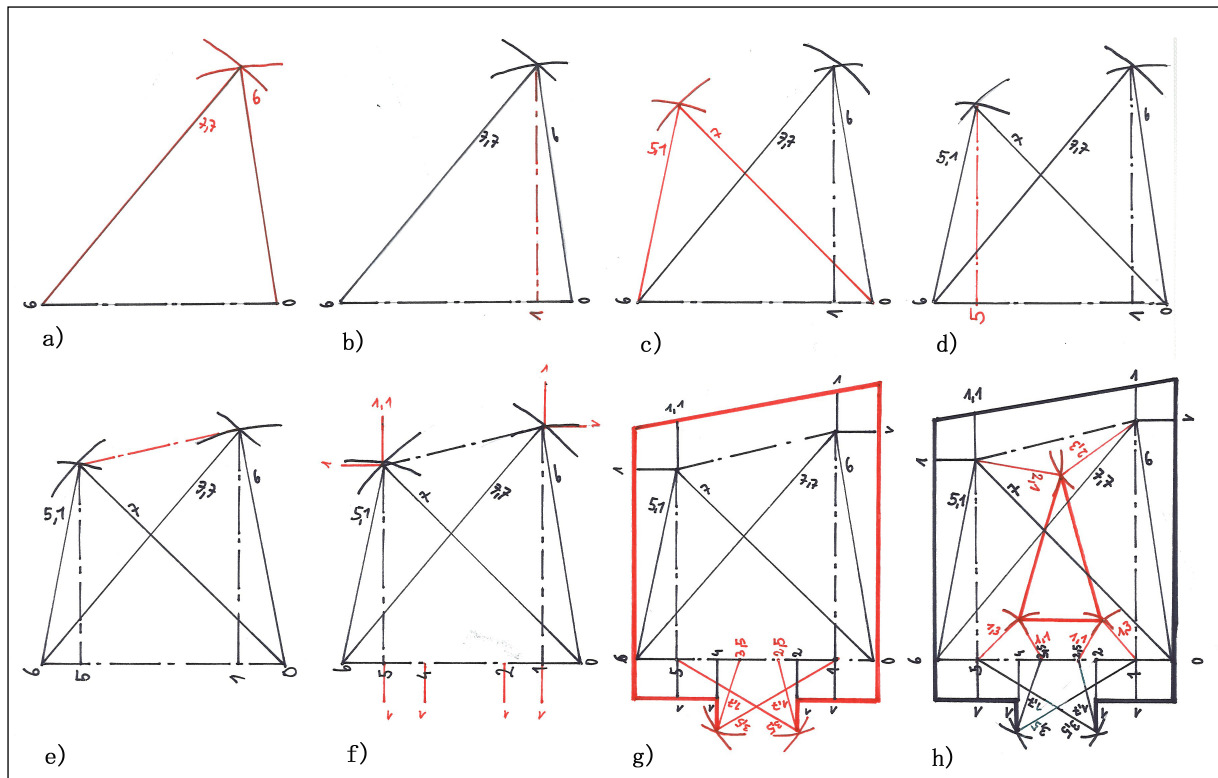


Abb. 21: Zeichnerische Umsetzung beim Erstellen eines verformungsgerechten Handaufmaßes

5.1.2 Aufmaß

Vertikale Ebenen (Abb. 22), wie z. B. Wände, werden in einem Aufmaß oder Aufriss dargestellt. Um eine vertikale Messebene zu visualisieren, werden Lote ausgerichtet (an der Decke befestigt oder gehalten) (Abb. 23). In den Plan wird in der Position des Lotes bzw. der Lote eine bzw. mehrere vertikale Linie/n eingezeichnet. Zusätzlich wird die Position des Lotes mit einem Symbol (umkreister Punkt) in den Grundriss eingetragen.

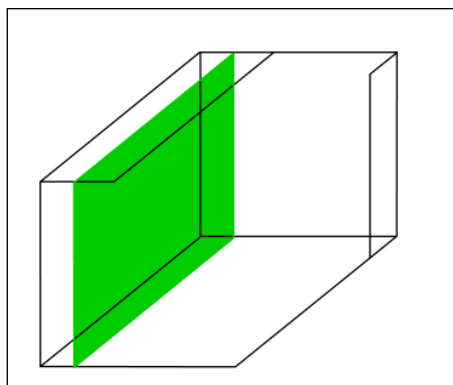


Abb. 22: Vertikale Ebene

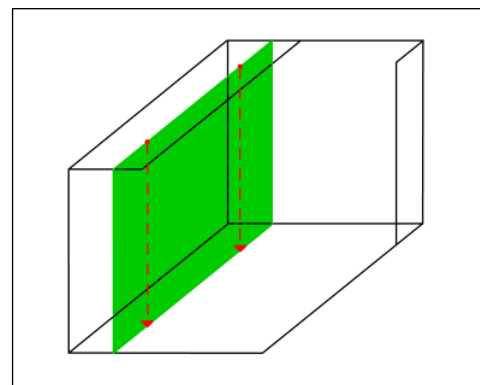


Abb. 23: Durch Lote symbolisierte vertikale Ebene

Die Höhen werden von der horizontalen Messflucht aus nach oben und unten gemessen (Abb. 24).¹³ Punkte im Grundriss werden in die Aufrisse und umgekehrt mit Hilfe von gestrichelten Verbindungslinien übertragen (Abb. 25).

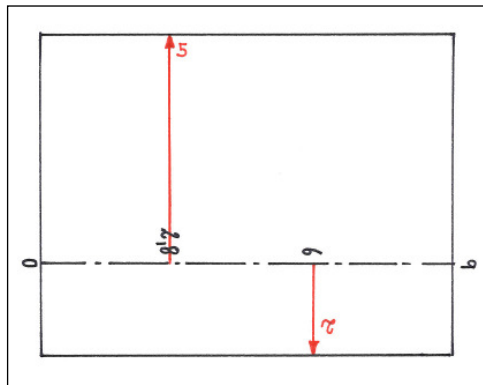


Abb. 24: Messung der Höhe von der Messflucht aus

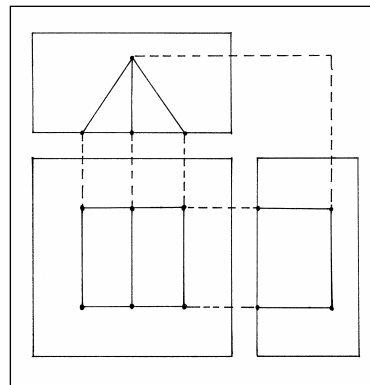


Abb. 25: Verbindungslinien zwischen einem Grundriss und zwei Aufrissen

Handzeichnen. Zum Zeichnen empfiehlt sich ein Tisch oder eine stabile Platte als Unterlage, gegebenenfalls mit Stativ. Es wird mit Bleistift auf Karton gezeichnet. Karton hat sich im Vergleich zu Papier bewährt, da er sich bei Klimaschwankungen weniger verwellt und auch häufigem Radieren standhält. Der Karton sollte möglichst archivbeständig, also säurefrei sein.

Zu empfehlen ist das Aufzeichnen einer Messskala auf den Karton, z. B. auf den unteren Rand, damit auch nach einer Lagerung mit eventuellem Verziehen des Kartons Maße aus dem Karton genommen werden können. Außerdem dient die Messskala als Hilfe zum Abzirkeln der Stecken während des Zeichnens.



Abb. 26: Werkzeug für das Handaufmaß



Abb. 27: Zeichnen vor Ort

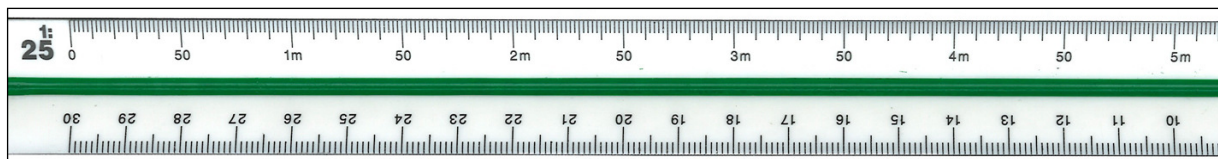


Abb. 28: Dreieck zur maßstäblichen Übertragung auf Karton

¹³ Wenn der Fußboden als Messflucht definiert wurde, wird vom Boden aus nach oben gemessen.

Als Zeichenwerkzeug haben sich Minenbleistifte der Härtegrade zwischen 2H über F bis B bewährt. Bei zu harten Minen ist der Strich nicht radierfähig und bei zu weichen wird er zu breit. Minenbleistifte lassen sich sehr gut anspitzen. Weitere nützliche Utensilien sind ein Radiergummi, ein spezieller Anspitzer für Minenbleistifte, ein kleiner und ein großer Zirkel, ein Dreikant zur maßstäblichen Übertragung, ein langes Lineal sowie ein Geo-Dreieck.

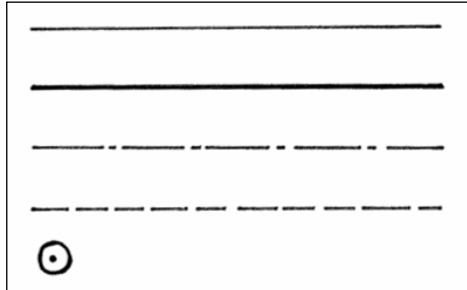


Abb. 29: Linien und Symbole zum Handzeichnen von oben nach unten:
Dünne Linie = Hilfslinie
Dicke Linie = Objektrisslinie
Punkt-Strich-Linie = Messflucht und Lotgerade
Strichellinie = Verbindungslinie
Umkreister Punkt = Lot

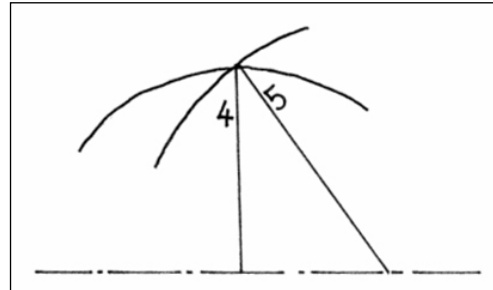


Abb. 30: Verbindungslinien zwischen Messflucht und Punkt mit Zirkelschlägen und Meterangaben in Messrichtung

Es wird, wie in Abb. 29 ersichtlich, in unterschiedlichen Strichstärken und Linienarten gearbeitet. Hilfslinien werden dünn, Objektkonturen dicker gezeichnet. Messfluchten sowie Lotgeraden werden durch Punkt-Strich-Linien charakterisiert. Lote werden im Grundriss durch einen umkreisten Punkt gekennzeichnet. Verbindungslinien zwischen den Plänen werden gestrichelt.

Numerische Entfernungsangaben erfolgen in der Einheit Meter. Es wird auf drei Stellen hinter dem Komma gemessen (z. B. 4,301 oder 5,000). Die Einheit wird nicht jeweils dazu geschrieben. Die Zahl wird nah an das Ende der gezeichneten Linie in Richtung ihres Verlaufs eingetragen (Abb. 30). Zirkelschläge können zum Zwecke der Nachvollziehbarkeit im Plan belassen werden.

5.1.3 Vor- und Nachteile des Handaufmaßes

Für das Erstellen eines verformungsgetreuen Handaufmaßes sind zwei Personen erforderlich. Es kann auch nicht vollständig berührungsfrei gearbeitet werden. Das Verfahren ist dafür aber sehr genau, weil von einem objektunabhängigen Nullpunkt aus gearbeitet wird. Es muss sehr konzentriert gearbeitet werden, da sich schnell Fehler einschleichen und im weiteren Verlauf fortsetzen können. Im Vergleich zur Tachymetrie ist das Handaufmaß wesentlich zeitaufwändiger.

5.2 Tachymetrie (gr. Tachymetrie = Schnellmessung)

Mit dem Tachymeter können repräsentative Punkte eines Objektes vom Gerätestandort aus genau eingemessen werden um daraus, durch das Verbinden der Punkte, maßstäbliche Pläne (Grund- und Aufrisse) zu erstellen. Die Punkte werden durch das Errechnen aus Winkeln und Strecken ermittelt und in einem Koordinatensystem platziert.

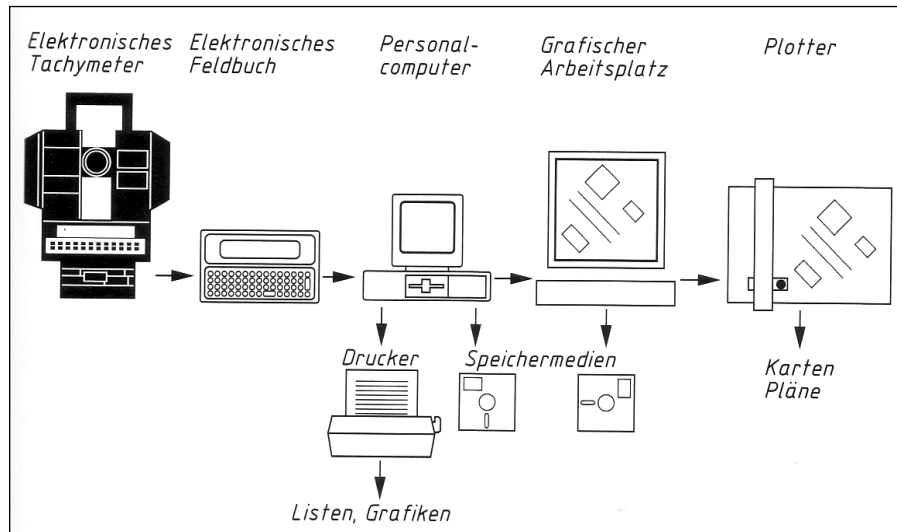


Abb. 31: Möglicher Datenfluss

Ein möglicher Ablauf einer tachymetrischen Aufnahme wird in Abb. 31 gezeigt. Bei der Datenerfassung mit dem Tachymeter erfolgt vor Ort die Datenregistrierung. Vom Gerät aus werden hier von einer Person durch ein Fernrohr Punkte anvisiert und gemessen. Eine weitere Person muss bei der Reflektortachymetrie ein Prisma am zu messenden Punkt halten. Am Rechner werden anschließend mit Hilfe von spezieller Software die Rohdaten aufgearbeitet. Ein Nachteil der tachymetrischen Aufnahme ist die Unsichtbarkeit der Messung während der Messvorgangs. Die Kontrolle und eventuelle Korrektur der Koordinaten kann erst bei der Auswertung am Rechner erfolgen. Abhilfe bieten hier CAD-Programme, bei denen die Messung direkt vom Tachymeter auf ein angeschlossenes Notebook gespielt und dargestellt wird, sowie Geräte mit grafischer Anzeige. Fehlstellen und Doppelmessungen werden so direkt registriert und vor Ort ergänzt und korrigiert. Anschließend können Koordinatenlisten ausgedruckt werden. Um Pläne zu erstellen, müssen die Koordinaten – falls noch nicht geschehen – in ein CAD-Programm überführt und bearbeitet werden. Anschließend kann die Sicherung der Dateien auf Speichermedien geschehen oder können Pläne ausgeplottet werden.

5.3 3D-Laser-Scanning (engl. to scan = rastern, abtasten)

Der Laserscanner funktioniert im Prinzip wie ein Tachymeter. Auch hier werden durch die Messung von zwei Winkeln (horizontal und vertikal) und einer Strecke Punktkoordinaten ermittelt.

Das Laser-Scanning ist eine Neuentwicklung der letzten Jahre und stellt unter anderem eine Ergänzung der Tachymetrie dar. Der Hauptunterschied besteht darin, dass das Messobjekt nicht durch wenige repräsentative Punkte präzise erfasst wird (Abb. 32), die durch die vermessende Person vor Ort ausgewählt werden, sondern dass mehr oder weniger zufällige Punkte in einem regelmäßigen Raster automatisch gescannt werden (Abb. 33). Der Aufnahmeaufwand pro Punkt wird durch das Laserscanning wesentlich reduziert, da nicht jeder Punkt einzeln angepeilt werden muss. Die Auswahl repräsentativer Punkte erfolgt im Gegensatz zur Tachymetrie nicht vor Ort, sondern erst bei der Auswertung mit dem Rechner. Dieser Tatbestand kann sich als ein Nachteil herausstellen, wenn am Rechner aus einer Punktwolke ein repräsentativer Punkt ausgewählt werden soll. Häufig kann dieser Punkt nicht eindeutig identifiziert werden und es muss eine – vielleicht willkürliche – Interpretation vorgenommen werden.

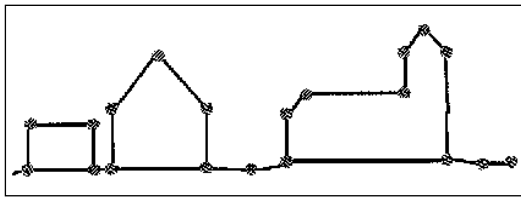


Abb. 32: Modellierung eines Objektes durch repräsentative Punkte (z. B. Tachymetrie)

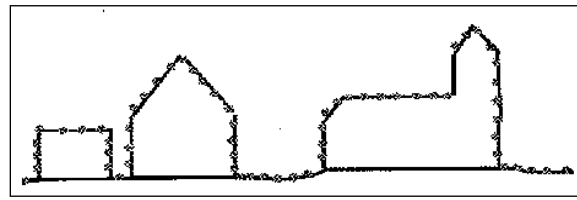


Abb. 33: Modellierung eines Objektes mittels Laserscanner

5.3.1 Klassifizierung der Scanner

Laserscanner können nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert werden. Im Folgenden wird nach dem Streckenmessverfahren, den Reichweiten¹⁴ und dem Winkelmessverfahren (Sichtfeld) unterschieden. Die drei Bereiche greifen oft ineinander über und bedingen einander.

Streckenmessverfahren. Das Streckenmessverfahren hat Einfluss auf die Reichweite und die Messrate¹⁵ der Scanner. Es werden drei Verfahren unterschieden; das Impulslaufzeitverfahren, die Phasenvergleichs- bzw. Phasendifferenzmessung und die Triangulation.

Vorteile des Impulslaufzeitverfahrens liegen in einer relativ großen Reichweite. Das Verfahren gilt allerdings im Vergleich als langsam. Somit ist die erfasste Punktmenge innerhalb eines bestimmten Zeitraumes geringer als bei anderen Verfahren.

Beim Phasenvergleichsverfahren hingegen werden innerhalb kürzester Zeit viele Punkte aufgenommen. Das Verfahren eignet sich auch für kinematische¹⁶ Aufmaße; als Beispiel wäre hier ein an einen Zug angebrachter Scanner zu nennen, der während der Fahrt ein Tunnelprofil erfasst. Aus der schnellen Aufnahme von Punkten resultiert jedoch eine hohe Menge an Daten, die oft lange Wartezeiten bei der Auswertung am Rechner verursacht. Bei einer hohen Punktmenge kann der Speicherplatz einer herkömmlichen Festplatte vollständig ausgefüllt werden.

Laserscanner, die nach dem Triangulationsprinzip die Distanz messen, sind submillimetergenau und werden meistens für die Darstellung von Oberflächendetails eingesetzt. Deshalb kommen sie meistens im Nahbereich in Einsatz. Diese Scanner eignen sich besonders zur detaillierten Erfassung von komplexen dreidimensionalen Strukturen wie zum Beispiel Reliefs. Sie werden außerdem häufig in der Fahrzeugindustrie, z. B. um einzelne Autoteile exakt darzustellen, gebraucht.

¹⁴ Die Reichweite beschreibt die Entfernung, die das Gerät vom zu messenden Objekt haben muss oder darf.

¹⁵ Die Messrate ist die Anzahl an Messungen, die von dem Sensor (Messinstrument) pro Sekunde aufgezeichnet werden. Sie wird in Hz angegeben.

¹⁶ Die Kinematik (gr. kinema = Bewegung) ist die Lehre von der mathematischen Beschreibung der Bewegung von Punkten und Körpern, ohne auf die Ursache der Bewegung einzugehen.

Reichweiten. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Reichweite, die durch die Größe des zu vermessenden Objektes bedingt wird. Auf dem Markt kommen so genannte Nahbereichs- und Mittelbereichs-Scanner sowie Longrange-Scanner vor, oder auch von einem Flugzeug getragene Systeme, so genannte Airborne-Scanner. Die Longrange- und Airborne-Scanner eignen sich nicht für die Vermessung von Rauminstallationen, da sie aus einer Entfernung von einigen Kilometern bei der Genauigkeit nur im Zentimeter- bis Dezimeter-Bereich arbeiten. An dieser Stelle wird daher nicht weiter auf sie eingegangen.

Nahbereichs-Scanner müssen während des Scan-Vorgangs in einem Abstand von einigen Zentimetern bis wenigen Metern zu dem Objekt gehalten werden. Sie verfügen daher über ein relativ kleines Arbeitsfeld, können dafür im Submillimeter-Bereich genau messen. Man kann sie außerdem in unterschiedlichen Winkeln an das Objekt heranzuführen, so dass auch schlecht einsehbare Bereiche gescannt werden können. Meistens handelt es sich bei Nahbereichsscannern um Triangulationssysteme.

Auf dem Markt gibt es sowohl terrestrische Scanner (auf einem Stativ fest mit dem Boden verbundene Scanner) als auch Handgeräte. Die Objektoberfläche kann per Hand mit dem Gerät abgefahren werden. Die Handgeräte verfügen über mehrere genau positionierte Infrarotmarken auf dem Sensor, die üblicherweise mit mehreren Infrarotkameras auf Stativen korrespondieren. Dieses System dient zur notwendigen Raumpositionsbestimmung des Scanners bzw. der so genannten Orientierung des Scannersensors. Anzumerken ist, dass bei Nahbereichsscannern oft die Laser-Strahlen über eine sehr hohe Leistung (Watt) verfügen, was den Gebrauch einer Schutzbrille unumgänglich macht.

Mittelbereichs-Scanner sind meistens terrestrisch und basieren entweder auf dem Impuls- oder Phasendifferenzverfahren. Sie scannen in einem Bereich von einigen Metern bis zu einigen Hundert Metern und sind im Bereich von wenigen Millimetern bis Zentimetern genau. Bei Phasendifferenzscannern gibt es einen beschränkten Arbeitsbereich, den so genannten Eindeutigkeitsbereich. Außerhalb dieses Bereichs werden falsche Distanzen angegeben. Mittelbereichsscanner eignen sich gut für die Dokumentation von Rauminstallationen.

Winkelmessverfahren (Sichtfeld). Bezüglich ihres Sichtfeldes können Laserscanner in Kamera-, Hybrid- und Panorama-Scanner klassifiziert werden.

Bei Kamera-Scannern (Abb. 34) ist das Sichtfeld sowohl in der horizontalen, als auch in der vertikalen Richtung auf ca. $50^\circ \times 50^\circ$ eingeschränkt. Bei der Erfassung von Räumen müssen mehrere Scans von unterschiedlichen Standpunkten aus durchgeführt und miteinander verknüpft werden.

Beim Hybrid-Scanner (Abb. 35) gibt es die Möglichkeit in horizontaler Richtung allseitig zu messen (360°). In vertikaler Richtung ist das Sichtfeld auf ca. 60° eingeschränkt. Auch hier sind mehrere Scans notwendig.

Panorama-Scanner (Abb. 36) sind in der Lage den gesamten Horizont zu erfassen. Bei Panorama-Scannern kann die Aufnahme von einem Standpunkt bereits ausreichend sein.

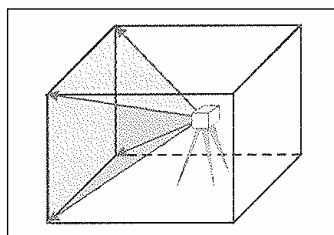


Abb. 34: Kamera-Scanner

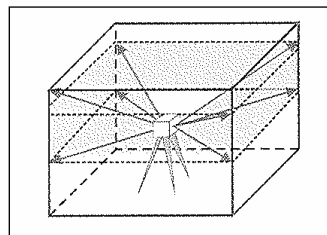


Abb. 35: Hybrid-Scanner

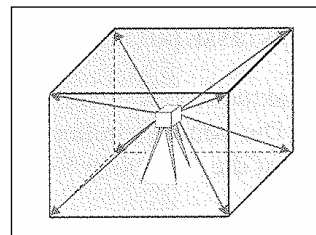


Abb. 36: Panorama-Scanner

5.3.2 Software für Laserscanner

Die zur Datenerfassung (Scannen) erforderliche Messsoftware wird vom Scannerhersteller bereitgestellt. Meistens läuft sie unter einem MS-Windows® Betriebssystem und speichert die Punktwolken in einem proprietären¹⁷ Datenformat ab. Die meisten CAD-Programme können die Punktwolken nicht direkt verarbeiten. Deshalb haben Hersteller Erweiterungsprogramme – so genannte „Aufsätze“ – programmiert, die das Arbeiten mit großen Punktmengen ermöglichen.¹⁸ Viele Hersteller bieten unabhängig von Geräten Softwarepakete zur Auswertung und Visualisierung von Punktwolken an.¹⁹

5.3.3 Ablauf eines Projekts

Die Durchführung eines Vermessungs-Projekts kann in die drei Schritte Datenerfassung, Auswertung und Visualisierung (auch als Modellieren bezeichnet) gegliedert werden.

Das Objekt wird mit einem oder mehreren Scans erfasst. Bei mehreren Scans muss auf die Verknüpfungen einzelner Punktwolken miteinander geachtet werden. Dies geschieht vor Ort mit der Aufstellung von mindestens drei Passmarken und/oder bekannten geometrischen Elementen, wie z. B. Kugeln, die im aufgenommenen Sichtfeld jeweils so positioniert werden, dass sie sich innerhalb der Scans überlappen und bei der Auswertung im Rechner in Deckung gebracht werden können. Die Passmarken und Kugeln werden vor Ort meist zusätzlich tachymetrisch eingemessen um deren eindeutige Position festzuhalten.

Bei der Auswertung vergleicht der Rechner zuerst alle Punkte im überlappenden Bereich miteinander bis der minimale Abstand zwischen ihnen erreicht ist. Dieser Schritt wird als „Registration“ bezeichnet. Als nächstes werden die tachymetrischen Koordinaten mit der Punktwolke verknüpft. Ein tachymetrisch erfasster Punkt, an dem sich alle Punkte fortan orientieren, wird als Nullpunkt definiert (z. B. eine Raumecke). Mit den tachymetrisch ermittelten Punkten wird ein übergeordnetes Koordinatensystem erstellt, in das alle mit dem Scanner ermittelten Punkte integriert werden.

Bei der Visualisierung werden einzelne Bereiche innerhalb der Punktwolke bekannten geometrischen Elementen zugeordnet bzw. von ihnen abgeleitet. Meistens findet hierbei eine Vereinfachung bzw. Komprimierung der Formen statt. Über den Komprimierungsgrad entscheidet der Bearbeiter am Rechner. Zu bedenken ist, dass eine Komprimierung mit Informationsverlust verbunden ist.

Komplexere Oberflächen, die keinen bekannten geometrischen Formen zuzuordnen sind, können mit der Dreiecksvermaschung modelliert werden. Hierfür wird ein segmentierter Punkthaufen in ein digitales Oberflächenmodell umgewandelt. Bei einer großen Punktmenge empfiehlt es sich, die Anzahl der zu vermaschenden Punkte zu reduzieren.

Des Weiteren sind 3D-Modelle sowie Animationen möglich. Diese erfordern allerdings einen sehr hohen Zeitaufwand und eine sehr genaue Aufmessung des Objektes ohne Verschattungen.

Für die Erstellung von zweidimensionalen Plänen sind wesentlich geringere Datenmengen erforderlich. Die Punktwolke kann in geeignete CAD-Programme exportiert werden. Am Rechner (also nicht am Objekt) definiert der Bearbeiter bestimmte Messpunkte, aus denen er Grundrisse, Aufrisse und Schnitte modelliert. In Form von Papier-Plots können diese anschließend zusammen mit den digitalen Daten archiviert werden.

¹⁷ Dateiformate werden als „proprietär“ bezeichnet, wenn sie nicht mit „freier“ Software implementierbar sind, weil sie lizenzrechtlich geschützt sind oder ähnliches.

¹⁸ Für das Programm AutoCAD gibt es zum Beispiel eine solche Erweiterungssoftware.

¹⁹ Dazu gehört Leica mit dem Programm Cyclone. Daneben werden auch Auswertepakete von Firmen wie Geomagic oder Polyworks angeboten.

5.3.4 Vor- und Nachteile des Laserscannings

Ein wesentlicher Vorteil des 3D-Laser-Scannings in Bezug auf die Vermessung von Rauminstallationen besteht darin, dass berührungslos gearbeitet wird und innerhalb kürzester Zeit eine hohe Menge an Koordinaten ermittelt werden kann. Aus den Koordinaten lassen sich verschiedene Darstellungen erzeugen. Aus den Werten lassen sich sowohl maßstäbliche Grundrisse als auch Aufrisse und Schnitte erstellen, welche genaue Positionsbestimmungen von Objekten innerhalb eines Raumes zulassen.

Nachteilig kann hingegen der relativ hohe Arbeitsaufwand am Rechner genannt werden. Dabei wird oftmals das Verhältnis des Zeitaufwands im Außendienst zum Aufwand bei der Auswertung angegeben. Je geringer der Nachbereitungsaufwand ist, desto rentabler ist ein Messverfahren. Beim Laserscanning sind in der Regel Verhältnisse von 1:3 (Datenaufnahme : Auswertung) bis 1:6 noch wirtschaftlich. Es können aber, je nach Detaillierungsgrad der Ergebnisse, Verhältnisse von bis zu 1:30 auftreten. Bei tachymetrischen Verfahren ist dieses Verhältnis insgesamt ausgewogener.

Bei der Datenaufnahme können Fehler auftreten, die sich bei der Auswertung nachteilig auswirken. Schwierig sind z. B. dunkle Oberflächen, da sie Licht absorbieren. Von dunklen Oberflächen kommt entweder zu wenig oder gar kein Impuls zurück zum Laser. Hier entstehen Lücken in der Messpunkt Wolke, welche nicht nachträglich geschlossen werden können. Bei stark reflektierenden Oberflächen, wie z. B. bei Metallen oder Spiegeln, entstehen ebenfalls Lücken. Hier wird der Strahl durch Totalreflexion zu sehr abgelenkt und kommt gar nicht zum Messinstrument zurück. Hier müssen gegebenenfalls alternative Aufnahmewinkel gewählt werden. Außerdem schatten Objekte im Vordergrund dahinter liegende Gegenstände ab, so dass in der Auswertung Informationen innerhalb der verschatteten Objekte fehlen. Zu einer vollständigen dreidimensionalen Erfassung muss ein Objekt somit von mehreren Blickwinkeln aufgenommen werden.

Alle oben genannten Fehler sind bei der Erstellung von 3D-Modellen oder Animationsfilmen nachteilig. Beim Herausarbeiten von zweidimensionalen Plänen, wie Grundrisse, Aufrissen oder Schnitten, können sie allerdings leicht vernachlässigt werden.

5.4 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie basiert auf dem Prinzip der Triangulation. Mit einer im Fotoapparat integrierten Messkammer mit bekannter innerer Orientierung (Brennweite, Verzeichnung, Hauptpunktlage) wird vom zu vermessenden Objekt ein Photo, sog. Messbild (Abb. 40), hergestellt und mit Hilfe von Passmarken anschließend am Rechner entzerrt. Die Passmarken wurden zuvor an die Objekt Oberfläche angebracht (so dass sie im Photo sichtbar sind) und eindeutig in ihrer Position vermessen.²⁰ Als Ergebnis wird eine maßstäbliche Darstellung in Bildform (sog. Orthophoto) oder als Vektor-Graphik geliefert, welche jeweils den Gegenstand eindimensional in orthogonaler Projektion darstellen. Mit orthogonaler Projektion ist die maßstäbliche Abbildung dreidimensionaler Objekte auf eine zweidimensionale Bildebene gemeint.

²⁰ Dies kann einfach mit einem Maßband oder weitaus genauer mit einem Tachymeter geschehen.

5.4.1 Klassifizierung der Auswertungsverfahren

Es lassen sich drei Auswertungsverfahren unterscheiden: Einbild-, Stereo- und Mehrbildauswertung.

Bei der Einbildphotogrammetrie wird ein Foto ausgewertet (Abb. 37). Etwas komplizierter sind die Verfahren Stereo- und Mehrbildphotogrammetrie. Die Grundlage beider Verfahren ist dieselbe: Durch die Schnittpunkte der Bildstrahlen identischer Punkte lässt sich deren Räumliche Lage bestimmen. Der Unterschied liegt in der Anordnung der Messkammern. Bei der Stereophotogrammetrie nehmen zwei Messkammern mit paralleler Bildachse das Objekt auf (Abb. 38), bei der Mehrbildphotogrammetrie wird das Objekt durch zwei oder mehr Aufnahmen aus verschiedenen Winkeln aufgenommen (Abb. 39).²¹

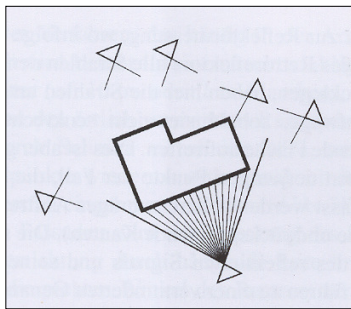


Abb. 37: Einzelbildaufnahmen

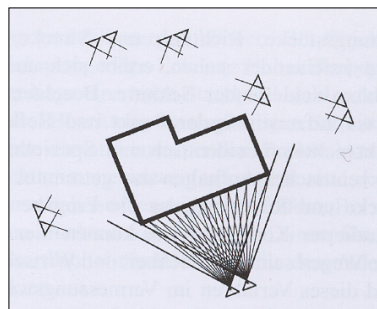


Abb. 38: Stereophotogrammetrie

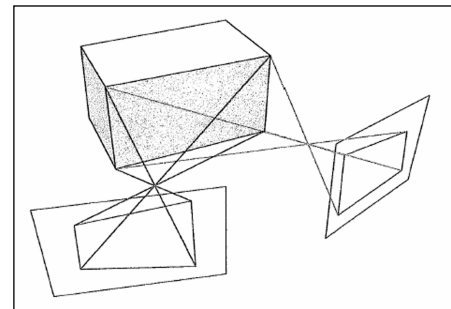


Abb. 39: Mehrbildphotogrammetrie

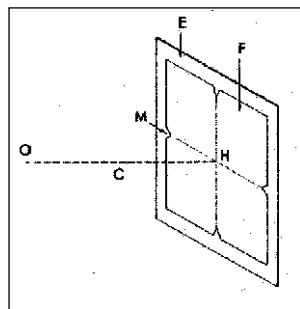


Abb. 40: Schematische Darstellung eines Messbildes mit Rahmenmarken und Bildhauptpunkt

- E = Bildebene
- F = Sensorformat
- M = Rahmenmarken
- H = Bildhauptpunkt
- O = Projektionszentrum
(Brennpunkt des Objektivs)
- C = Kamerakonstante
(Brennweite des Objektivs)

5.4.2 Vor- und Nachteile der Photogrammetrie

Das Verfahren eignet sich insbesondere für verformungsgetreue Darstellungen ebener Flächen (z. B. Wände, Fassaden, Decken, Böden), also auch für die Dokumentation von weniger raumgreifenden bzw. flachen Rauminstallationen. Sichtflächen lassen sich in einem hohen Maß an Genauigkeit dokumentieren. Bei dreidimensionalen Gegenständen stößt das Verfahren jedoch an seine Grenzen und wird ungenau.

Vorteilhaft ist die nahezu berührungsarme Arbeitsweise. Der einzige Kontakt zur Objektoberfläche besteht in der Anbringung bzw. Entfernung von Passpunkten, welcher sich als schwierig erweisen kann. Klebstoffreste könnten auf dem Kunstwerk verbleiben. Hier empfiehlt es sich vorher definierte Merkmale berührungsfrei tachymetrisch zu vermessen.

Als problematisch können sich auf der Photographie verdeckte Partien erweisen. Hier treten Informationsdefizite auf, durch die Fehlinterpretationen bei der Bildauswertung (welche nicht unmittelbar vor Ort stattfindet, sondern am Rechner) auftreten können.

Im Verhältnis zu anderen beschriebenen Verfahren ist die Gesamtarbeitszeit (Aufnahme vor Ort und Auswertung am Rechner) gering und der Detaillierungsgrad hoch.

²¹ Wanke 2003, S. 46.

5.5 Sphärische²² Kamera

Mit einer sphärischen Kamera²³ können Räume mit ihrem Inventar als ein digitales Bildpanorama aufgenommen werden. Der Gesamteindruck eines Raumes lässt sich so gut dokumentieren. Innerhalb des Panoramas können anschließend am Rechner per Mausclick Bewegungen ausgeführt sowie Strecken zwischen einzelnen Punkten im Raum in einer Genauigkeit von 2-3 cm gemessen werden.

Die Aufnahmen einzelner Bildausschnitte erfolgen von einem definierten Standpunkt aus, an dem die Kamera auf einem Stativ aufgestellt ist. Ein senkrechter Kameraarm führt automatisch einen Rundscan durch. Anschließend wird die Kamera um einen Meter erhöht und ein weiterer Rundscan erstellt. Mit Hilfe einer Auswertungssoftware²⁴ werden die Aufnahmen der beiden Rundscans zusammengerechnet, so dass jedem Pixel dreidimensionale Raumkoordinaten zugeteilt werden können. In dem erstellten virtuellen Raum verfügt demnach jeder Punkt über eine Koordinate. Aus den Koordinaten können mit der gleichen Software Punkte anvisiert, miteinander verbunden und so zweidimensionale Pläne erstellt werden, welche anschließend ausgedruckt und archiviert werden können.

Das Verfahren wird u. a. in der Forensik zur Untersuchung von Tatorten verwendet. Für den Einsatz bei der Vermessung von Rauminstallationen jedoch ist die Genauigkeit von 2-3 cm nicht ausreichend.

5.6 Methoden aus der Grabungstechnik

Da an die Dokumentation von Grabungsstätten ähnliche Anforderungen gestellt werden wie an die Erfassung von Rauminstallationen, liegt es nahe, sich in diesem Zusammenhang mit den Verfahren der Grabungstechnik zu befassen.

5.6.1 Zeichenrahmen

Der Zeichenrahmen, auch Messgitter (Abb. 41) genannt, ist mehr eine Zeichenhilfe für ein Handaufmaß als ein Messgerät. Er beruht auf einem rechtwinkligen Koordinatenraster (quadratische Maschen in Größe von 5 cm bis 10 m, die ein Schnurgitter ergeben), welches über das zu vermessende Objekt gespannt wird. Ausgehend von den angelegten Rasterpunkten, die bei Bedarf mit Schnüren visualisiert werden können, werden Objektpunkte orthogonal mittels Messband oder Meterstab eingemessen. Die Rasterpunkte müssen genau im rechten Winkel definiert sein. Für die Objektpunkteinmessung wird hingegen der rechte Winkel geschätzt, wenn die x- und y-Abstände gemessen werden. Es wird empfohlen vom Großen ins Kleine zu arbeiten, um Fehler zu vermeiden. Meistens wird auf Millimeterpapier gezeichnet.

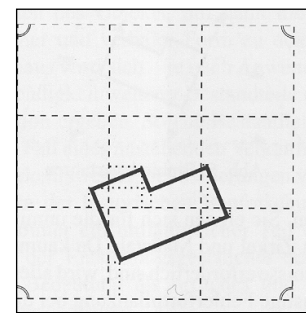


Abb. 41: Rasteraufnahme

²² Gr. sfära = Kugel.

²³ Meistens verfügt diese Kamera über Weitwinkel-Objektive. Sphärische Kameras werden z. B. von der Firma Spheron angeboten.

²⁴ Eine entsprechende Software wird von der Firma PMS AG (Photo Mess Systeme), St. Margrethen, angeboten.

Das Verfahren funktioniert gut in der Ebene. Große Gegenstände können der Schnur den Weg versperren. Außerdem entstehen Messfehler, wenn der Höhenunterschied zwischen dem Messgitter und dem zu messenden Punkt groß ist. Dann entsteht nämlich eine optische Verschiebung zwischen dem Objekt und dem darüber schwebenden Messgitter. Das Verfahren ist somit nur für Arbeiten in flacher Ebene geeignet. Vorteilhaft ist, dass es keinen Stromzugang benötigt. Aus diesem Grund wird es häufig bei archäologischen Ausgrabungen verwendet.

5.6.2 Feldpantograph

Der Feldpantograph arbeitet teilmechanisch und ist eine Kombination aus Mess- und Zeichengerät. Mit dem Pantograph werden die zu zeichnenden Konturlinien mit einem Abtaststift abgefahren und dabei mechanisch in einem festen Maßstab auf einen Zeichenträger (meist weißer Zeichenkarton) übertragen.²⁵

Es dient an sich zur Vergrößerung oder Verkleinerung von Plänen, indem die Vorlage mit einer an einem Schenkelmechanismus befestigten Spitze abgegriffen wird und ein Zeichenstift in anderem Maßstab diese Bewegung wiedergibt.²⁶

So lassen sich Details eines Kunstobjekts eintragen, ohne für jeden einzelnen Punkt Maße ermitteln zu müssen. Der Feldpantograph hat eine begrenzte Reichweite von nur wenigen Metern. Mit einem Gerät für den Aufnahmemaßstab 1:20 lassen sich z. B. Objekte in ca. 3 m Umkreis aufnehmen.²⁷ Daher lohnt sich der Aufwand nur bei komplizierten Strukturen, die wiederum in einer Ebene liegen müssen. Ein Feldpantograph ist außerdem ein Messinstrument, welches nicht im allgemeinen Verkaufssortiment vorhanden ist. Es wird meistens vom Vermesser selbst hergestellt.

Wie beim Zeichenrahmen handelt es sich hierbei um ein Verfahren, welches gerne im archäologischen Feld Verwendung findet, da es keinen Stromzugang benötigt.

5.6.3 Trigomat

Zum Trigomatsystem gehören drei Wegaufnehmer (Stahlmessbänder) mit Stativen und die dazugehörige Software. Es werden einzelne Messpunkte durch einen Messzeiger abgegriffen. Der Messzeiger bündelt die drei Stahlmessbänder, welche an der Messspitze miteinander verbunden sind (Abb. 42). „Durch die mechanische Wegmessung zu drei bekannten Punkten mittels am Messzeiger befestigter Maßbänder können die absoluten und dreidimensionalen Koordinaten der Messpunkte bestimmt werden.“²⁸

Bei der verwendeten Software handelt es sich um ein DOS-Programm, welches, ähnlich wie ein CAD-Programm, direkt an ein Messgerät angeschlossen ist und die Messdaten sofort graphisch auf einem Display darstellt.²⁹ Das DOS-Betriebssystem wurde von dem heute gebräuchlichen „Windows“-Betriebssystem abgelöst. Diese Tatsache macht das Arbeiten mittels Trigomat zu einer veralteten Methode. Das Trigomatsystem wurde vom Tachymeter abgelöst.

²⁵ Wanke 2003, S. 41.

²⁶ Grossmann 1993, S. 88.

²⁷ Wanke 2003, S. 61.

²⁸ Wanke 2003, S. 43.

²⁹ Das DOS-Programm ist im Prinzip CAD-kompatibel, muss jedoch erst transformiert werden, was einen zusätzlichen Aufwand bedeutet.

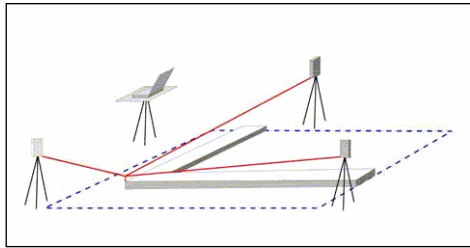


Abb. 42: Trigomat-System

Bei der Vermessung von Rauminstallationen mit dem Trigomat muss außerdem bedacht werden, dass die Messbänder zu jedem einzelnen Punkt geführt werden müssen (wenn die Messungen mit dem Messzeiger und nicht durch einen Tachymeter vorgenommen werden), was bei dreidimensionalen Objekten zu Schwierigkeiten führen bzw. ausgeschlossen sein kann. Bei flachen Bodenarbeiten kann das System hingegen sehr nützlich sein.

6 Literatur

Barth / Foppe / Schäfer 2005: Barth, Wolf / Foppe, Karl / Schäfer, Thomas (Hrsg.): Terrestrisches Laserscanning (TLS), Ein geodätisches Messverfahren mit Zukunft, Beiträge zum 65. DVW-Seminar am 21. und 22. November 2005, Augsburg 2005

Böhler 2001: Böhler, Wolfgang: Einsatz verschiedener Vermessungsverfahren in der historischen Bauforschung – Möglichkeiten und Grenzen, in: Weferling, Ulrich / Heine, Katja / Wulf, Ulrike (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Mainz 2001

Cramer 1984: Cramer, Johannes: Handbuch der Bauaufnahme, Stuttgart 1984

Duden 1990: Duden, Das Fremdwörterbuch, Mannheim 1990

Eckstein 2001: Eckstein, Günter: Vom Messbild zur Bauanalyse, Stuttgart 2001

Eis 2004: Eis, Eva: München, St. Kajetan: Wachsrelief des Hl. Josef, 18. Jahrhundert, Fallstudie WS 2003 / 2004, SS 2004, Technische Universität München, München 2004

Grossmann 1993: Grossmann, G. Ulrich: Einführung in die historische Bauforschung, Darmstadt 1993

Hedler / Neuhaus 1995: Hedler, Emil / Neuhaus, Dirk: Anleitung zum formgerechten Handaufmaß, Skript zur Vorlesung der Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Abteilung Mainz I, Mainz 1995

Huber 2005: Huber, Paul: Zum Technischen Charakter einer renaissancezeitlichen Festsaaldecke in Schloss Ortenburg, Konstruktion als Medium von Architektur, Diplomarbeit, Technische Universität München, München 2005

<http://www.arctron.de/3D-Vermessung/3D-Laserscanning/Verfahren.php>, am 1. Dezember 2005

http://www.baulexikon.de/Bautechnik/Begriffe_Bautechnik/b/BAUlexikon_bauaufnahme.htm, am 4. Dezember 2005

<http://www.elcovision.com>, am 4. Mai 2007

http://www.filmscanner.info/Glossar_S.html, am 2. März 2006

<http://www.freiburg-panorama.com/>, am 2. März 2006

<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/>, am 4. Dezember 2005

<http://www.laser-scan.de/verfahren.html>, am 1. Dezember 2005

<http://www.puchner.org/Fotografie/technik/physik/objektiv.htm>, am 2. März 2006

<http://www.spheron.com/>, am 2. März 2006

<http://www.trigomat.com/>, am 8. Februar 2006

<http://de.wikipedia.org/>, vom 1. März bis zum 4. April 2006

Joeckel / Stober 1999: Joeckel, Rainer / Stober, Manfred: Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung, Stuttgart 1999

Jordan 1893: Jordan, Dr. W.: Handbuch der Vermessungskunde, Bd. 2, Feld- und Landmessung, Stuttgart 1893

Luhmann 2002: Luhmann, Thomas (Hrsg.): Photogrammetrie und Laserscanning, Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Heidelberg 2002

Niemeier / Thomsen / Schäfer 2002: Niemeier, Wolfgang / Thomsen, Sven / Schäfer, Markus: 3-D-Geometrieerfassung mit terrestrischen Laserscannern; in: Luhmann, Thomas (Hrsg.): Photogrammetrie und Laserscanning, Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Heidelberg 2002

Peter 2001: Peter, N.: Lexikon der Bautechnik, 10.000 Begriffsbestimmungen, Erläuterungen und Abkürzungen, Heidelberg 2001

Petrahn 2003: Petrahn, Günter: Taschenbuch Vermessung, Grundlagen der Vermessungstechnik, Berlin 2003

Petzet / Mader 1993: Petzet, Michael / Mader, Gert: Praktische Denkmalpflege, 2. Auflage, Stuttgart, Berlin, Köln 1993

Seibert 1964: Seibert, Hermann: Vermessungstechnische Instrumente, Düsseldorf 1964

Staiger 2005: Staiger, Rudolf: Terrestrisches Laserscanning – Eine neue Universalmethode?; in: Barth, Wolf / Foppe, Karl / Schäfer, Thomas (Hrsg.): Terrestrisches Laserscanning (TLS), Ein geodätisches Messverfahren mit Zukunft, Beiträge zum 65. DVW-Seminar am 21. und 22. November 2005 in Fulda, Schriftenreihe des DWG, Band 48/2005, Augsburg 2005

Volquardts / Matthews 1986: Volquardts, Hans / Matthews, Kurt: Vermessungskunde, Für die Fachgebiete Architektur / Bauingenieurwesen / Vermessungswesen, Teil 2, Stuttgart 1986

Wanke, Tilman Andreas: Dokumentation von Mauerverstürzen und Mauerstümpfen, Diplomarbeit, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin 2003

Weferling / Heine / Wulf 2001: Weferling, Ulrich / Heine, Katja / Wulf, Ulrike (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Mainz 2001

Wenzel / Kleinmanns 2000: Wenzel, Fritz / Kleinmanns, Joachim: Denkmalpflege und Bauforschung, Aufgaben, Ziele Methoden, Karlsruhe 2000

Wilhelm 2004: Wilhelm, Carolin: Reliefs in Serie – Technologische Untersuchung und Rekonstruktion der Vervielfältigungstechnik einer ausgewählten Serie von Ton- und Papiermaschéreliefs des 15. Jahrhunderts, Diplom-Arbeit, Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, Stuttgart 2004

Wunderlich 2005: Wunderlich, Thomas: Grundlagen der Vermessungskunde 2, Vorlesungsskript 2. Semester, SS 2005, Lehrstuhl für Geodäsie, TU München, München 2005

7 Abbildungsnachweis

- Abb. 1: Nullpunkt des Bandmaßes; aus: Petrahn 2003, S. 161
Abb. 2: Bandmaß; aus: Petrahn 2003, S. 160
Abb. 3: Prinzip des Impulslaufzeitverfahrens; aus: Joeckel / Stober 1999, S. 19
Abb. 4: Prinzip des Phasenvergleichsverfahrens; aus: Joeckel / Stober 1999, S. 29
Abb. 5: Schlauchwaage; aus: Petrahn 2003, S.192
Abb. 6: Nivelliergerät; aus www.leica-geosystems.com, am 4. April 2006
Abb. 7: Prinzip der Höhenmessung mittels Nivelliergerät; aus: Wunderlich 2005, S. 36
Abb. 8: Rotationslaser; aus: www.leica-geosystems.com, am 4. April 2006
Abb. 9: Historischer Theodolit; aus: Jordan 1893, S. 179
Abb. 10: Moderner Theodolit; aus: www.leica-geosystems.com, 17. März 2006
Abb. 11: Totalstation; aus: www.leica-geosystems.com, am 4. April 2006
Abb. 12: Winkelspiegel; aus: Seibert, 1964
Abb. 13: Winkelprisma; aus: Seibert, 1964
Abb. 14: Doppelprisma; aus: Seibert, 1964
Abb. 15: Kreisbussole; aus: Volquardts / Matthews 1986, S. 137
Abb. 16: Raum mit Grundrissebene; Grafik erstellt von Eric Schäfer und Alexandra Czarnecki
Abb. 17: Raum mit gespannten Schnüren; Grafik erstellt von Eric Schäfer und Alexandra Czarnecki
Abb. 18: Knoten; aus: Cramer 1984, S. 43
Abb. 19: Ketten- und Stichmaß nehmen; Grafik erstellt von Eric Schäfer und Alexandra Czarnecki
Abb. 20: Dreiecksmessung; Grafik erstellt von Eric Schäfer und Alexandra Czarnecki
Abb. 21: Verformungsgerechtes Handaufmaß; Grafik erstellt von Alexandra Czarnecki
Abb. 22: Vertikale Ebene; Grafik erstellt von Eric Schäfer und Alexandra Czarnecki
Abb. 23: Durch Lote visualisierte vertikale Ebene; Grafik erstellt von Eric Schäfer und Alexandra Czarnecki
Abb. 24: Messung der Höhe von der Messflucht aus; Grafik erstellt von Alexandra Czarnecki
Abb. 25: Verbindungslinien; Grafik erstellt von Alexandra Czarnecki
Abb. 26: Werkzeug für das Handaufmaß; Photo von Maike Grün
Abb. 27: Zeichnen vor Ort; Photo von Maike Grün
Abb. 28: Dreikant; Photo von Alexandra Czarnecki
Abb. 29: Linien und Symbole; Grafik erstellt von Alexandra Czarnecki
Abb. 30: Verbindungslinien mit Zirkelschlägen; Grafik erstellt von Alexandra Czarnecki
Abb. 31: Möglicher Datenfluss; aus Petrahn 2006, S. 259
Abb. 32: Modellierung mit repräsentativen Punkten; aus: Niemeier/Kern 2001, S. 135
Abb. 33: Modellierung mit Laser-Scanner; aus: Niemeier / Kern 2001, S. 135
Abb. 34: Kamera-Scanner; aus: Barth / Foppe / Schäfer 2005, S. 6
Abb. 35: Hybrid-Scanner; aus: Barth / Foppe / Schäfer 2005, S. 6
Abb. 36: Panorama-Scanner; aus: Barth / Foppe / Schäfer 2005, S. 6
Abb. 37: Einzelaufnahme; aus: Böhler, 2001, S. 28
Abb. 38: Stereophotogrammetrie; aus: Böhler, 2001, S. 28
Abb. 39: Mehrbildphotogrammetrie; aus: Wanke 2003, S. 47
Abb. 40: Schematische Darstellung eines Messbildes; aus: Huber 2005, S. 49
Abb. 41: Rasteraufnahme; aus: Böhler, 2001, S. 26
Abb. 42: Trigomat; Grafik erstellt von Dipl.-Ing. Tilman Wanke