

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 84 (1966)
Heft: 1

Artikel: Gedanken zur Bedeutung der Vermessungskunde für den Bauingenieur
Autor: Kobold, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68802>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Tag verlegt werden. Kritisch dabei war allerdings das Überfahren der noch nicht geschlossenen Fugen mit der Achslast von über 30 t. Durch Unterlegen von Holzschwellen musste dafür gesorgt werden, dass sich die Last stets auch auf die Nachbarplatten übertrug, damit keine zu grossen Durchbiegungsdifferenzen auftraten.

Die Platten wurden ohne Mörtelzwischenlage direkt auf die Stahlträger aufgelegt, welche allerdings auf ihrer Oberfläche mit einem verstärkten Rostschutz versehen worden waren. Nach dem Versetzen folgten nach einem bestimmten Plan die weiteren Arbeiten, zunächst das Einziehen der Vorspannkabel, das Ausarmieren und Vergiessen der Fugen im Vorspannbereich, dann das Vorspannen dieser Kabel. Anschliessend konnten die übrigen Fugen und die Dübellöcher vergossen werden, worauf nach einer Erhärtungsfrist die Brücke den Mittelpfeilern abgesenkt und dadurch die ganze Fahrbahn noch weiter vorgespannt werden konnte.

Die Fahrbahn wird am beweglichen Auflager mit einer RUB-Übergangskonstruktion abgeschlossen. Auf der Seite des festen Auflagers ist der Fahrbahnbeton durchgeführt. Infolge der Durchbiegungen treten dort Verdrehungen auf, die durch entsprechende Ausbildung dieser Zone aufgenommen werden können.

Im grossen ganzen kann die gewählte Lösung mit der vorfabrizierten Fahrbahnplatte als günstig und gelungen bezeichnet werden. Man hat dabei allerdings einige Erfahrungen sammeln müssen, die beim Bau einer neuen Brücke ähnlicher Konstruktion verwertet werden und zu einer wesentlichen Vereinfachung führen sollen.

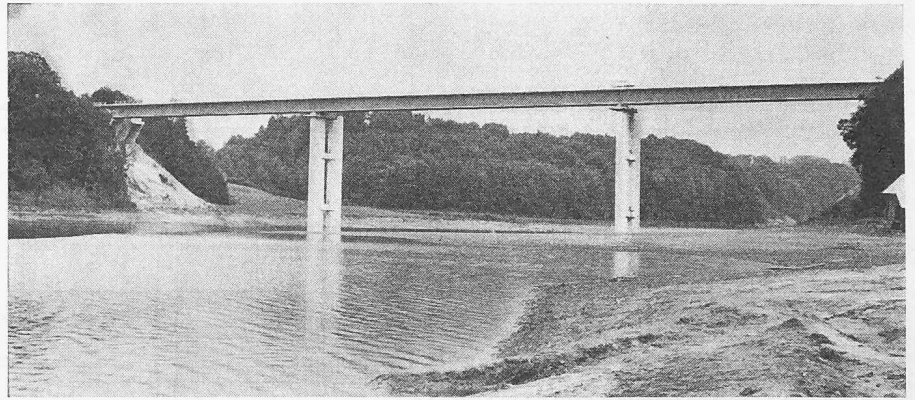


Bild 29. Bild der fertigen Brücke. Es fehlen noch die Belagsarbeiten und die Leitplanken

IV. Ergänzende Angaben

1. Massen

Stahlkonstruktion

Hauptträger und vollwandige Querscheiben

Stahl mit σ_F 40 kg/mm² 71 t

Stahl mit σ_F 36 kg/mm² 440 t

Stahl St 37 47 t

Quer- und Windverbände 45 t

Lager 7 t

Total 610 t

Tiefbau- und Eisenbetonarbeiten

Ortsbeton 3190 m³

Vorfabrizierte Fahrbahnplatten 730 m³

Armierungsstahl 455 t

2. Beteiligte Behörden und Firmen

Bauherr

Baudirektion des Kantons Freiburg, vertreten durch das Autobahnbüro.

Ausführende Firmen

Projekt:

Ateliers de Constructions Mécaniques de

Vevey S. A., Vevey.

Mitarbeiter für die Stahlkonstruktion: Prof. Dr. P. Dubas.

Bearbeitung der Tiefbau- und Eisenbetonarbeiten: Ingenieurbüro Fietz & Hauri, Zürich.

Architektonische Beratung: Bureau d'architectes Schlup et Schaffner, Lausanne.

Stahlkonstruktion:

Arbeitsgemeinschaft Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S. A., Vevey (Federführung und Montageleitung), Giovanola Frères S. A., Monthey, Zwahlen & Mayr S. A., Lausanne.

Tiefbau und Ortsbeton:

Consortium du pont sur la Sarine (Losinger S. A. und SATEG, Freiburg).

Vorfabrikation der Fahrbahnplatten:

IGECO, Etoy.

Rostschutzarbeiten:

AISA, Lausanne.

Gedanken zur Bedeutung der Vermessungskunde für den Bauingenieur

DK 526 : 624

Von Prof. Dr. F. Kobold, ETH, Zürich

Noch vor wenigen Jahrzehnten gehörte die Vermessungskunde zu den Fächern, mit denen sich jeder Bauingenieur-Student gründlich befassen musste, wollte er später in der Praxis alle ihm gestellten Aufgaben lösen, zu denen in hohem Masse auch Vermessungsarbeiten gehörten. Nur ausnahmsweise wurden Spezialisten, Vermessungsingenieure oder Geodäten zur Ausführung von Bauvermessungen herangezogen. Ihre Aufgabe bestand in der Lösung besonders schwieriger Probleme, wie sie etwa bei der Absteckung langer Stollen oder bei Deformationsmessungen auftreten. Die normalen Absteckungsarbeiten gehörten jedoch zu den Aufgaben des Bauingenieurs.

Seit Jahren ist eine Änderung in dem Sinne eingetreten, dass mehr und mehr alle Vermessungsarbeiten, die bei der Errichtung grosser Bauwerke auftreten, dem Vermessungsingenieur übertragen werden, während sich der Bauingenieur damit begnügt, die Aufträge für die auszuführenden Vermessungen zu erteilen. Der Grund dieser Änderung liegt darin, dass an den deutschsprachigen Hochschulen Vermessungsingenieure ausgebildet werden. Ihre Aufgaben liegen zwar zunächst auf den Gebieten der höheren Geodäsie, der Landesvermessung, der Katastervermessung sowie der Karten- und Planherstellung. Doch befähigt sie ihre Ausbildung und ihr Fachwissen selbstverständlich auch zur Ausführung von Ingenieurvermessungen; darf doch gesagt werden, dass diese trotz ihrer Mannigfaltigkeit meist weniger tiefe Kenntnisse verlangen als etwa die Probleme der eigentlichen Geodäsie.

Die Abwälzung der Bauvermessungen vom Bauingenieur auf den Vermessungsingenieur war zudem auch deshalb angezeigt, weil es dem Bauingenieur heute kaum mehr möglich ist, die Einzelheiten der modernen Vermessungsmethoden zu beurteilen; ist er ja häufig infolge Spezialisierung und rapidem Anwachsen des Wissens auf allen Gebieten nicht einmal mehr in der Lage, die Probleme näher verwandter Fachgebiete zu lösen. Es war naheliegend, dass als Folge dieser Er-

scheinung die Frage aufgeworfen wurde, ob die Ausbildung auf dem Gebiete der Vermessung für die Bauingenieure eingeschränkt werden könne. An manchen deutschen Hochschulen wurde die Stundenzahl für Vermessungskunde bereits erheblich herabgesetzt, ja man sprach davon, das Fach für den Bauingenieur nur noch empfohlen zu erklären. Man wird den Dozenten für Vermessungskunde an der Eidgenössischen Technischen Hochschule verstehen, wenn er im vorliegenden Aufsatz einige Gedanken zu dieser Frage äussert, und insbesondere am Beispiel der Deformations- und Rutschungsmessungen zu zeigen versucht, dass auch heute noch der Bauingenieur mit dem wesentlichen Gedankengut der Vermessung vertraut sein sollte. In diesen Betrachtungen weiss er sich übrigens mit den Dozenten für Geodäsie an den deutschen technischen Hochschulen einig.

Gehen wir von der Tatsache aus, dass der Bauingenieur auch in unserem Land nur noch selten Vermessungen ausführt, sondern diese Arbeiten normalerweise dem Techniker oder bei schwierigeren Fällen dem Vermessungsingenieur überträgt. Gerade diese Tatsache zwingt jedoch zur Folgerung, dass dem Bauingenieur die Vermessungsmethoden bekannt sein müssen; denn wie könnte er sonst dem Techniker einen vernünftigen Auftrag erteilen oder mit dem Spezialisten die zu lösenden Probleme besprechen? Kann daher die Notwendigkeit, dem Bauingenieur nach wie vor eine Ausbildung in Vermessung zu vermitteln, nicht bestritten werden, so drängt sich seit längerer Zeit eine Änderung des Ausbildungszieles auf. Musste früher, als der Bauingenieur noch selbst Vermessungen durchführte, auch das praktische Vorgehen eingehend erläutert werden, so ist heute mehr Gewicht auf das allgemeine Verständnis der Vermessungsprobleme, der Methoden und der Möglichkeiten zu legen.

Sowohl die klassischen Vermessungsverfahren als auch die Photogrammetrie, beide besonders geeignet zur Kombination mit automatischer Datenverarbeitung, wurden in den letzten Jahren derart weit

entwickelt, dass es für den Nichtspezialisten schwierig geworden ist, den Überblick zu behalten und die verschiedenen Möglichkeiten gegeneinander abzuschätzen. Dieser Überblick ist nun aber gerade für den Bauingenieur besonders wichtig. Kann er heute die Kenntnis der Einzelheiten der verschiedenen Methoden entbehren, so gehört das Erkämpfen des Überblicks zu seinen Aufgaben. Wir wagen zu behaupten, dass diese Aufgabe für ihn zu den dankbaren gehört, muss es doch immer wieder Sache des Ingenieurs sein, sein Fachgebiet als Ganzes zu beurteilen, um die im einzelnen Falle richtige Lösung zu finden.

Das Grundsätzliche der vermessungstechnischen Überlegungen dient indessen dem Bauingenieur nicht nur zur Beurteilung der eigentlichen Vermessungsprobleme, es ist von allgemeinem Bildungswert. Zunächst darf darauf hingewiesen werden, dass der Zusammenhang zwischen Ingenieur- und mathematischem Denken wohl auf keinem technischen Gebiet derart eng ist wie in der Vermessung. Stimmen nämlich in der Vermessung die vor Ausführung einer Arbeit anzustellenden Überlegungen über die Genauigkeiten nicht mit den nach Ausführung erzielten überein, so müssen die Ursachen aufgesucht werden, und ein verantwortungsbewusster Geodät wird sich nicht zufrieden geben, bis er das Nichtübereinstimmen erklären kann. Der Wert der in der Vermessung besonders entwickelten Gedankengänge beschränkt sich daher nicht nur auf diese, sondern er bezieht sich auf alle Gebiete der messenden Wissenschaften und über diese hinaus auf den Grossteil der Naturwissenschaften. Sie bieten daher dem Wissenschaftler eines der Werkzeuge, seine Beobachtungen zu beurteilen.

In der Tat erweist sich die Fehlertheorie als das Hilfsmittel, das erlaubt, Wahrnehmungen auf ihre Realität zu beurteilen. Ihre wichtigste Anwendung besteht darin, die Genauigkeit von Beobachtungen und von Funktionen dieser Beobachtungen abzuschätzen. Die Fehlertheorie darf daher in mehr als einer Hinsicht als Vorläuferin der heutigen statistischen Methoden bezeichnet werden. Diese lösen zwar Probleme, die über diejenigen der Fehlertheorie hinausgehen; doch ist es häufig die Fehlertheorie in ihrer klassischen Form, die sich noch heute auch ausserhalb der Vermessung als erster Zugang zur Lösung zahlreicher Aufgaben aufdrängt. Bei Vermessungsproblemen ist in der Regel die Aussage auf Grund der mathematischen Statistik nicht tiefergreifender als die entsprechende aus der klassischen Fehlertheorie. Die Ursache liegt wohl darin, dass es in der Vermessung gelingt, die Beobachtungen von den groben und systematischen Fehlern zu befreien, so dass für die noch bleibenden zufälligen Fehler Gauss'sche Normalverteilungen vorliegen. Bei Untersuchungen allgemeiner natürlicher Zusammenhänge sind die Verhältnisse meist nicht so günstig, weil häufig andere, kaum überblickbare Verteilungen vorliegen, aus denen grobe oder systematische Elemente nicht ausgeschieden werden können.

Wenn eingangs von der heutigen Bedeutung der Vermessungskunde für den Bauingenieur gesprochen und darauf hingewiesen wurde, dass ihm heute mehr und mehr nur noch die Aufgabe zufällt, Vermessungsaufträge zu erteilen, so ergibt sich für ihn die Bedeutung der Fehlertheorie einmal aus der Anwendung in der Vermessung. Sie bietet ihm aber auch das Werkzeug, um in seinem eigenen Fachgebiet Fehler, die in den Annahmen, in der Berechnung und in der Ausführung auftreten können, zu erkennen, ihren Einfluss und namentlich ihr Zusammenwirken zu beurteilen.

Um später am Beispiel der Deformations- und Rutschungsmessungen die Bedeutung der Vermessungskunde für den Bauingenieur näher aufzuzeigen, ist es angebracht, vorher kurz die Genauigkeiten der modernen Messverfahren anzugeben. Bei den *Winkelmessungen* kann mit modernen Instrumenten bei zweckmässigem Vorgehen mit mittleren Fehlern von $\pm 1,5''$ oder $2 \cdot 10^{-6}$ an einer ausgeglichenen Richtung gerechnet werden. Bei den *Streckenmessungen* hängt die Genauigkeit von der Messmethode ab. Verwendet man zur Messung von Entfernungen *Invardrähte* oder *Invarbänder*, so erreicht man mittlere Fehler von $\pm 1,0$ mm für eine Strecke von 1 km oder $\pm 0,2$ mm für eine Strecke von 100 m. Lange Strecken von mehreren km, die mit Invardrähten oder Invarbändern gemessen wurden, waren im Rahmen der Landesvermessungen zur Bestimmung von Basislängen nötig. Für den Bauingenieur kommen Messungen mit Invardrähten oder Invarbändern wohl nur im Zusammenhang mit Deformationsbeobachtungen an Bauwerken in Betracht, wobei die Strecken höchstens einige 100 m betragen. Bei Verwendung von *Holzlaten* oder *Stahlbändern* erreicht man mittlere Fehler von ± 2 bis ± 4 mm auf 100 m für die einmalige Messung. Die indirekte Streckenmessung mit *Basislatte* oder *Doppelbildstanzmesser* gibt mittlere Fehler von

± 2 cm auf 100 m, wobei jedoch die Fehlerfortpflanzung der beiden Methoden verschieden ist. Übersteigt die Länge der zu messenden Strecke einige 100 m und wird eine hohe Genauigkeit verlangt, so verwendet man heute die *elektro-optische Distanzmessung*. Sie gibt mittlere Fehler von 1 cm auf eine Strecke von 1 km, wobei dieser mittlere Fehler nicht stark von der Streckenlänge abhängig ist. Zu den Streckenmessungen gehört in einem gewissen Sinn auch das *Nivellement*. Bei Verwendung von Invarlatten kann bei Doppelnivellementen ein mittlerer Kilometerfehler von $\pm 0,4$ mm, und für eine Strecke von 100 m ein solcher von $\pm 0,15$ mm angenommen werden. Erwähnen wir zum Schluss noch die heutigen Möglichkeiten der *Photogrammetrie*. Der mittlere Fehler der Koordinaten eines Punktes in der Aufnahmeplatte liegt bei $\pm 0,003$ mm und ergibt einen mittleren Fehler an der nach diesem Punkt beobachteten Richtung von $\pm 30''$. Bei zweckmässiger Wahl der Aufnahmekammern, der Flughöhe und des Photomaterials können aus photogrammetrischen Aufnahmen heute mittlere Fehler für signalisierte Punkte von ± 4 cm in Lage und Höhe erreicht werden.

Mit diesen Genauigkeiten ist bei den Deformations- und Rutschungsmessungen zu rechnen, deren Problematik im folgenden – wenigstens teilweise – beleuchtet werden soll. Deformationsmessungen dienen dem Bauingenieur zur Kontrolle der Bauwerke. Er muss sich Klarheit über deren Verhalten verschaffen, in dem er durch Messungen Formänderungen und Lageänderungen ermittelt. Formänderungen lassen sich mit sehr hoher Genauigkeit durch relative Methoden (Pendel, Klinometer usw.) gewinnen. Lageänderungen dagegen konnten bisher nur durch geodätische Messungen bestimmt werden, die in gewissem Sinn den Charakter absoluter Messungen tragen. Die Ergebnisse von Deformationsmessungen werden dann besonders zuverlässig sein, wenn sowohl mit relativen als auch mit absoluten Methoden gearbeitet wird, und wenn die Messergebnisse beider Methoden einer gemeinsamen Auswertung unterzogen werden.

Einige grundsätzliche Bemerkungen zu den geodätischen oder absoluten Messungen dürften gerade im jetzigen Zeitpunkt am Platze sein, da die Verfahren wohl ebenso häufig überschätzt als auch unterschätzt werden, indem man die Zuverlässigkeit der Ergebnisse nicht richtig beurteilt. Die geodätische Methode besteht darin, eine grössere Anzahl von Punkten des Bauwerkes zu verschiedenen Zeiten gegenüber festbleibenden Punkten der Umgebung einzumessen. So will man bei Staumauern, bei denen das Verfahren besonders entwickelt worden ist, zunächst wissen, welche Formänderungen die Mauer erleidet, um diese gemessenen Formänderungen mit den zum voraus berechneten zu vergleichen. Noch wichtiger ist heute das Problem geworden, festzustellen, ob die Mauer gegenüber dem umliegenden Fels ihre Lage beibehält und ob auch Punkte im Fels Lage- und Höhenänderungen durchmachen. Ähnliche Messmethoden gelangen bei Studien über Geländerutschungen, wie sie an sehr vielen Orten im Gebirge im Zusammenhang mit Strassen- und anderen Bauten auftreten, zur Anwendung.

Wenn eingangs darauf hingewiesen wurde, dass der Bauingenieur heute so wenig wie früher auf die Kenntnis der Vermessungsmethoden verzichten kann, so trifft dies bei Rutschungsmessungen und bei Deformationsbeobachtungen an Staumauern in besonders hohem Masse zu. Denn es ist Sache des Bauingenieurs, Objekte, die untersucht werden müssen, zu erkennen, und die Aufgabe zu formulieren, während dem Vermessungsingenieur die Aufgabe zufällt, die verschiedenen Methoden in Erwägung zu ziehen und Vorschläge für die Durchführung der Messungen zu unterbreiten. Nach Abschluss einer Messung und der zugehörigen Berechnungen ist es wiederum der Bauingenieur, der die Ergebnisse interpretieren muss, indem er sie mit den aus seinen statischen Berechnungen ermittelten Verschiebungen vergleicht. Eine richtige Interpretation setzt aber voraus, dass der Bauingenieur die angewandten Methoden und insbesondere den Genauigkeitsnachweis, wie er vom Spezialisten geliefert wird, richtig beurteilen kann.

Je nach Verhältnissen und Genauigkeitsforderungen kommen eine der früher erwähnten Methoden, die Winkelmessung, die Streckenmessung oder die Photogrammetrie oder eine Kombination der verschiedenen Methoden zur Anwendung. Immer wird es sich darum handeln, eine erste Messung und eine oder mehrere spätere Messungen durchzuführen, die alle in gleicher Art und mit gleicher Genauigkeit vorgenommen werden müssen, damit sie einen zuverlässigen Vergleich zulassen.

Werden sehr hohe Genauigkeiten verlangt (wenige Zehntel-mm bis ± 1 mm), wie das bei Staumauern der Fall ist, so kommen nur Winkelmessungen mit Präzisionstheodoliten und Streckenmessungen

mit Hilfe von Invarbändern und Invardrähten in Frage. Man baut im Fels in der Umgebung der Mauer eine Anzahl von soliden Betonpfeilern, auf denen der Theodolit aufgestellt werden kann. Diese Pfeiler sollen ein streng aufgebautes Triangulationsnetz bilden, so dass die gegenseitige Lage aller Pfeiler mit hoher Genauigkeit ermittelt werden kann. Auf diesen Pfeilern werden horizontale Richtungen und Höhenwinkel gemessen, und zwar sowohl nach den andern Pfeilern als auch nach besonders gekennzeichneten Punkten im Gelände und an der Mauer. Die Beobachtungen erfolgen nach den Methoden, die aus der Triangulation bekannt sind. Ausser diesen Messungen werden in neuerer Zeit Präzisionspolygonzüge gemessen, die in den Kontrollgängen der Mauer verlaufen und meistens in horizontalen Felsstollen verkant sind. Die Berechnung sollte in der Art erfolgen, dass Triangulation und Polygonzüge in die gleiche Ausgleichung einbezogen werden. Dabei wird man bei den Polygonzügen auf die Einführung aller Seiten und Winkel verzichten; man kann sich wohl immer damit begnügen, mit den Längen der einzelnen Polygonzüge zu rechnen und ihnen ein Gewicht zu geben, das im Zusammenhang mit der Genauigkeit der Winkelmessungen steht. Die Ausgleichung wird in mehreren Varianten ausgeführt, und zwar so lange, bis die aus ihr folgenden mittleren Fehler mit den ursprünglich angenommenen, wie sie aus den Beobachtungen folgen, im Rahmen der durch die Methoden gegebenen Genauigkeiten übereinstimmen.

Bei Rutschungsmessungen werden nicht derart hohe Genauigkeiten wie bei Staumauern verlangt und sie könnten wegen der grösseren Distanzen, die hier auftreten, auch nicht erreicht werden. In der Regel dürften mittlere Fehler von $3 \div 5$ mm, vielleicht auch $1 \div 2$ cm genügen. Als Methoden drängen sich Triangulation und elektronische Distanzmessung auf. Die Kombination der beiden Methoden erweist sich als besonders wertvoll, weil für die Bestimmung des Masstabes elektronisch gewonnene Distanzen eingeführt werden können und man sich nicht auf die aus der bestehenden Triangulation berechneten Entfernungen stützen muss. Man wird damit von bestehenden Punkten unabhängig, die nicht selten eigene Bewegungen aufweisen, und dies auch dann, wenn sie ausserhalb des eigentlichen Rutschgebietes liegen.

Zur Untersuchung von Rutschungen in grösseren Gebieten, z. B. in der weiteren Umgebung von Staudämmen, genügen wohl immer mittlere Fehler von $3 \div 5$ cm (m. F.) für die zu untersuchenden Punkte. Als Methode für derartige Aufgaben ist besonders die numerische Photogrammetrie geeignet. Sie ermöglicht die Bearbeitung grösserer Gebiete mit beliebig vielen zu untersuchenden Punkten, und sie bietet den Vorteil, dass immer wieder neue, zunächst nicht betrachtete Punkte in die Untersuchung einbezogen werden können, sofern sie nur auf allen photographischen Aufnahmen des Gebietes zu erkennen sind. Die Bestimmung genauer Koordinaten von Passpunkten, obwohl auch hier von Vorteil, kann wegfallen, indem man alle spätern Aufnahmen nur relativ zur ersten in Beziehung bringt.

Bei allen diesen Messungen – es kann sich um Deformationsmessungen an Staumauern oder um Rutschungsmessungen an Talhängen handeln – treten zwei wesentliche Schwierigkeiten auf, die näher gezeigt werden sollen.

Die *erste* liegt darin, dass es oft schwierig ist, Ausgangspunkte zu finden, von denen man annehmen darf, dass sie sich nicht bewegen.

Das Problem der Ausgangspunkte erfordert von Anfang an grösste Aufmerksamkeit. Begehungen, Beobachtungen und die Beurteilung durch Geologen geben Anhaltspunkte; bei recht vielen praktisch durchgeführten Arbeiten zeigt sich jedoch im Verlaufe der geodätischen Beobachtungen und Berechnungen, dass auch die als unveränderlich betrachteten Geländeteile sich verschieben. So gibt es bei Staumauern Fälle, wo die von der Mauer weit entfernten Punkte, die ohne Zweifel ausserhalb der Druckzone liegen, grössere Bewegungen aufweisen als Punkte in der Nähe der Mauer, von denen man annahm, dass sie veränderlich seien. Bei der Auswertung von Deformations- und Rutschungsbeobachtungen liegt daher das erste Problem darin, die Pfeiler und Beobachtungsstationen zu finden, die als unverändert betrachtet werden dürfen. Selten ergeben sich aus den Differenzen zwischen den Messungen sofort Schlüsse über das Festbleiben oder Wandern, weil meistens nicht nur ein einziger Punkt sich bewegt, sondern mehrere Punkte ihre Lage ändern. Man sieht sich dann meistens gezwungen, eine Reihe von Varianten zu rechnen, indem man die Punkte, deren Festbleiben zweifelhaft scheint, sowohl als Festpunkte als auch als veränderliche Punkte einführt. Derart tiefgreifende Untersuchungen sind erst möglich geworden, seit die sehr umfangreichen Berechnungen auf elektronischen Rechenanlagen bewältigt werden können. Es besteht kein Zweifel, dass der Einsatz

dieser Maschinen wegen der zahlreichen untersuchten Varianten zu zuverlässigeren Ergebnissen führt, als sie früher möglich waren.

Dass sowohl die Beurteilung der verschiedenen Varianten als auch die Interpretation der aus ihnen folgenden Ergebnisse grösste Aufmerksamkeit und tiefes Verständnis der Vermessungsmethoden erfordert, braucht kaum besonders betont zu werden. In der Regel erlaubt das Studium der verschiedenen Varianten einen eindeutigen Schluss, welche Punkte in Lage und Höhe unverändert geblieben sind. Sie dienen nun als Grundlagen für die Berechnung der zu untersuchenden Punkte an der Mauer und im Rutschhang. Doch gibt es Fälle, wo sich nicht mit einer gewissen Sicherheit sagen lässt, welche Punkte ihre Lage beibehalten haben. Vielleicht gibt in diesen Fällen die nachfolgende Berechnung der Punkte an der Mauer oder im Rutschhang Aufschluss, die sich auf verschiedene Annahmen über festbleibende Punkte stützt. Man betrachtet dann die Annahme als günstigste, bei der die verschobenen Punkte an der Mauer und im Rutschhang die kleinsten mittleren Fehler erhalten.

Diese Ausführungen mögen zeigen, wie sehr sich die Beurteilung, welche Ausgangspunkte im Vorgelände oder im Gegenhang fest geblieben sind, als entscheidend für die Auswertung erweist. Sie mögen aber auch dartun, dass eine Regel für das Vorgehen nicht aufgestellt werden kann, und dass sich nicht in allen Fällen einwandfreie Schlüsse über das Festbleiben oder Wandern ziehen lassen.

Die *zweite Schwierigkeit* ergibt sich dann, wenn die ermittelten Verschiebungen die Beobachtungsgenauigkeit nur um wenig übersteigen und es darum geht, sie als reell oder nur als Rechenresultat und daher als nicht vorhanden zu beurteilen.

Das Problem tritt sowohl in der ersten Stufe bei der Bestimmung der Ausgangspunkte als auch in der zweiten Stufe bei der Bestimmung der Verschiebungen von Punkten an der Mauer oder im Rutschgebiet auf. Man wird diese Aufgabe zunächst mit Hilfe der Regeln der Fehlertheorie zu lösen versuchen. Man darf demnach dann eine Verschiebung als reell betrachten, wenn sie den dreifachen mittleren Fehler, den man etwa als maximalen Fehler bezeichnet, überschreitet. Statt dieser einfachen Regel vom dreifachen mittleren Fehler werden immer häufiger die Grenzwerte angegeben, die sich aus der strengeren Betrachtung auf Grund der Student'schen Fehlerverteilung und der Student'schen Fehlerkriterien ergeben. Doch liegt in dieser Aussage nicht die entscheidende Schwierigkeit. Sie tritt vielmehr dann auf, wenn die Frage gelöst werden muss, ob Verschiebungen, die den einfachen oder doppelten mittleren Fehler überschreiten, den dreifachen jedoch nicht erreichen, als reell zu betrachten sind.

Wohl lassen sich aus der Fehlertheorie die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Fehlern beliebiger Grösse und mit Hilfe der sog. Konfidenzbereiche die Grenzen für die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens gewisser Fehler berechnen. Theoretische Überlegungen und praktische Erfahrung veranlassen jedoch den Ingenieur, die strenge Anwendung der statistischen Methoden und der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit einer gewissen Skepsis zu betrachten. Zunächst sind Zweifel an der Anwendbarkeit der Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung deshalb angebracht, weil die Zahl der Beobachtungen immer nur gering ist, und damit eine wichtige Voraussetzung der Methode nicht erfüllt ist. Auch die Theorie der Stichproben passt schlecht zum vorliegenden Problem. Zudem mögen gelegentlich Zweifel am Platze sein, ob unsere Beobachtungen einer Normalverteilung entsprechen, da nicht selten bei Staumauerbeobachtungen anormale Refraktionserscheinungen zu bemerken sind, und da während den Beobachtungen Lageveränderungen an Pfeilern und an den Zielmarken auftreten können.

Zu alle dem tritt ein zweites Moment. Man rechnet die mittleren Fehler, d. h. die Genauigkeitsmasse, die dazu dienen, die Zuverlässigkeit von Beobachtungen und Messungen zu beurteilen, aus der Quadratsumme der Verbesserungen [p_{vv}], die vorher nach der Methode der kleinsten Quadrate zu einem Minimum gemacht wurde. Daraus geht hervor, dass jede Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate zu Werten für die Unbekannten – in unserem Fall für die Punktverschiebungen – führt, für welche die mittleren Fehler minimal oder die Gewichte maximal werden. So befriedigend die Resultate der Ausgleichungen vom rechnerischen Gesichtspunkt aus auch sind, so darf man doch bei der Beurteilung der Genauigkeit nicht ausser acht lassen, dass die berechneten mittleren Fehler die kleinstmöglichen sind, und dass sie wohl in vielen Fällen zu günstig ausfallen und eine zu hohe Genauigkeit vortäuschen.

Trotz dieser Mängel ist es angebracht, die Methode der kleinsten Quadrate anzuwenden, weil sie mit minimalem Rechenaufwand zu widerspruchsfreien und ohne Zweifel zu Werten führt, die in der Nähe

der wahren liegen. – Wenn zu Beginn dieses Abschnittes gesagt wurde, dass Kriterien fehlen, um zu beurteilen, ob kleine Punktverschiebungen als reell zu betrachten sind, so liegt in der Schaffung solcher Kriterien ein Problem vor, für das Lösungen gefunden werden sollten.

Kommen wir nun auf die Aufgabe des Bauingenieurs zurück, die sich ihm nach Abschluss der Berechnungen für eine Deformations- oder Rutschungsmessung stellte. Er erhält vom Spezialisten als Ergebnisse die Verschiebungen mit ihren mittleren Fehlern. Am Bauingenieur liegt es nun, Schlüsse in bezug auf das Bauwerk oder auf das Gelände zu ziehen. Sind die Beträge entweder gross oder so klein, dass sie als bedeutungslos betrachtet werden können, bietet die Beurteilung kaum Schwierigkeiten. Anders liegen die Verhältnisse, wenn die ermittelten Verschiebungen nur um wenig grösser sind als deren mittlere Fehler. Nur Einsicht in die Fehlertheorie, verbunden mit der allgemeinen Beurteilung des Bauwerkes, können zu zuverlässigen Schlussfolgerungen führen. Mindestens sollte darüber Klarheit bestehen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Verschiebungen ausserhalb der durch die mittleren Fehler gegebenen Grenzen 32%, dass die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten des doppelten mittleren Fehlers noch 5% und die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten

des dreifachen mittleren Fehlers noch 2‰ beträgt. Ergibt eine Deformationsmessung z. B. eine Verschiebung von 3 mm mit einem mittleren Fehler von ± 1 mm, so besteht die Wahrscheinlichkeit von 32%, dass die tatsächliche Verschiebung grösser als 4 mm und kleiner als 2 mm ist, und die Wahrscheinlichkeit von 5%, dass die tatsächliche Verschiebung grösser als 5 mm oder kleiner als 1 mm ist. Aus Gründen, die auf den vorderen Seiten dargelegt wurden, wird man jedoch vorsichtigerweise den mittleren Fehler, der sich aus der Ausgleichung zu $\pm 1,0$ mm ergibt, höher, vielleicht zu $\pm 1,5$ mm ansetzen.

Zu diesen kritischen Bemerkungen über die Art, wie Bauingenieure die Ergebnisse von Deformations- und Rutschungsmessungen beurteilen sollten, sah sich der Verfasser dieses Aufsatzes durch manche Erfahrungen der letzten Jahre veranlasst.

Wurden in diesen Ausführungen auch Nachteile der geodätischen Methoden angeführt, so bedeutet dies nicht eine generelle Kritik am Verfahren und erst recht nicht an der Bearbeitung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate. Trotz ihres komplizierten Charakters kann auf die geodätische Methode solange nicht verzichtet werden, als die relativen Methoden das Problem der Verschiebung nicht lösen.

Übungen und Demonstrationen in Materialprüfung

DK 620.17

Von Prof. Ed. Amstutz, Direktionspräsident, und Dr. A. Rösli, Abteilungsvorsteher der EMPA, Dübendorf

Die Vermittlung der technisch-wissenschaftlichen Bildung an den werdenden Bauingenieur muss sich auf das einrichten, was durch Vorlesungen, Rechen-, Konstruktions- und einfachere Laborübungen geboten werden kann. Dies bringt mit sich, dass alles das, was recht summarisch und meistens nicht ganz zutreffend im Begriff «Theorie» zusammengefasst wird, in der Vorstellung des jungen Ingenieurs über seine zukünftige Tätigkeit leicht ein Übergewicht einnimmt. Die Hauptaufgabe der Übungen und Demonstrationen in «Materialprüfung» besteht nun darin, ein Gegengewicht zu dieser Einstellung zu vermitteln. Es gilt, die tatsächliche Wirklichkeit der Eigenschaften der Bau- und Werkstoffe, wie auch des Verhaltens daraus hergestellter Bauteile möglichst anschaulich vor Augen zu führen. Es wird natürlich nie gelingen, die ganze ungeheure Vielfalt der Eigenschaften und das von so zahlreichen Einflüssen abhängige Verhalten in seiner gesamten Fülle vorzuführen. Der Umfang der Neubauten der EMPA in Dübendorf, wo die Übungen und Demonstrationen stattfinden, mag immerhin auch dem Studenten einen Hinweis geben, dass das, was gezeigt werden kann, nur einen bescheidenen Ausschnitt aus einer weit ausgreifenden Prüf- und Versuchstätigkeit darstellt.

Das Schwergewicht bei den Übungen und Demonstrationen ist zu legen auf das Erkennen der Grenzen der Gültigkeit vereinfachender, idealisierender Annahmen über die Materialeigenschaften und auf das Aufzeigen von Grenzzuständen, die für die langfristige Bewahrung oder schliesslich für die Tragfähigkeit massgebend sind. In diesem Rahmen lassen sich etwa folgende vier Gruppen bilden:

- die Eigenschaften und das Verhalten der Bau- und Werkstoffe selber,
- baustatische Besonderheiten, die zwar leicht zu begreifen, nur aus der Vorstellung heraus aber nicht ohne weiteres zu erkennen sind,

- Umlagerungen in der Arbeitsweise der Tragwerke infolge
 - Überschreiten des rein elastischen Bereiches,
 - Überschreiten von Stabilitätsgrenzen,
 - Änderungen im Zusammenwirken mehrerer Baustoffe,
- d) dynamisches Verhalten von Bauteilen.

Was die Bau- und Werkstoffe selber anbelangt, so eignen sich gerade die wichtigsten unter ihnen, nämlich Stahl, Beton und Holz besonders gut, um unterschiedliche Eigenschaften und verschiedenartiges Verhalten deutlich zu machen. Dies erfolgt vor allem in den obligatorischen Übungen des 4. Semesters. Wegen der grossen Zahl der Studierenden müssen die entsprechenden Versuche im allgemeinen vorgeführt werden. Doch sind auch hier Ansätze vorhanden für eine in kleinen Gruppen – ähnlich wie in den Vermessungsübungen – von den Studierenden weitgehend selbständige Durchführung wenigstens der Hauptversuche, etwa über die Zugfestigkeit von Armierungsstahl oder über die Betonfestigkeit.

Beim Stahl wird das enorme Verformungsvermögen herausgestellt und in Vergleich gesetzt zum geringen Ausmass der elastischen Formänderungen. Deutlich zu machen ist ferner, dass ein zäher Stahl sehr wohl auch spröde brechen kann. Der Einfluss mehraxiger Spannungszustände, schlagartiger Beanspruchung, tiefer Temperaturen wird gezeigt, die Auswirkung vorausgegangener Verformungen verschiedenster Art zur Darstellung gebracht. Dass sich der Ablauf von Langzeitvorgängen nicht gut demonstrieren lässt, liegt auf der Hand; auf Alterungs- und Ermüdungsvorgänge, Kriech- und Relaxationserscheinungen kann nur durch Vorweisen von Versuchsergebnissen und Bruchstücken und durch Erläuterung der Versuchseinrichtungen hingewiesen werden.

Bild 1. Verformungen im Endquerschnitt eines 2,95 m langen, einseitig eingespannten Profils \square AP 200 infolge einer dort mittels der sichtbaren vertikalen Stange aufgebrachten Belastung von 880 kg. e = Abstand der Wirkungslinie der Belastung vom Schubmittelpunkt

$e = -4,00$ cm (links vom Schubmittelpunkt) $e = 0$ (im Schubmittelpunkt) $e = 2,60$ cm (in der Stegebene) $e = 4,42$ cm (im Schwerpunkt des Querschnittes) $e = 8,50$ cm (rechts vom Schubmittelpunkt)

