

## Abrechnung nach tachymetrischen Aufmaßen

Im Gegensatz zu klassischen Aufmaßen, bei denen Auftraggeber und Auftragnehmer mit klassischen Meßinstrumenten (Meßrad, Meßband ...) gemeinsam die Maße einer ausgeführten Bauleistung festhalten, werden bei einem tachymetrischen Aufmaß 3D-Koordinaten von Punkten von einem elektronischen Tachymeter registriert, aus denen mittels Berechnung oder, wesentlich komfortabler, mit einem CAD-Programm weitere abrechnungsrelevante Maße abgeleitet werden können. Die Bezeichnung Tachymeter bedeutet Schnellmesser und bezeichnet ein Instrument, das Strecken und Winkel gleichzeitig messen kann. In Verbindung mit einem eingebauten oder gekoppelten Feldrechner entstehen im Felde für alle gemessenen Punkte 3-dimensionale Koordinaten, die die Basis für alle folgenden Auswertungen sind. Die Aufgabe des Auftraggebers sollte es hierbei sein, vor Ort die meßtechnischen Parameter zu kontrollieren, die einen Einfluß auf das später ermittelte Ergebnis (Länge, Breite, Höhe) haben können. Insbesondere sind das: Aufsetzpunkt und lotrechte Ausrichtung des Prismenstabes, korrekte Prismenhöhe und Berücksichtigung der atmosphärischen Korrektur. Alle anderen meßtechnischen Einzelheiten sollten dem Sachverstand des Ausführenden überlassen werden. Die gemessenen Punkte und ihre Beziehungen zueinander (Abstände, Längen) sind in der Örtlichkeit überprüfbar, ihre Lage und Höhe jederzeit mit herkömmlicher Meßtechnik reproduzierbar.

Der entscheidende Vorteil einer tachymetrischen Aufnahme besteht darin, daß die Registrierung der Koordinaten **eines** Punktes (x,y,z), sprich die Messung, gleichzeitig seine geometrische Beziehungen (Abstand, Höhendifferenz) zu **allen** anderen Punkten im gleichen Koordinatensystem bestimmt. Eine geschickte Wahl der zu messenden Punkte ermöglicht eine rationelle Aufnahme der Bauleistungen. Den erfahrenen Praktiker mag es hierbei stören, daß im Regelfall auf der Baustelle keine Längen, Breiten und Höhendifferenzen bestimmt werden. Diese Tätigkeit wird nach der Messung im Büro am Computer ausgeführt.

ein Punkt -> viele Maße

### Beispiel 1: Messung eines Schachtes

Während der Bauphase wird der Prismenstab lotrecht in die Mitte des Gerinnes eines Schachtunterteils gestellt und die Koordinaten des Punktes werden vom Tachymeter registriert.

Folgende Sachverhalte werden mit dieser einen Messung festgehalten:

1. Der Abstand zu benachbarten Schächten, die **Haltungslängen**.
2. Die Höhendifferenz zu benachbarten Schächten, das **Gefälle**.  
Wenn Nachbarschächte erst später gesetzt werden, reicht es aus, nur diese zu messen um die Haltungslänge und das Gefälle zu bereits vorhandenen Schächten zu bestimmen.
3. Soll-Ist-Vergleich mit dem Projekt, d.h. **Eigenüberwachung**
4. Die Lage des Schachtes im Baulagesystem und/oder bezogen auf die Achsen des Projektes, d.h. er ist schon Bestandteil des **Bestandes**. Es können somit **Kollisionsprüfungen** mit der weiteren Planung durchgeführt werden. Selbst wenn vorerst in einem lokalen Koordinatensystem gemessen wird, kann dieses bei Bedarf durch den Anschluß von Paßpunkten in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert werden.
5. Wird später der Konus und das Oberteil aufgesetzt, kann die **Deckelhöhe** einfach mit Zollstock oder Nivellierlatte nach unten gemessen werden, da sich die Höhe der Sohle kaum verändert haben dürfte.

## Beispiel 2: Busbucht Achse 860

Zu unterschiedlichen Zeitpunkten, je nach Baufortschritt, werden ausgewählte Punkte der gesetzten Bordanlagen gemessen. Im Regelfall sind dies Anfang und Ende einer Geraden, Anfang, Mitte und Ende eines Bogens, wobei das Ende eines Bogens gleichzeitig der Anfang eines weiteren Bogens oder einer Gerade sein kann.

Der Prismenstab wird im Normalfall aufgesetzt auf

- die dem Pflaster abgewandte Kante vom Rasenbord
- die scharfe Kante vom Hochbord zwischen zwei Pflasterflächen
- die Trennung zwischen Bord (rund oder hoch) und Gosse, wo beide parallel verlaufen.

Für jeden gemessenen Punkt wird im Meßgerät bzw. im angeschlossenen Feldrechner seine laufende Nummer, seine Meßwerte, die mit der Messung ermittelten Koordinaten (Abbild der Messung im Koordinatensystem), die Höhe und seine Bedeutung (Codierung) registriert. Nummer und Bedeutung können vom Vermesser nach der Messung geändert werden, andere Werte im Felde nicht.

Im vorliegenden Beispiel (Anlage 1) liegen Punkte aus 3 Messungen vor: vom 12.7.00, 25.7.00 und 1.8.00. Die Punkte werden mit einem CAD-Programm so mit Geraden und Bögen (durch 3 Punkte) verbunden, daß ein reales Abbild der Bordanlage entsteht. Damit am Computer die verschiedenen Bordarten unterschieden werden können, werden die repräsentierenden Linien unterschiedlichen „Folien“ (je nach CAD-Programm auch „Layer“ oder „Ebene“ bezeichnet) zugeordnet. In diesem Stadium der Bearbeitung können schon Bordlängen am Computer ermittelt werden. Dazu werden alle zu einem Bordtyp gehörenden Elemente zu einer zusammenhängenden Kontur verbunden, deren Länge das CAD-Programm nach einer entsprechenden Frage ausweist.

Im Beispiel konnte das östliche Hochbord am 12.7.00 beginnend mit dem Punkt 4175 gemessen werden, mehr war noch nicht fertiggestellt. Nach Fertigstellung konnte am 1.8.00 der Rest des Hochbordes beginnend mit dem Punkt 5056 aufgenommen werden. Der Punkt 4175 brauchte am 1.8.00 nicht noch einmal aufgehalten zu werden, um seine Distanz zum Punkt 5056 festzustellen. Allein seine Verankerung im Koordinatensystem und die grafische Konstruktion des Bogens durch die Punkte 4175, 5056 und 5057 erlauben die Ermittlung der zwischen Punkt 4175 und 5056 eingebauten Bordlänge.

Sind alle Kanten eines Bordrahmens gemessen, kann die eingeschlossene Fläche ermittelt werden. Dazu werden die nicht gemessenen Bord- und Gossenkanten als Parallelen zu den durch die gemessenen Punkte laufenden Konturen erzeugt. Dabei wird von den bekannten Maßen für die Breite der Bord- und Gossensteine unter Berücksichtigung von Fugen ausgegangen. Wurde ordentlich gebaut, gemessen und kartiert, ergibt sich für das Pflaster in der Busbucht eine allseitig begrenzte Fläche. Durch einfachen Mausclick erzeugt das CAD-Programm eine geschlossene Kontur in maximaler Größe der durch Bord und Gossen begrenzten Fläche. Obwohl bisher noch keine Fläche direkt gemessen wurde, entsteht sie doch als Nebenprodukt der Messung einer Kante der Bordrahmen.

Im Beispiel weist das Programm eine Fläche von 91.697m<sup>2</sup> aus.

Dieses Flächenmaß ist Kontrollmaß für die anschließende Berechnung zum Zweck der Mengenermittlung, die notwendig ist, weil allein die Behauptung des CAD-Programms als Basis für die Abrechnung nicht akzeptiert werden kann.

Die Pflasterfläche wird durch eine Kontur begrenzt, die aus Geraden und konvexen und konkaven Bögen besteht. Im Allgemeinen werden solche Konturen für die Abrechnung so vereinfacht, daß sie nur aus Trapezen, Dreiecken und größeren Kreisabschnitten bestehen. Kleinere Kreisabschnitte werden ignoriert, wenn sich die Vertreter des AG und AN einig sind.

Dieser Einigungsprozeß läuft beim klassischen Aufmaß so ab, daß die Fläche solange in die Grundelemente zerlegt und gemessen wird, bis eine von beiden Parteien akzeptierte Verfeinerung erreicht ist. Diese Aufwandsbegrenzung ist notwendig, da das Aufmaß vor Ort unter Beteiligung von mindestens 2 Personen gemacht wird, und sich der Aufwand auch noch wirtschaftlich lohnen muß.

Anders liegen die Verhältnisse beim tachymetrischen Aufmaß. Sobald Einigkeit darüber herrscht, daß die gemessenen Punkte in ausreichendem Maße die Realität repräsentieren und die Konstruktion der Parallelen korrekt ist, kann die Fläche unabhängig von ihrer Komplexität mathematisch exakt ermittelt werden, wie es das CAD-Programm auch tut.

Als allgemeines Verfahren einer durch Geraden und Bögen begrenzten Fläche bietet sich eine zweistufige Berechnung an:

1. Die Gauß'sche Flächenformel für unregelmäßigen Flächen, die durch Geraden begrenzt werden.
2. Addition bzw. Subtraktion der Anteile von konvexen bzw. konkaven Flächenanteilen unter Bögen, deren Sehnen durch die Polygonseiten gebildet werden.

Dafür werden die Stützpunkte der Kontur mit Punkten besetzt und durchnummeriert. Im Beispiel sind die Flächenanteile der Kreisabschnitte 1-2, 3-4 und 10-1 zu addieren, die Flächen der Kreisabschnitte 5-6, 7-8 und 8-9 (sehr klein) sind zu subtrahieren.

Die Koordinaten der Stützpunkte und die Bogenparameter werden an eine Excel-Tabelle übergeben, in der die Teilflächen berechnet und addiert werden. Bedingt durch die Art ihrer Entstehung können die Koordinaten der Stützpunkte mehr als 3 Stellen nach dem Komma aufweisen. An die Excel-Tabelle werden aber sinnvollerweise nur 3 Stellen übergeben. Daraus kann eine Differenz zwischen der mit Excel ermittelten und der vom CAD-Programm ausgewiesenen Fläche entstehen, deren Größe maximal bei  $\text{Flächenumfang} * 0.5\text{mm}$  liegt. Als Nebenprodukt wird der Umfang der Fläche ermittelt, der für die Ermittlung weiterer Positionsmengen verwendet werden kann.

Zusammengefaßt werden folgende Schritte ausgeführt:

1. Tachymetrische Erfassung der Hauptpunkte der Kontur der Bordanlagen und Fahrbahnkanten.
2. Übernahme der Koordinaten in ein CAD-Programm.
3. Kartierung der Hauptkonturen und Konstruktion der abhängigen Konturen über Parallelen. Nach Ausführung dieser 3 Schritte können alle Längen und Flächen bereits abgefragt werden. Alle nachfolgenden Schritte sind nur für die Protokollierung und die Prüfung notwendig.
4. Besetzung der Stützpunkte der nachzuweisenden Längen- oder Flächenkonturen mit Hilfspunkten, sofern sie durch Konstruktion entstanden sind (im Beispiel die Punkte 1-10)
5. Ausgabe der Koordinaten und Bogenparametern mit Punktnummern aus dem CAD-Programm
6. Datenübernahme nach Excel. Flächen- und/oder Längenberechnung nach Koordinaten und Kreisabschnittsformel. Die Kontrollrechnung ergibt für das Beispiel  $91.700\text{m}^2$ . Die Differenz von  $0.003\text{m}^2$  ist kleiner als die maximale von  $63.4172\text{m} * 0.0005\text{m} = 0.032\text{m}^2$ . Die nach VOB zugelassene Differenz zwischen einer Erst- und einer Prüfberechnung von  $0.018\text{m}^2$  wird ebenfalls unterschritten.
7. Übergabe der Berechnungstabellen an das Amt zur Prüfung. Da alle Tabellen die gleichen Formeln enthalten, könnte sich die Prüfung auf die Formeln in einer Tabelle beschränken. Alle weiteren Tabellen müssten nur noch daraufhin kontrolliert werden, ob die gleichen Formeln verwendet werden.

Bisher war vereinbart (16.10.00), daß in den Aufmaßen auf die Excel-Tabellen verwiesen und diese dem Amt mit übergeben werden. Anlässlich eines mehr zufälligen Treffens auf der Baustelle am 13.11.00 fordert das Amt die Übergabe von REB-Daten für alle Berechnungen.

Für die Anwendung der „Sammlung REB“ ist deren Stand vom Dezember 1988 in den Besonderen Vertragsbedingungen als maßgebend festgehalten. Danach ist für die Übergabe nur die Anwendung der REB-VB 23.003 Allgemeine Bauabrechnung möglich. Diese läßt in der Datenart 11 für Formelnummer 22 „Unregelmäßiges Vieleck aus Koordinaten“ die Eingabe von max. 6 geltenden Ziffern zu, d.h., die größte eingebare Zahl ist 999,999. Damit die Gauß-Krüger Koordinaten in Auetal eindeutig bleiben und auf mm genau eingegeben werden können, werden 8 geltende Ziffern benötigt.

Einige Alternative wären:

1. Es wird die neue GAEB-VB 23.004 angewandt, in deren Datenart 12 generell 12 geltende Ziffern für alle Rechenansätze eingetragen werden können. Nachteil: Kreisabschnitte müßten separat verschlüsselt werden. Nach meinem Kenntnisstand ist das Prüfprogramm ohnehin noch nicht verfügbar.
2. Die Baustellenkoordinaten werden in ein lokales Koordinatensystem von max 1x1km Ausdehnung transformiert. Nachteile: Zusammenhang mit den gemessenen Koordinaten wird erst recht undurchsichtig, für die Alte Poststr. reicht auch das nicht.
3. Für die Flächenberechnungen wird die REB-VB 22.013 „Massen und Oberflächen aus Prismen“ verwendet. Die Flächen können dafür rechentechnisch unterstützt in Dreiecke aufgeteilt werden. Nachteil: Kreisabschnitte sind wieder separat zu behandeln.
4. Es wird am Computer eine klassisches Aufmaß simuliert, d.h., Flächen werden in Dreiecke, Trapeze, Kreisabschnitte ... unterteilt und der Rechenansatz in die DA11 der REB-VB 23.003 eingetragen.

Allen Alternativen gemeinsam ist:

- die jetzt kombinierte Berechnung von Polygonfläche, Kreisabschnittsflächen, Längen und Umfang wird auseinandergerissen
- der Mehraufwand wird für die Prüfung einer Berechnung betrieben, die jetzt schon geprüft (nachgerechnet!) ist.

Mein Vorschlag:

Die Berechnungen des CAD-Programms werden aufgelistet und als Erstberechnung des AN ausgewiesen.

Die Excel-Tabellen werden für den AG als seine Prüfberechnung vorbereitet und an ihn übergeben.

Nach der VOB ist für Prüfberechnungen die Anwendung der Sammlung REB vorgeschrieben. Falls eine Berechnungsart nicht durch eine REB-VB abgedeckt ist, können auch andere Prüfungen zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden. Dieses sollte jedoch vor Beginn der Arbeiten und schriftlich geschehen.