Manipulationspotenzial bei der Bauabrechnung durch den Einsatz von frei programmierbaren Messsystemen

Katrin Ramm,
Heiner Kuhlmann

Beim gemeinsamen Aufmaß für die Bauabrechnung kommen heutzutage geodätische Messverfahren zum Einsatz, die einen vollständigen Datenfluss von der Erfassung bis zur Auswertung ermöglichen. Durch die vermehrt auf den Markt drängenden frei programmierbaren Messsysteme wird ein erhöhtes Manipulationspotenzial an den beim gemeinsamen Aufmaß gewonnen Daten befürchtet. Daher hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen des Forschungsprogramms Straßenwesen zu diesem Thema ein von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) gefördertes Forschungsvorhaben durchführen lassen.

[Keywords]

1 Einleitung

Die Datengrundlage für die Bauabrechnung wird durch „das gemeinsame Aufmaß“ gewonnen [VOB Teil B 2000, § 14]. Auf Grund der freien Programmierbarkeit moderner Messsysteme wird ein erhöhtes Manipulationspotenzial an den so gewonnen Daten befürchtet. Ziel eines Forschungsvorhabens war es daher, für die bei der Bauabrechnung zum Einsatz kommenden Messverfahren das entstehende Manipulationspotenzial aufzudecken und konkrete Gegenmaßnahmen für die Vermeidung von Manipulation anzugeben. Dies wird hier exemplarisch für das Messverfahren der Tachymetrie gezeigt. Die vollständige Projektbeschreibung inkl. der Messverfahren des Nivellements und des differentiellen GPS in Echtzeit (RTK) findet sich in [Ramm/Kuhlmann 2002].
Hier werden die folgenden Punkte behandelt:

- Beschreibung des Verfahrens des gemeinsamen Aufmaßes
- Aufzeigen der bisherigen Manipulationsmöglichkeiten
- Benennung und Analyse der durch frei programmierbare Messsysteme neuartigen bzw. zusätzlichen Manipulationsmöglichkeiten
- Beispiele zu frei programmierbaren Tachymeter-Messsystemen
- Aufzeigen der konkreten Manipulationsmöglichkeiten im Messvorgang mit frei programmierbaren Tachymeter-Messsystemen
- Abschätzung der Auswirkung und Angabe von Gegenmaßnahmen
- Abschließende Bewertung des Manipulationspotenzials

2 Aufmaß für die Bauabrechnung

Im Bauwesen erfolgt die Abrechnung erbrachter Leistungen je nach Art der Leistung nach unterschiedlichen Verfahren [HVA B-StB 2001]. Vielfach wird „nach Plan“ abgerechnet, d.h. der entsprechende Wert der Leistung (z. B. Menge eines eingebauten Materials) wird aus Sollmaßen ermittelt. Entspricht die tatsächlich erbrachte Leistung nicht dem Sollzustand, muss die Leistung auf andere Weise erfasst werden. Bei einer vermessungstechnischen Erfassung kommt hier das Verfahren des gemeinsamen Aufmaßes zum Einsatz. Bei einer gemeinsamen Begehung vor Ort von Vertretern der Auftraggeber- und der Auftragnehmerseite wird die Leistung (z. B. ein Erdaushub) mit Hilfe eines geeigneten Messverfahrens vermessen. Die Vermessung und die Berechnung der Leistung erfolgt durch den Auftragnehmer, wobei dem Auftraggeber die Messdaten im Feld für spätere Prüfberechnungen übergeben werden [HVA B-StB 2001].

2.1 Bisheriges Manipulationspotenzial

Das bisherige Verfahren des gemeinsamen Aufmaßes nach dem „4-Augen-Prinzip“ zielt auf die Vermeidung von Manipulationen ab, die es in folgenden Ausprägungen geben kann:

- Auswahl von nicht repräsentativen Punkten, die das zu erfassende Objekt nicht hinreichend genau beschreiben. Die Schwierigkeiten hierbei werden in Abb. 2.1 ersichtlich.

Abb. 2.1 Auswahl repräsentativer Punkte zur Erfassung eines Objekts

– Unkorrektes Aufhalten eines Neupunktes, die eingegebene Tafelhöhe entspricht nicht der tatsächlichen Höhe des Prismas über dem Objektpunkt („Stiefel unter Latte“).

Durch die Übergabe der Messdaten im Feld wird eine nachträgliche Manipulation der Messdaten ausgeschlossen und eine Kontrollmöglichkeit für die durchgeführten Berechnungen erzeugt. Die genannten Arten der Manipulation existieren losgelöst vom eingesetzten Messverfahren und -instrumentarium, daher werden sie hier nicht eingehender behandelt.

Anmerkung: Bei den oben genannten Punkten kann der Einsatz von modernen Messsystemen sogar einen Beitrag zur Verhinderung von Manipulation leisten: Tachymeter mit Remote-Funktion, die vom Prismenstab aus bedient werden können, ermöglichen eine bessere Kontrolle beim Auswählen und Aufhalten der Punkte, da kein Personal am Instrument erforderlich ist. Des Weiteren können Tachymeter mit automatischer Zielerfassung das korrekte Anzielen des Reflektors in gewissen Grenzen garantieren.

2.2 Neu entstandenes Manipulationspotenzial

Anhand der Abb. 2.2 lässt sich die technologische Entwicklung der Messwerterfassung nachvollziehen, aufgrund derer nun ein erhöhtes Manipulationspotenzial befürchtet wird: Der Einsatz von frei programmierbaren und auch elektronischen Messsystemen für das gemeinsame Aufmaß führt durch den vollständigen Datenfluss von der Erfassung bis zur Auswertung zwar zu einer geringeren Fehleranfälligkeit, doch entsteht durch die darin enthaltenen frei programmierbaren Softwaremodule neuartiges Manipulationspotenzial. Z. B. könnte die Tafelhöhe von Objekt-Punkten im Programm um einige Zentimeter verringert werden. Dadurch würde das berechnete Volumen zu groß. Ausschlaggebend für dieses Manipulationspotenzial sind die Interaktionsmöglichkeiten des Benutzers in die einzelnen Prozesse der Datenverarbeitung. Dazu lassen sich die folgenden Feststellungen machen:

– Frei programmierbare Messsysteme enthalten Mikroprozessoren.
– Erstellung eigener Software ist möglich.
– Frei programmierte Software kann in Originalsoftware integriert werden, so dass am Gerät keine optische Unterscheidung möglich ist.
– Frei programmierte Software kann parallel zur Originalsoftware laufen.

Wie man sieht, besteht hinsichtlich des geschilderten Manipulationspotenzials kein Unterschied zwischen frei programmierbaren Instrumenten und elektronischen Instrumenten mit externen Feldrechnern, da das manipulierende Programm auf beiden Mikroprozessoren laufen kann.

2.3 Eingrenzung der Manipulationsmöglichkeiten im Datenfluss

Der Prozess der physikalischen Erfassung der Sensordaten (wie z.B. Abgreifen des Phasenwinkels bei der Streckenmessung) ist von Nutzerseite aus nicht zugänglich. Somit kann die Sensorauslesung nicht auf einfache Weise manipuliert werden. Dieser Sachverhalt ist schematisch in der Abb. 2.3 dargestellt.

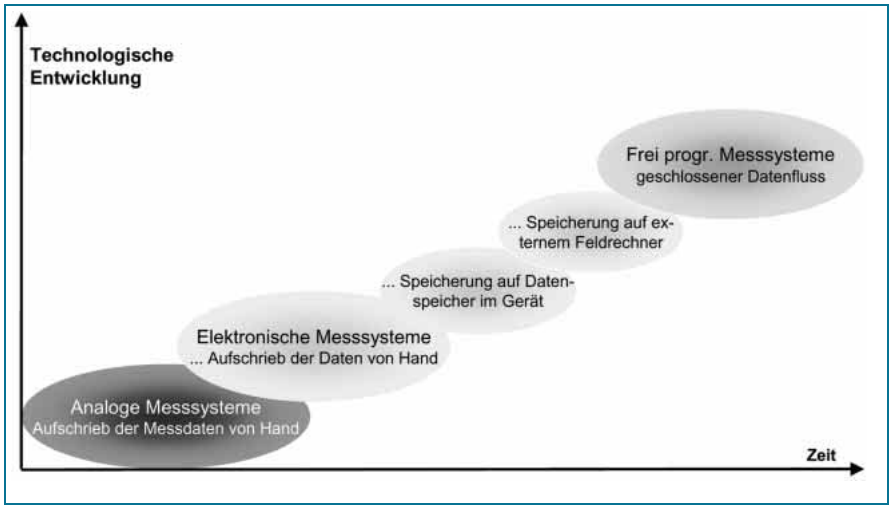

Abb. 2.2 Technologische Entwicklung der Messwerterfassung

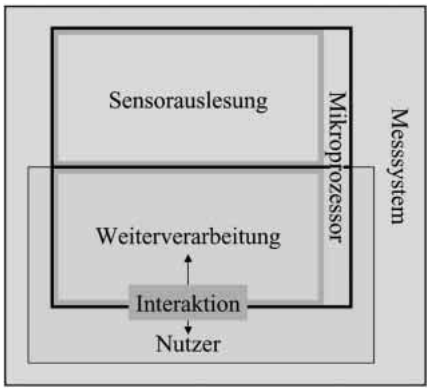

Abb. 2.3 Zusammenhang von Manipulationspotenzial und Interaktion durch den Nutzer

Abb. 3.1 Frei programmierbare Tachymeter (links Leica TCA 2003, rechts Trimble 5600 Series)

Die Weiterverarbeitung der Sensordaten ist bei Messinstrumenten, die direkt mit eigener, frei programmierter Software bespielt werden können, und für Instrumente, die über einen externen PC angesteuert werden, der kritische Punkt im Prozess der Datenverarbeitung (vgl. Abschnitt 2.2).
Es lässt sich allgemein ein Manipulationspotenzial an den folgenden Stellen identifizieren:
- falsche Eingabe von Eingangsparametern (z. B. Temperatur, Tafelhöhe).
- falsche Auswertealgorithmen (Weiterverarbeitung und Ausgabe der Messdaten/Endergebnisse) durch frei programmierte Software.

Dieses Manipulationspotenzial kann im Gegensatz zum bisherigen trotz korrekter Aufnahme von Punkten durch Manipulationen bei den einzelnen Schritten der Weiterverarbeitung der Sensordaten zur Ausgabe von verfälschten Messdaten führen. An dieser Stelle setzen die durchgeführten Untersuchungen an.

2.4 Eingrenzung des untersuchten Manipulationspotenzials

Manipulation als „Verfälschung von Ergebnissen im Sinne des Beeinflussenden“ (allgemeine Definition) wird im Fall des gemeinsamen Aufmaßes und für diese Untersuchungen folgendermaßen konkretisiert:
- Es werden nur solche Manipulationen betrachtet, deren erforderlicher Aufwand in Relation zum erzielten Nutzen gering ist.
- Es werden nur solche Manipulationen berücksichtigt, für die kein übermäßiges Know-how nötig ist, wie es z. B. bei einem hardwareseitigen Eingriff gegeben wäre.
- Es werden nur solche Manipulationen betrachtet, die durch den Einsatz von frei programmierbaren Messsystemen zu den ohnehin schon vorhandenen Manipulationsmöglichkeiten hinzukommen.
- Es werden hier nur solche Manipulationen behandelt, die innerhalb eines Messvorgangs systematisch auftreten. Zur Aufdeckung einzelner Manipulationen sei auf [Ramm/Kuhlmann 2002] verwiesen. Dies kann nur mit erheblichem Mehraufwand erfolgen.

3 Manipulationspotenzial bei frei programmierbaren Tachymeter-Messsystemen

Tachymeter-Messsysteme sind im Hinblick auf die freie Programmierbarkeit am Weitesten entwickelt. Nachfolgend seien die während eines Messvorgangs entstehenden Manipulationsmöglichkeiten für zwei ausgewählte Tachymetersysteme beispielhaft erläutert.

3.1 Bedienung und Funktionen

Das Leica TCA 2003 Tachymeter kann z. B. mit selbst entwickelter, benutzerspezifischer Software (Entwicklungsumgebung GeoBasic) bespielt werden. Es stehen Befehlssätze unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung [Leica]. Das tachymetereigene Software-Menü kann somit um beliebige eigene Anwendungen erweitert werden [Dünisch 1999]. Zusätzlich kann das Tachymeter auch über ein serielles Kabel von einem externen Rechner aus bedient werden. Die frei programmierbare Software wird dann auf dem externen Rechner ausgeführt und die online übertragenen Daten können auf dem Rechner weiterverarbeitet werden [Deumlich/Staiger 2002].
Das Tachymeter-Messsystem 5600 Series Total Station von Trimble verfügt als Bedieneinheit über einen PC auf MS-DOS-Ebene (486 kompatibler Prozessor, 33 MHz, 8 MB Flash), der über eine Schnittstelle mit dem Instrument kommuniziert [Trimble]. Der Nutzer kann über die Schnittstelle Messdaten abfragen und beliebig weiterverarbeiten und damit auch manipulieren. Andere Instrumente bieten ähnliche Funktionalitäten.

3.2 Datenfluss

In Abb. 3.2 ist der vollständige Datenfluss dargestellt, der bei einer tachymetrischen Aufnahme entsteht.
Der obere Teil der Abbildung stellt die bereits im Abschnitt 2.3 beschriebene Sensorauslesung dar. Eine interne Standard-Software liest die vier Sensoren – Teilkreis horizontal, Teilkreis vertikal, Distanzmesser und Stehachskompensator – aus und liefert entsprechend die unkorrigierte Horizontalrichtung, den unkorrigierten Zenitwinkel, die unkorrigierte Schrägstrecke und die Stehachsneigung (bei genaueren Instrumenten in der Regel in zwei Komponenten). Die Abbildung ist grün bzw. in der rechten Spalte etwas dunkler hinter-

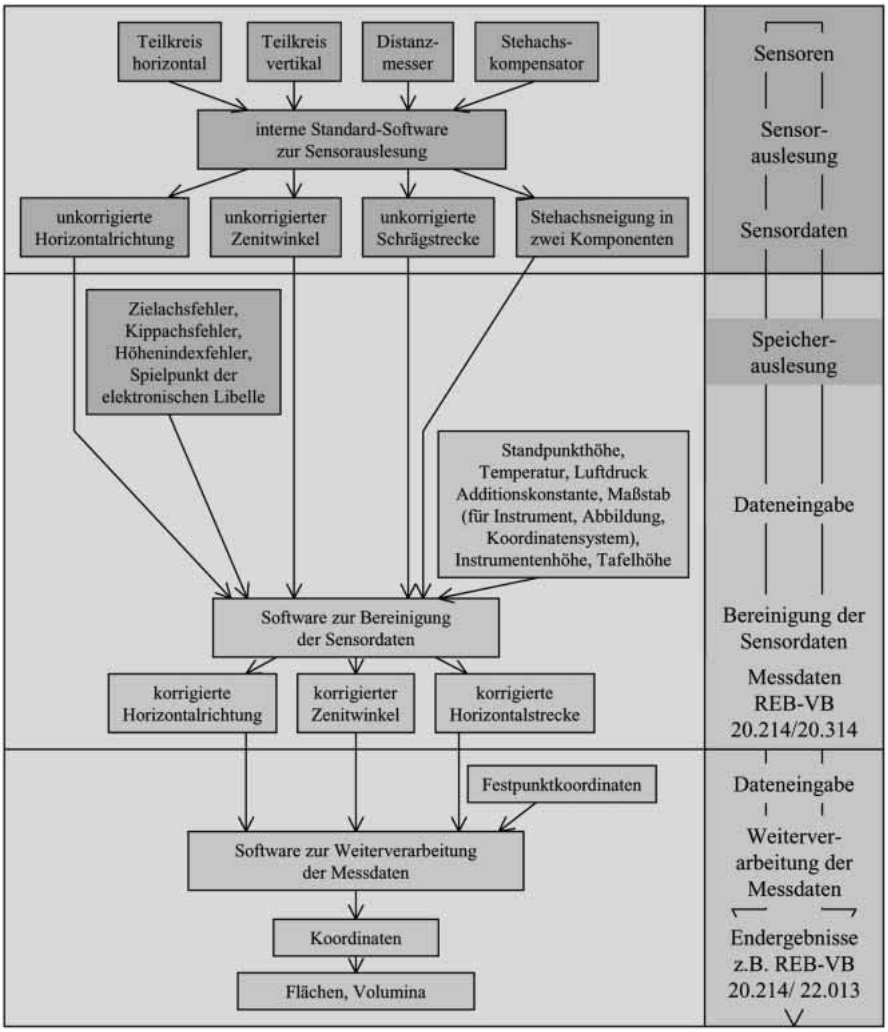

Abb. 3.2 Datenfluss Tachymeter-Messsystem

legt, um zu verdeutlichen, dass es sich bei diesem Prozess um einen Vorgang handelt, der frei von Manipulationsmöglichkeiten ist.
Der nächste Abschnitt der Verarbeitungskette ist rot bzw. in der rechten Spalte etwas heller hinterlegt. Hier sind stellenweise Manipulationen möglich (vgl. Abschnitt 2.3). Um die erforderlichen Korrektionen und Reduktionen an die Sensordaten anzubringen, müssen die im Speicher abgelegten Werte für Ziel- und Kippachsfehler sowie für den Höhenindexfehler ausgelesen werden. Diese Daten können nicht manuell eingegeben werden, sondern sind unter fachgerechter Einhaltung der vermessungstechnischen Methodik regelmäßig zu bestimmen. Der Vorgang der Speicherauslesung dieser Werte ist zunächst nicht manipulierbar. Manipulationspotenzial ist an dieser Stelle gegeben, wenn die Bestimmung der Parameter nicht regelmäßig in den erforderlichen Intervallen oder nicht korrekt ausgeführt wird. Des Weiteren ist eine Manipulation dieser Parameter im Rahmen eines verfälschten Auswertealgorithmus möglich.
Über manuelle Eingabe werden z. B. die Standpunkthöhe, Temperatur und Luftdruck, eine Additionskonstante und ein Maßstab, die Instrumenten- und die Tafelhöhe eingegeben. Möglichkeiten zur Manipulation dieser Eingangsparameter bestehen unmittelbar durch die manuelle Eingabe sowie durch Verfälschung innerhalb von Auswertealgorithmen.
Mit diesen Eingangsparametern erfolgt nach dem bekannten Berechnungsschema die Bereinigung der Sensordaten (Anbringen von Korrektionen und Reduktionen), siehe dazu z. B. [Kahmen 1997] und [Joeckel/Stober 1999]. Dieser Schritt wird häufig im Messinstrument selbst durchgeführt. Erhalten werden die Messdaten, die neben weiteren Daten als Eingangsgrößen in die angegebenen Regelungen für die Elektronische Bauabrechnung (REB) eingehen.
Um die folgenden Berechnungsschritte für die Koordinaten und Endergebnisse kontrollierbar zu machen, werden die Messdaten zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer ausgetauscht. Dazu ist eine Ausgabe der Messdaten notwendig. Dieser Schritt ist mit dem dazu notwendigen Ausleseprogramm manipulierbar. Gleiches gilt für ggf. zu übergebende Koordinaten.
Die nachfolgenden Berechnungen können sowohl im Messinstrument als auch auf einem externen Rechner (online/offline) durchgeführt werden. Nach der Eingabe von Festpunktkoordinaten können die Messdaten in frei programmierter Software zur Berechnung von Koordinaten weiterverarbeitet werden, somit ist dieser Arbeitsschritt manipulierbar. Die daraus abgeleiteten Flächen und Volumina können ebenfalls manipuliert werden. An dieser Stelle stehen ebenfalls Berechnungsprogramme nach REB zur Verfügung.

4 Beurteilung der Auswirkung von Manipulation

Um die Auswirkung von Manipulation beurteilen zu können, ist ausschlaggebend, welche Wirkung die Manipulation eines Eingangsparameters auf das Endergebnis, z. B. das Volumen eines Aufnahmeobjekts, hat. Eine nach der Theorie des kleinsten aufdeckbaren Fehlers sicher zu identifizierende Manipulation an einem Eingangsparameter ist ins Verhältnis zur erzeugten Volumendifferenz zu setzen. So lässt sich ermitteln, welche Eingangsparameter für das Endergebnis kritisch sind und in welcher Größenordnung sich der aufzudeckende Fehler bewegen sollte. Daraus lässt sich eine Messkonfiguration ableiten, die diese Manipulation aufdecken kann. Zur Beurteilung der durch einen manipulierten Eingangsparameter hervorgerufenen Volumendifferenz können folgenden Angaben als Anhaltspunkte dienen:
Die Genauigkeit einer Massenermittlung wird im Wesentlichen von den beiden Faktoren Aufnahmeverfahren und Rechenverfahren beeinflusst.

Folgende Verfahren kommen hierfür in Frage:
- Massenermittlung aus Querprofilen [REB 1997, VB 21.003]
- Massenberechnung zwischen Begrenzungslinien [REB 1997, VB 21.013]
- Massenermittlung nach der Prismenmethode [REB 1997, VB 22.013]

Durch Verwendung von Näherungsformeln beim ersten Verfahren kommt es zu einem relativen Fehler von 1 bis 5 % allein durch die Berechnung. Die Masse wird systematisch zu groß erhalten. Durch unzureichende Geländeapproximation in und zwischen den Querprofilen kommt es zu Abweichungen von 1 bis 4 % [Pelzer 1988].

Bei Anwendung der Prismenmethode gelingt die Approximation an das Gelände mit Dreiecksprismen recht gut, Wiederholungsmessungen führen zu einem relativen Fehler von ca. 0,5 % [Kahmen 1997].

Erfahrungswerte zeigen, dass es bei Mehrfachaufnahmen zu Volumendifferenzen von 3 bis 5 % kommt, die auf eine unterschiedliche Punktauswahl zurückzuführen sind. Somit können in der folgenden Betrachtung alle Auswirkungen, die kleiner als 1 bis 2 % sind, vernachlässigt werden.

4.1 Konzept für Gegenmaßnahmen

Manipulation kann im geodätischen Zusammenhang als eine zielgerichtete Veränderung der originären Messdaten aufgefasst werden, die das Maß der unvermeidbaren zufälligen Abweichungen überschreitet und somit grobe Fehler und systematische Abweichungen im Datenmaterial verursacht. Der Schutz gegen grobe und systematische Fehler ist durch eine zuverlässige Messanordnung sicherzustellen, eine Messanordnung also, die Redundanz enthält und damit eine unabhängige Überprüfung ermöglicht. Vor diesem Hintergrund kann folgendes Vorgehen herangezogen werden:

Kontrollpunkte messen und berechnen

Durch die Aufnahme von koordinatenmäßig bekannten Festpunkten ist sicherzustellen, dass die Schritte zur Bereinigung der Sensordaten korrekt durchgeführt worden sind und dass sowohl die dazu erforderlichen Eingangsparameter als auch die Auswertealgorithmen frei von Manipulation sind. Die im Feld übergebenen Messdaten lassen sich auf einfache Weise in Koordinaten umrechnen und müssen für die Kontrollpunkte im Rahmen der Messunsicherheit eine Übereinstimmung ergeben. An dieser Stelle ist eine geeignete Messkonfiguration gefordert, die gewährleistet, dass keine Manipulationen auftreten können. Ferner ist durch stichprobenartige Kontrollen sicherzustellen, dass die übergebenen Messdaten mit denen übereinstimmen, die während der Messung entstanden sind.

Kontrollrechnung von Flächen, Volumina

Des Weiteren wird üblicherweise die nachträgliche Manipulation der Messdaten durch die Übergabe der Daten im Feld kontrolliert. Ist durch eine geeignete Messkonfiguration sichergestellt, dass die resultierenden Koordinaten richtig sind, werden Prüfberechnungen für die aus den Koordinaten abgeleiteten Größen – wie z. B. Flächen und Volumina – durchgeführt [HVA B-StB 2001, Teil 3, Abschnitt 3.3 Abrechnung mit DV-Anlagen]. Die von beiden Seiten ermittelten Werte dürfen nur um einen gewissen Betrag voneinander abweichen. Laut [HVA B-StB 2001] ist bei auftretenden Abweichungen entsprechend Nr. 114.6, [ZVB/E-StB 2000] zu verfahren.

4.2 Beurteilung der Auswirkung von Manipulationen an Tachymeter-Messsystemen an Hand eines Testszenarios

Die Wirkung von Manipulation an den Eingangsparametern im Tachymeter-Messsystem wird empirisch und analytisch ermittelt. Daraus resultierend wird eine Messkonfiguration zur Aufdeckung von Manipulation abgeleitet.

4.2.1 Empirische Untersuchung

Zur empirischen Ermittlung der Auswirkung von Manipulation wird ein Testszenario herangezogen, das den vollständigen Ablauf einer vermessungstechnischen Aufnahme für eine Bauabrechnung widerspiegelt. Bei diesem Beispiel könnte es sich um die Massenermittlung einer Seitenablage handeln. Im Testszenario wird ein regelmäßiger Pyramidenstumpf mit acht aufzunehmenden Punkten und einem koordinatenmäßig bekannten Aufnahmestandpunkt angenommen. Das Testszenario ist in der Abb. 4.1 dargestellt. Das Volumen des Testkörpers gibt das Sollmaß von 2.175.667 m^3 an.

Die hier künstlich erzeugten Messdaten können aufgrund von manipulierten Eingangsparametern für die Untersuchung verändert werden. Die daraus resultierenden Abweichungen vom Sollmaß ermöglichen eine anschauliche Beurteilung der Auswirkung der vorgenommenen Manipula-

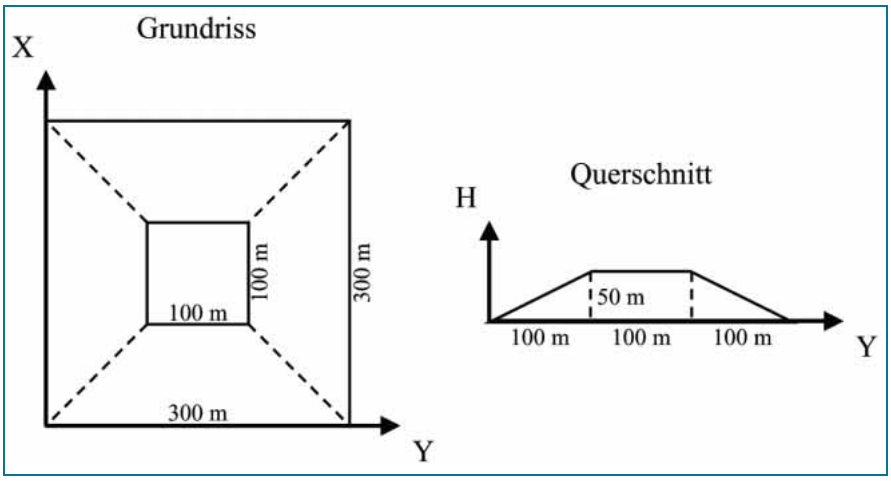

Abb. 4.1 Testszenario Tachymeteraufnahme in Grundriss und Querschnitt

Tab. 4.1 Auswirkung von Manipulation im Tachymeter-Messsystem

Eingangsparameter		wirkt auf					Standard-abweichung	10-fache Stabw.	Differenz zu V_{Soll} [m³]	Differenz zu V_{Soll} [%]
		Horizontal-richtung	Zenit-winkel	Strecke	Lage	Höhe				
Temperatur				×	×	×	1 °C	10 °C	65	0,03
Luftdruck				×	×	×	2 hPa	20 hPa	46	0,02
Additionskonstante				×	×	×	1 mm	10 mm	94	0,04
$\text{Maßstab}_{\text{Instrument}}$				×	×	×	0,1 ppm	1 ppm	7	0,00
$\text{Maßstab}_{\text{Abbildung}}$				×	×	×	0,1 ppm	1 ppm	7	0,00
$\text{Maßstab}_{\text{Koord.system}}$				×	×	×	0,1 ppm	1 ppm	7	0,00
Instrumentenhöhe						×	5 mm	50 mm	4500	2,07
Tafelhöhe						×	5 mm	50 mm	– 4500	2,07
Zielachsfehler		×			×		0,3 mgon	3 mgon	0	0,00
Kippachsfehler		×			×		0,3 mgon	3 mgon	– 1	0,00
Höhenindexfehler			×			×	0,3 mgon	3 mgon	– 2081	0,96
Kompen-sator	Quer-richtung[1]	×	×		×	×	0,2 mgon	2 mgon	– 1	0,00
	Längs-richtung[2]								– 1388	0,64
Standpunkt-koordinaten	Lage				×	×	2 cm	20 cm	0	0,00
	Höhe								18 000	8,27

[1] wirkt wie Kippachsfehler; [2] wirkt wie Höhenindexfehler

tion. So werden exemplarisch Rückschlüsse über die einzuhaltende Genauigkeit und die Größe des aufzudeckenden Fehlers geschlossen.

In Tab. 4.1 sind alle Eingangsparameter einer Tachymeteraufnahme (vgl. Abb. 3.2). und deren Einflüsse auf Messdaten und Koordinatenkomponenten aufgelistet. Im rechten Teil der Tabelle ist für jeden Eingangsparameter eine Standardabweichung angegeben, wie sie üblicherweise bei Messungen mittlerer bis hoher Genauigkeit erreicht wird. Die 10-fache Standardabweichung wird als Manipulation eingeführt, um die Auswirkung eines manipulierten Eingangsparameters auf das Endergebnis, das Volumen des Testkörpers, zu ermitteln. Der Wert 10 resultiert aus der Überlegung, dass ein Fehler in Größenordnung der 10-fachen Standardabweichung durch eine geeignete Messkonfiguration sicher aufgedeckt werden kann [Pelzer 1985]. In den letzten beiden Spalten ist die sich ergebende Differenz absolut und relativ angegeben. Das Volumen des Pyramidenstumpfs ist hier nach der Prismenmethode berechnet worden.

Aus der Tab. 4.1 lässt sich erkennen, dass die Eingangsparameter, die unmittelbar auf die Höhe wirken, eine größere Veränderung im Endergebnis hervorrufen als die Eingangsparameter, die auf die Lage wirken. Es können sehr anschaulich die Eingangsparameter identifiziert werden, die das Volumen des Testkörpers am stärksten beeinflussen. Dies sind:

- Höhe des Standpunkts
- Instrumenten- und Tafelhöhe
- Höhenindexfehler und
- Kompensator

Die Differenz der Volumina ist im Hinblick auf die eingangs beschriebene Unschärfe in der Massenermittlung mit weit unter 1 % gering. Es wird deutlich, dass auf die Auswahl repräsentativer Punkte, die das aufzumessende Objekt hinreichend genau beschreiben, wesentlich mehr Sorgfalt verwendet werden sollte, um ein für die Bauabrechnung korrektes Ergebnis zu erhalten. Die Abweichungen, die dadurch erzeugt werden, sind größer als die Abweichungen durch das hier behandelte Manipulationspotenzial. Des Weiteren ist zu erkennen, dass aufgrund der in der Regel in dieser Größenordnung vorliegenden Unsicherheit in der Standpunkthöhe ($\sigma_H = 2\ cm$) eine Abweichung im Endergebnis ($\Delta V = 1800\ m^3$) toleriert werden muss, die in der Größenordnung des Einflusses von Höhenindexfehler ($\Delta V = -\ 2081\ m^3$) und Kompensator ($\Delta V = -\ 1388\ m^3$) liegt. Somit können diese beiden Eingangsparameter hier vernachlässigt werden. Wesentliches Augenmerk ist auf die Höhe des Standpunkts sowie auf Instrumenten- und Tafelhöhe zu richten.

4.2.2 Analytische Herleitung

Zur analytischen Bewertung des Manipulationspotenzials wird das Varianz-Fortpflanzungs-Gesetz (VFG) herangezogen. An dem Beispiel der Höhenübertragung über kurze Entfernungen (Erdkrümmung und Refraktion werden vernachlässigt) lässt sich veranschaulichen, welche Aussagen aus einer analytischen Betrachtung über das Manipulationspotenzial und über die Anforderungen an die Messkonfiguration getroffen werden können.

In einem ersten Beispiel seien $s_H = 100\ m$, $z_{12} = 100\ gon$ und

$i = t$, die Standardabweichungen für die Eingangsparameter fließen gemäß den Angaben in Tab. 4.1 ein. Daraus resultiert eine Standardabweichung $\sigma_{H2} = 2{,}1\ cm$ für die Höhe des zweiten Punkts. Damit ist ein Fehler von *6,3 cm* in der Höhe entsprechend der 3σ-Regel aufdeckbar. Dieser verursacht eine Änderung des Testkörper-Volumens von $\Delta V = 5670\ m^3$, dies entspricht *2,61 ‰*. Das bedeutet, dass durch Messung eines Kontrollpunkts ein maximaler Fehler von *2,61 ‰* sichergestellt werden kann.

In einem zweiten Beispiel betrage $s_H = 300\ m$. Damit ergibt sich eine Standardabweichung $\sigma_{H2} = 2{,}2\ cm$ für die Höhe des zweiten Punkts. Der aufdeckbare Fehler liegt demnach bei *6,6 cm*. Dieser verursacht eine Änderung des Testkörper-Volumens von $\Delta V = 5940\ m^3$, dies entspricht *2,73 ‰*.

Falls bei der Messung zum Kontrollpunkt größere Abweichungen auftreten, kann der Fehler jedoch nicht sofort lokalisiert werden. Es muss geprüft werden, auf welche der vier im Abschnitt 4.2.1 benannten Ursachen die Abweichung zurückzuführen ist. Hierzu sind die folgenden Schritte durchzuführen:

- eingegebene Höhe von Stand- und Kontrollpunkt überprüfen
- eingegebene Instrumenten- und Tafelhöhe überprüfen
- in zwei Lagen messen, um die Indexabweichung zu prüfen
- Spielpunktbestimmung durchführen, um die elektronische Libelle zu prüfen

An dieser Stelle soll auch der Fall einer Tachymeteraufnahme mit freier Stationierung kurz diskutiert werden. Werden die Höhen der Anschlusspunkte manipuliert, wirkt sich das direkt auf die Höhe des Instrumentenstandpunkts aus. Die Manipulation überträgt sich im Folgenden unmittelbar auf die aufzunehmenden Neupunkte. Systematisch manipulierte Instrumenten- und Tafelhöhen wirken sich nicht aus, da sie bei der Stationierungsberechnung des Instruments und der Neupunktaufnahme jeweils mit umgekehrten Vorzeichen auftreten. Erfolgt die Manipulation nach der Stationierungsberechnung des Instruments, tritt der gleiche Fall wie oben beschrieben ein.

4.3 Messkonfiguration zur Aufdeckung von Manipulation

Aus den im vorangegangenen Abschnitt getroffenen Erkenntnissen leitet sich eine allgemeingültige Aussage zu einer Messkonfiguration ab, die eine Manipulation an den genannten Eingangsparametern aufdecken und damit verhindern kann.

Um eine Manipulation in einer bestimmten Größenordnung aufzudecken, muss die Messung mit einer entsprechenden Genauigkeit durchgeführt werden. Diese ist zum einen von der Messkonfiguration, zum anderen von der Genauigkeit der einfließenden Messdaten abhängig. Allgemein sind die anerkannten Regeln der Vermessungstechnik einzuhalten. Für den Fall einer Höhenübertragung ist die Genauigkeit der Höhe weitgehend unbeeinflusst von Strecke und Zenitwinkel. Damit lässt sich die Standpunkthöhe durch Messen eines beliebig im Messgebiet gelegenen Höhenkontrollpunkts überprüfen. Das absolute Niveau einer Messung ist durch höhenmäßig stabile Kontrollpunkte sicher zu erfassen, da bei der Volumenberechnung der Bezugshorizont einfließt.

5 Bewertung des Manipulationspotenzials

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen sind die folgenden Erkenntnisse gewonnen worden:

- Es besteht kein Unterschied zwischen frei programmierbaren Messinstrumenten und elektronischen Instrumenten mit externen Feldrechnern, wie sie schon seit einiger Zeit eingesetzt werden.
- Das Aufdecken von Manipulationen ist durch Kontrollmessungen möglich.
- Die Abweichungen, die durch das neu entstandene Manipulationspotenzial auftreten, sind deutlich geringer als Abweichungen durch die Auswahl repräsentativer Punkte.
- Instrumente mit Remote-Funktion bieten den Vorteil, dass die Auswahl der Punkte am Objekt mit weniger Personal überwacht werden kann und fehlerhafte Anzielungen unwahrscheinlicher werden.

6 Dank

Wir danken der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für die Erteilung des Auftrags FE 02.210/2001/CGB „Schutz vor Datenmanipulation beim Aufmaß für die Bauabrechnung“ mit Förderung durch die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) sowie den Teilnehmern der Betreuungsgruppe für die wichtigen Anregungen und Hinweise mit dem nützlichen Bezug zur Praxis während unserer Sitzungen und darüber hinaus.

7 Literatur

Deumlich, F., Staiger, R.: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Wichmann Verlag, Heidelberg 2002

Dünisch, M.: Programmierungsprinzipien prozessgesteuerter Tachymeter, In: Mitteilungen 2/1999, Deutscher Verein für Vermessungswesen, Landesverein Baden-Württemberg, Stuttgart

HVA B-StB: Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau, Ausgabe 2001

Joeckel, R., Stober, M.: Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 1999

Kahmen, H.: Vermessungskunde. 19. Auflage, Verlag Walter de Gruyter, Berlin. New York, 1997

Leica: Gebrauchsanweisung TPS-System 1000. Version 2.2

Pelzer, H.: Geodätische Netze in der Landes- und Ingenieurvermessung II. Vorträge des Kontaktstudiums Februar 1985 in Hannover (Hrsg. Pelzer, H.). Konrad Wittwer Verlag, 1985

Pelzer, H.: Ingenieurvermessung: Deformationsmessungen; Massenberechnungen; Ergebnisse des Arbeitskreises 6 des Deutschen Vereins für Vermessungskunde (DVW) e.V. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 1988

Ramm, K., Kuhlmann, H.: Schutz vor Datenmanipulation beim Aufmaß für die Bauabrechnung, BASt Forschungsbericht, 2002 (Veröffentlichung in Vorbereitung)

REB: Sammlung der Regelungen für die elektronische Bauabrechnung, Stand: April 1997

Trimble: User Guide Zeiss Elta Control Unit.

VOB Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, DIN 1961 – Ausgabe Dezember 2000

ZVB/E-StB: Zusätzliche Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau, Ausgabe 2000

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Ing. Katrin Ramm,
Dr.-Ing. Heiner Kuhlmann,
Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen,
Prof. Dr.-Ing.
Wolfgang Möhlenbrink,
Universität Stuttgart,
Geschwister-Scholl-Straße 24D,
70174 Stuttgart,
E-Mail:
Katrin.Ramm@iagb.uni-stuttgart.de,
Heiner.Kuhlmann@iagb.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

Durch den Einsatz von frei programmierbaren Messsystemen beim gemeinsamen Aufmaß für die Bauabrechnung entsteht an einigen Stellen des Messvorgangs ein erhöhtes Manipulationspotenzial, das durch Einhaltung gewisser Messkonfigurationen sicher aufgedeckt und damit verhindert werden kann. Die Auswirkung der durch dieses Manipulationspotenzial auftretenden Abweichungen ist zudem weitaus geringer als bei Abweichungen, die durch die Auswahl von geeigneten Punkten zur Approximation des Geländes entstehen.

Abstract

Due to use of freely programmable measuring systems an increased manipulation potential in the measuring procedure can occur. This can be detected and prevented by certain measuring configurations. The effect of deviations arising by this manipulation potential is by far smaller than in case of deviations, which result from the selection of suitable points to approximate the site.

BUCHBESPRECHUNGEN

Wilhelm Benning:

Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen.

309 Seiten, Hüthig Verlag, Heidelberg, 2002, € 29.80, ISBN 3-87907-383-X

Benning hat sein Buch in sieben Kapiteln entsprechend den zwei Zugängen zur Parameterschätzung (Ausgleichungsrechnung) in linearen Modellen aufgebaut: der Linearen Algebra sowie der Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischen Statistik. Er orientiert sich damit am geodätischen Standardwerk von Koch, was zudem erfreulicherweise auch für die Notation zutrifft.

In den ersten beiden Kapiteln werden die Grundlagen zu Matrizen und deskriptiver Statistik vermittelt. Das dritte Kapitel behandelt Zufallsvariablen und deren wahrscheinlichkeitstheoretische Eigenschaften. Zur Illustration der Varianzfortpflanzung tauchen hier erste klassisch geodätische Beispiele auf, die fortan dominieren.

Nach der Behandlung der theoretischen Grundlagen wird im vierten Kapitel mit den Werkzeugen der induktiven Statistik gezeigt, wie man aus einer Stichprobe Information über die Grundgesamtheit filtern kann. Vorrangig gewinnt man diese Information in Form von (Verteilungs-)Parametern, die mit speziellen Methoden aus dem Datenmaterial geschätzt werden. Die Normalverteilung als eine der wichtigsten Verteilungen lässt sich z.B. vollständig mit den Parametern Erwartungswert und Varianz beschreiben, so dass es nur folgerichtig ist, Schätzfunktionen und deren Eigenschaften gerade für diese Parameter zu diskutieren.

Versucht man ganze Vektoren von Parametern in einem System von Zufallsvariablen zu bestimmen, so nennt man das *Regressionsanalyse* oder als Geodät *Ausgleichungsrechnung nach vermittelnden Beobachtungen*. Im fünften Kapitel wird deshalb gezeigt, wie sich die dafür benötigten Schätzfunktionen (auch Schätzer genannt) über die Prinzipien *Maximum-Likelihood-Methode* bzw. *Methode der kleinsten Quadrate* konstruieren lassen. Zur Diskussion ihrer statistischen Eigenschaften wird konsequenterweise das *Gauss-Markoff-Theorem* benutzt – ein Vorgehen, das man bisher in geodätisch geprägter Fachliteratur vermisste und das einen guten Bezug zu den Vorlesungen in mathematischer Statistik herstellt.

Sollte Information über die Verteilungsfunktion der zu analysierenden Stichprobe vorliegen, so kann man einerseits durch Bestimmung von Konfidenzbereichen weitergehende Aussagen über die Güte der geschätzten Parameter machen und andererseits Hypothesen über die Parameter testen. Diese Werkzeuge der induktiven Statistik werden im sechsten Kapitel vorgestellt.

Das letzte Kapitel ist der detaillierten Darstellung geodätischer Beispiele zur (1D- bzw. 2D-Netz-) Ausgleichung vorbehalten. Es zeichnet sich vor allem durch seine praxisnahen Empfehlungen zur (statistischen) Interpretation der Ergebnisse aus und kann somit nur allen Benutzern von geodätischen Netzausgleichungsprogrammen empfohlen werden, die die Zuverlässigkeit der geschätzten Parameter richtig beurteilen wollen.

Mit diesem Buch liegt eine detaillierte, moderne und didaktisch gut aufgebaute Einführung in die Ausgleichungsrechnung vor. Behutsam und immer mit Bezug auf mathematische Grundlagenvorlesungen versucht der Autor den Leser an die Materie heranzuführen. Aus geodätischer Sicht ist zu begrüßen, dass sich die verwendeten Notationen an die bekannten Lehrbücher von Witte und Koch anlehnen, so dass dieses Lehrbuch sicherlich mit dazu beitragen wird, das oft geforderte Verständnis der Parameterschätzung zu vertiefen. Genauso wie in den zuvor genannten Monographien, liegt es auch in der Absicht dieses Lehrbuches, einen Interessentenkreis zu finden, der über den geodätischen Bereich hinausreicht. Obwohl die Auswahl der Beispiele etwas sehr „Geodäsielastig“ ist, möchte ich diesem Buch wünschen – dass dies gelingt.

Milo Hirsch, Darmstadt