



**KOMZET
BAU BÜHL**

Kompetenzzentrum
der Bauwirtschaft



Aufmaßsysteme



Berufsförderungswerk
der Südbadischen
Bauwirtschaft GmbH

Inhalt

Berührungslos aufmessen	3
Was ist Tachymetrie?	3
3D-Laserscanning für exakte Abbilder von Oberflächen und Räumen	4
Photogrammetrie	5
Hoher Nutzen im Holzbau dank Schnittstelle zwischen Tachymeter und 3D-CAD/CAM-System	5
Der Einsatzzweck bestimmt die Methode	6

Berührungslos aufmessen ...

... oder was die neuen Aufmaßtechniken leisten

Die letzten Jahrzehnte kam man beim Aufmaß mit Meterstab und Bandmaß, Lot und Wasserwaage, Nivelliergerät und Theodolit aus. Wer heute beim Planen und Bauen im Bestand aber auf eine exakte und wirtschaftliche Erfassung des Ist-Zustandes angewiesen ist, nutzt darüber hinaus neue digitale Verfahren für ein berührungsloses Aufmaß, wie die Tachymetrie, das 3D-Laserscanning oder die Photogrammetrie. Mit ihnen lassen sich hoch präzise Abbilder von Bauteilen oder ganzen Objekten erstellen. Wie sie funktionieren und was sie voneinander unterscheidet, erklärt dieser Artikel.

Abmessungen von Bauteilen oder ganzen Objekten festzustellen, ist beim klassischen Handaufmaß eine zeit- und personalintensive Angelegenheit. Denn für zuverlässige Messungen benötigt man mindestens zwei Personen. Schon seitdem es Laser-Distanzmessgeräte, Nivellier- oder Rotationslaser gibt, lässt sich ein Aufmaß schneller als zuvor und im Ein-Mann-Betrieb erstellen. Mit diesen Geräten können aber nur Strecken gemessen werden, so dass das Erfassen genauer Winkel meist dennoch dem Vermessungsingenieur mit dem relativ aufwändig zu bedienenden Theodoliten vorbehalten bleibt.

Will man als Handwerker, Bauunternehmer oder Planer nun nicht bei jeder Bauaufgabe einen Fachingenieur heranziehen, stellt sich die Frage nach wirtschaftlichen und handhabbaren Alternativen zu Maßband, Bleistift und Notizblock. Um so mehr auch vor dem Hintergrund, dass die Sanierung, Erweiterung und Umnutzung bestehender Gebäude immer mehr an Bedeutung gewinnt, und eine exakte Bestandserfassung, beziehungsweise ein verformungsgetreues Aufmaß für die weitere Planung unverzichtbar ist.

Die Alternative sind digitale Messverfahren. Es gibt vor allem drei etablierte Verfahren und Geräte, die es erlauben, ganze Gebäudekomplexe millimetergenau aufzunehmen: die Tachymetrie, das 3D-Laserscanning und die Photogrammetrie. Die jüngste Technik ist das Laserscanning.

Das rechnergestützte Aufmaß automatisiert und verkürzt im Vergleich zum Handaufmaß nicht nur den Messvorgang, der die gebaute Wirklichkeit in numerische Werte (Längen und Winkel) übersetzt, sondern spart auch einen kompletten Zwischenschritt: die Eingabe der analogen Messdaten in den Rechner. Die einzelnen Verfahren überprüfen außerdem mit einer Plausibilitätskontrolle, ob die Aufmaßdaten präzise, vollständig und korrekt sind.

Um Missverständnissen vorzubeugen, sei hier erwähnt, dass digitale Aufmaßsysteme nicht in der Lage sind, automatisch für die Planung verwertbare CAD-Zeichnungen zu erstellen. Noch immer ist der manuelle Aufwand, von den „nackten“ Messdaten zum Bauplan oder zum 3D-Modell, beträchtlich – die große Ausnahme findet man bei einer Geräte/Software-Kombination aus dem Holzbaubereich*).

Was ist Tachymetrie und was macht ein Tachymeter?

Die Tachymetrie (Schnellmessung; griech. tachys: schnell) wurde vor etwa 40 Jahren entwickelt und ist ein vermessungstechnisches Verfahren mit hoher Genauigkeit. Der Tachymeter, ein optoelektronisches Messgerät, ist die Kombination aus einem Theodolit und einem Laser-Distanzmesser und ist damit Höhen-, Winkel- und Entfernungsmessgerät in einem. Beim Aufmaß wird der sichtbare Laserstrahl auf einen markanten, sog. diskreten Objektpunkt, z. B. die Eckpunkte von Fassadenflächen oder Fensteröffnungen, gerichtet. Über die Laufzeit des Laserlichtes wird die Entfernung zwischen Tachymeter und Objektpunkt errechnet. Aus Distanz und Ausrichtung des Laserstrahls lässt sich die räumliche Lage des Objektpunkts in Bezug auf den Tachymeter ermitteln (so genannte Polarkoordinaten). Auf diese Weise wird das Objekt Punkt für Punkt abgetastet. Über integrierte Mikroprozessoren kann der Tachymeter die aufgenommenen Punkte speichern oder sie über Schnittstellen in ein CAD-System*) auf einen Rechner mit entsprechender Software übertragen.

*) siehe auch unter „Hoher Nutzen im Holzbau dank Schnittstelle zwischen Tachymeter und 3D-CAD/CAM-System“

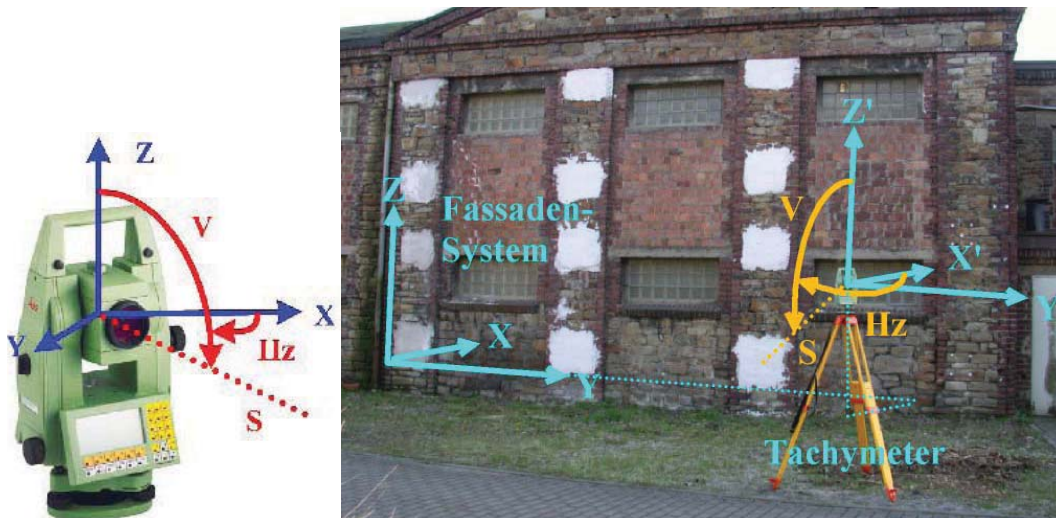


Abb. 1: Tachymeter und Prinzip der Polaren Vermessung / Absteckung

Polare Vermessung

Das Prinzip der polaren Vermessung (s. Abb. 1) beruht darauf, mit einem Vermessungsgerät (Tachymeter) die Polarelemente Horizontalrichtung (Hz), Vertikalwinkel (V) und Strecke (S) zu bestimmen und in dreidimensionale, rechtwinklige Koordinaten XYZ umzurechnen. Mit Hilfe von Passpunkten (im vorliegenden Fall auf die Fassade aufgeklebten Messmarken) ist es möglich, dieses Koordinatensystem jederzeit wieder herzustellen. So ist es, bei entsprechenden Orientierungsmessungen und Berechnungen möglich, die Fassade von verschiedenen Gerätestandpunkten aus zu vermessen und die Befestigungspunkte der Fassadenelemente zu einem späteren Zeitpunkt abzustecken. Als Vermessungsgerät wurde ein Tachymeter TCRM1102 der Firma Leica eingesetzt, das zum Zeitpunkt der Anschaffung als einziges kommerzielles Vermessungsgerät die Hauptanforderungen erfüllte: reflektorlos messend und über Servomotoren ansteuerbar.

Die Tachymetrie erlaubt also eine berührungslose Distanzmessung zu frei wählbaren (Gebäude-)Punkten.

Die Tachymetrie ist ein erprobtes und robustes vermessungstechnisches Verfahren. Mit ihr können einfache Bauwerksgeometrien wirtschaftlich erfasst werden. Die Nachbearbeitungszeit im Büro ist meist gering. Die Gerätekosten liegen zwischen 5.000,- und 25.000,- Euro.

Mit dem Tachymeter den Millimeter im Griff haben – auch ohne PC-Anbindung

Tachymeter sind auch ohne PC-Anbindung wertvolle Helfer, die den Arbeitsalltag auf der Baustelle erheblich erleichtern. Sie ermöglichen aufgrund von geräteinternen Rechneinheiten ein Längen-, Flächen- und Volumenaufmaß, die Berechnung von Winkeln mit einer Genauigkeit von etwa 3 mm auf 100 m, das Abstecken von Achsen, Fluchten und Bögen, die Kontrolle von Neigungen, Entfernungen und Parallelitäten sowie die Übertragung und Kontrolle von Höhen. Selbst Polarkoordinaten lassen sich in kartesische Koordinaten umwandeln.

Ein Tachymeter liefert dem Holzbauer überall da, wo er etwas messen muss, schnell präzise Daten, z. B. beim Aufmaß und der Kontrolle von Dach- und Fassadenflächen, von Treppenräumen und Gerüstmaßen etc., aber auch beim Richten von Holzkonstruktionen und Einmessen von Schnurgerüsten.

3D-Laserscanning für exakte Abbilder von Oberflächen und Räumen

Wie bei der Tachymetrie wird beim 3D-Laserscanning – beides sind polare Mess-techniken – ein Objekt wie beispielsweise ein Raum oder eine Fassade durch einen Laserstrahl abgetastet und für jeden Abtastpunkt die Distanz gemessen. Anders als bei der Tachymetrie wird jedoch beim Laserscanning die gesamte Oberfläche

des Objektes netzartig mit einer großen Zahl von Messpunkten überzogen. Dadurch erhält man eine sehr detaillierte Oberflächenaufnahme des geometrischen Gebildes. Ein Scanvorgang erzeugt eine so genannte Punktwolke mit einer hohen Dichte an Punktkoordinaten (hunderttausende bis mehrere Millionen), die von einer speziellen Software ausgewertet werden. Zu jedem aufgenommenen Punkt gehört außerdem ein Helligkeitswert, der die Reflektion des Laserstrahls wider gibt. Eine Punktwolke bildet die aufgenommene Fläche daher auch farblich differenziert ab.

Für eine Weiterverwendung im 2D- oder 3D-CAD-System müssen die Punktwolken zwar noch zeitaufwändig am PC nachbearbeitet werden. Dennoch ist Laserscanning ein beliebtes, weil anschauliches Verfahren. Diese Methode eignet sich vor allem für besonders komplexe Baustrukturen, deren Vermessung mit den übrigen Verfahren noch aufwändiger wäre.

Allerdings sind die Anschaffungskosten für Gerät und Auswertungssoftware sehr hoch. Die Kosten liegen alleine für die Hardware zwischen 50.000 und 150.000 Euro. Hinzu kommen noch erhebliche Kosten für die Software.

Hinweis zur Nachbearbeitung

Die Umwandlung von „Punktwolken“ in CAD-fähige 3D-Daten ist eine vom Aufwand her unterschätzte Aufgabe. Wie gut sie gelingt, hängt sehr von der Erfahrung der auswertenden Person ab. Denn es ist durchaus eine Kunst, bei der Bearbeitung der Punktwolken die „richtigen“ Punkte für das 3D-Drahtmodell aus der Menge der „hunderttausenden bis mehrere Millionen“ Punktkoordinaten herauszupicken. Hier liegt die größte Fehlerquelle und je nach Genauigkeitsanforderung das größte Problem.

Die Ungenauigkeiten können durchaus mehrere Millimeter bis Zentimeter betragen. Will man nun beispielsweise die Lage und Größe einer Fensteröffnung bestimmen, kommt es nicht selten vor, dass die (aufsummierten) Ungenauigkeiten nicht mehr im Rahmen der üblichen Toleranzen liegen. Leider gibt es auch keine „Software“, die innerhalb einer Punktwolke automatisch die richtigen Punkte ermittelt, also diejenigen, die exakt die realen Punkte abbilden. Die Auswahl muss per Hand erfolgen, und die

Trefferquote hängt wie erwähnt von der Erfahrung des Anwenders ab.

Hier sei darauf hingewiesen, dass sich die zu verkräftenden Toleranzen auch am Zweck des Aufmaßes orientieren: So spielen bei einem Fassadenaufmaß, das zu Abrechnungszwecken oder zur LV-Erstellung durchgeführt wird, ein paar Zentimeter oftmals keine Rolle. Soll eine Bestandsfassade aber eine zweite Dämmschicht in Form von vorgefertigten Holzrahmenbau-Elementen erhalten (TES EnergyFacade), muss das Aufmaß 100%ig stimmen, um die neuen Dämmelemente auf Basis der Daten wie einen fugenlosen Abguss der Bestands-oberfläche herstellen zu können.

In diesem Fall ist es möglicherweise sinnvoller, mit einem Tachymeter aufzumessen, mit dem man Punkte gezielt vermisst – quasi ohne Streufaktor. Wenn man beim Beispiel des Fensters bleibt: Hier werden ggf. nur vier Eckpunkte vermessen.

Will man dagegen eine unebene Bestandsfassade aufmessen, kann man Unebenheiten mit dem Tachymeter nicht erfassen.

In der Praxis werden daher meist verschiedene Methoden kombiniert. So könnte man bei einer unebenen Fassade z. B. ein 3D-Laserscanning durchführen, verschiedene Referenzpunkte wie Fensterecken aber zusätzlich mit dem Tachymeter nachmessen und die Werte des Laserscannings damit überprüfen und ggf. korrigieren. Damit lassen sich Toleranzen von + 5 mm erreichen.

Photogrammetrie

Die Kunst, ein Objekt am Bild zu vermessen Die Photogrammetrie wird auch als Lichtbildmesskunst bezeichnet. Sie ist die älteste der drei Messtechniken und wurde bereits Mitte des 19. Jahrhunderts, nur wenige Jahre nach Erfindung der Fotografie, entwickelt. Charakteristisch für die Photogrammetrie ist, dass man die Größe eines fotografierten Objekts und dessen Lage im Raum nicht am Objekt selbst, sondern im Bild abmisst.

Dabei wird entweder ein zentralperspektivisch aufgenommenes digitales Foto anhand von ermittelten Messpunkten entzerrt (dieses dann maßstäbliche Foto heißt Messbild) oder – bei besonders großen Objekten – die Lage von Bauwerkspunkten

aus zwei oder mehr Messbildern (Stitching-Verfahren) ermittelt. Aus den so entstandenen Fotos lassen sich exakte Messwerte entnehmen, die wiederum an ein CAD-System übermittelt werden können. Man spricht hier von Einbild-Photogrammetrie. Bei der Mehrbild-Photogrammetrie werden aus mehreren Aufnahmen eines Objekts, die über ein Referenzpunktenetz miteinander verknüpft sind, dreidimensionale Raumkoordinaten markanter (diskreter) Bildpunkte errechnet. Daraus lassen sich ein Kanten- und ein Flächenmodell eines Objekts ableiten. Zur besseren Visualisierung kann das Flächenmodell mit den korrespondierenden Bildausschnitten belegt werden.

Die Photogrammetrie besticht durch ihre Einfachheit in der Bedienung und der Visualisierung der Ergebnisse und kommt den Sehgewohnheiten stark entgegen. Das sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Qualität der Digitalkameras und die Randbedingungen die Messgenauigkeit stark beeinflussen. Die vergleichsweise geringen Kosten für die Kameras und Bildauswertungssoftware haben der Photogrammetrie als Aufmaßtechnik im Bau zum Durchbruch verholfen. Die Methode ist einfach erlernbar und die Software ist für wenige hundert bis zu mehreren tausend Euro erhältlich.

Hoher Nutzen im Holzbau dank Schnittstelle zwischen Tachymeter und 3D-CAD/CAM-System

Um das Leistungsspektrum der Tachymeter im Holzbau voll ausschöpfen zu können, entwickelte die cadwork informatik Software GmbH eine direkte Schnittstelle für ihr 3D-CAD/CAM-System cadwork® zu den Tachymetern der Leica Geosystems AG. „Direkt“ heißt ohne Umwege einer Zwischenspeicherung, wie es bei der Übertragung von Messdaten über die üblichen DXF-Schnittstellen an CAD-Programme der Fall ist, was häufig zu nicht vertretbaren Datenverlusten führt.

Mit der neu entwickelten Schnittstelle können die Daten über Kabel oder Funk direkt vom Leica-Tachymeter in cadwork® übertragen und visualisiert werden. Dabei verbindet das Programm die erfassten Punkte mit Linien zu einer Aufmaß-Skizze und das

Gemessene ist sofort als 3D-Modell am Bildschirm sichtbar.

Den in cadwork® als „Knoten“ bezeichneten Messpunkten können verschiedene Farben zugeordnet werden, so dass sich die Referenz- und Messpunkte gut unterscheiden. Die Messungen lassen sich außerdem mit Namen und Kommentaren übersichtlich strukturieren. Die erfassten Daten stehen dann auch sofort zur Weiterverarbeitung in cadwork® zur Verfügung.

Damit setzt dieses System neue Maßstäbe. Bei der energetischen Sanierung von Fassaden, die z.B. eine „zweite Haut“ in Form von vorgefertigten Holzrahmenbauelementen erhielten, konnte es bereits mit Erfolg eingesetzt werden.

... und weitere Optionen

Darüber hinaus gibt es weitere Hersteller, die Schnittstellen als Bindeglied zwischen Laser-Distanzmessgerät und CAD-Software entwickelt haben. Zum Beispiel das Unternehmen Techni-Soft unter dem Namen Flexijet. Das 3D-Aufmaßsystem lässt sich in den Bereichen Dachabbund, Ingenieurholzbau, Fertighaus- und Elementbau einsetzen. Es ist in der Lage, mit den CAD-Programmen von Dietrich, Kubi und Sema zusammenzuarbeiten. Mit einem mobilen Rechner ist es möglich, Flexijet-Messdaten direkt zu verarbeiten und die Messung per Mausklick zu starten. Umgekehrt können Konstruktionspunkte aus einem Holzbau-CAD auf eine reale Fläche projiziert werden. Mit dem aus einem Dreh- und schwenkbaren Laser-Distanzgerät von Leica, einem Stativ und einer 3D-Aufmaßsoftware bestehenden System lassen sich Innen- und Außenräume rationell erfassen. Die Messdaten können kabellos per Bluetoothverbindung an die Aufmaßsoftware übertragen und am Monitor angezeigt werden. Dadurch wird eine Vor-Ort-Überprüfung der Messung ermöglicht, was den Prozess zur fertigen CAD-Aufmaßskizze weniger fehleranfällig macht.

Der Einsatzzweck bestimmt die Methode

Da sich die berührungslosen Aufmaßsysteme stark unterscheiden, ist es erforderlich, vor Beginn eines Vermessungsprojektes genau zu untersuchen, welche Techniken für die jeweilige Aufgabe geeignet sind. Die prinzipiellen Stärken und Schwächen der beschriebenen Messverfahren und ihre Einsatzbereiche in der Praxis sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Schwächen lassen sich weitgehend kompensieren, wenn mehrere Verfahren miteinander kombiniert werden. So ist die Photogrammetrie und das Laserscanning in der Regel immer auf von Hand oder tachymetrisch genommene Einmessungen angewiesen. Die Verknüpfung von Einzelaufnahmen sowohl beim Laserscanning als auch bei der Photogrammetrie kann mithilfe tachymetrisch eingemessener Passpunkte besonders genau und effektiv gestaltet werden.

Das Laserscanning gewinnt zudem durch Zusatzinformationen aus Fotos. Auch sind Ergänzungsmessungen von Hand an schwer zugänglichen Stellen des Objektes wirtschaftlicher, als das kategorische Einscannen eines jeden Details.

Die Wahl des richtigen Systems hängt auch von der Leistungsphase eines Projekts ab: In frühen Projektphasen sind oft schnelle Aussagen gewünscht, und dazu werden verlässliche, wenn auch keine detaillierten

Fakten über ein Objekt benötigt. Hier bieten sich einfache Methoden wie Handaufmaß oder Einzelbild-Photogrammetrie an. Werden schon frühzeitig Überlegungen in Richtung einer Vorfertigung von Sanierungselementen gemacht, ist es empfehlenswert, sofort ein präzises Aufmaß von einem Vermessungsingenieur anfertigen zu lassen. Damit steht eine verlässliche Bestandsdokumentation zur Verfügung, die außerdem unverzichtbare Planungsbasis für alle Beteiligten im weiteren Prozess ist.

Welche Methoden für ein Fassadenaufmaß geeignet sind, das Grundlagen für die Ausführungsplanung liefern soll, muss von Fall zu Fall entschieden werden. Meist ist der Einsatz eines 3D-Laserscanners sinnvoll, da es das einzige Verfahren ist, mit dem man Ebenheitsanalysen der aufgenommenen Flächen erstellen kann.

Nicht alle Verfahren sind für einen Einsatz im eigenen Büro geeignet. Flexible Erfassungssysteme oder fotobasierende Systeme mit einfacher Bildverzerrung eignen sich aber durchaus auch für Planer, die einen Gebäudebestand nur gelegentlich erfassen müssen. Während die Einstiegskosten hier bei rund 500 Euro (ohne Hardware) liegen, sind Tachymeter- und insbesondere Scannersysteme schon aus Kostengründen häufig nur als Dienstleistung interessant.

Viele Vermessungsbüros haben sich auf das Aufmaß mit Tachymeter, Laserscanner oder fotogrammetrischer Software spezialisiert und bieten entsprechende Dienstleistungen an.

Aufmaßmethoden			
	Tachymetrie	Photogrammetrie	3D-Laserscanning
Geometrische Übereinstimmung	++	+	++
Detailgenauigkeit	+	++	+
Vollständigkeit Modell	o	+	++
Störung durch äußere Einflüsse	o*	+	o*
Integration Innenraum	++	+	++
Analyse-Möglichkeiten	+	+	++

Tab. 1: Tachymeter und Prinzip der Polaren Vermessung / Absteckung