Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 82 (1984)

Heft: 6

Artikel: Deformationsmessungen beim Verschub der Quaibrücke in Zürich

Autor: Meyer, U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-232103

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

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

Deformationsmessungen beim Verschub der Quaibrücke in Zürich

U. Meyer

In diesem Artikel wird der Einsatz von elektronischen Tachymetern und der EDV bei der Bestimmung von Deformationen an den Verschubbahnen bei einer Brückenverschiebung beschrieben.

Cet article décrit l'emploi de tachymètres électroniques et de l'informatique pour la détermination de déformations sur les voies de déplacement d'un pont.

1. Allgemeines

Wegen der zunehmenden Verkehrsbelastung, durch chemische Einwirkungen und als Folge des schlechten Baugrundes vermochte die vor 100 Jahren unter Stadtingenieur Bürkli erstellte Quaibrükke den heutigen Anforderungen nicht mehr zu genügen. Nach langen politischen Ausmarchungen stimmten die Bürger im Herbst 1982 einer Sanierung des Bauwerkes zu. Das Unternehmerprojekt der Arbeitsgemeinschaft Fietz + Leuthold AG/Schneider, Stahl + Kesselbau AG gelangte zur Ausführung. In rund 18 Monaten Bauzeit wurde die neue Brücke durch die Arbeitsgemeinschaft auf Pfählen neben der alten Brücke limmatseitig erstellt. Am dritten Märzwochenende dieses Jahres wurde die neue Brücke auf die alten Pfeiler eingeschoben und gleichzeitig die alte Brücke auf Pfähle seeseits ausgelagert. Auf sechs Verschubbahnen wurde der gesamte Komplex von rund 7800 Tonnen Gewicht in 15 Stunden um 30 Meter verschoben.

Es ist vorgesehen, über den Bau der neuen Brücke in einem Artikel in der Zeitschrift ‹Schweizer Ingenieur und Architekt› zu berichten.

2. Deformationsmessungen

Wegen der schlanken Bauweise der Stahlbeton-Brückenplatte erträgt diese nur geringe Deformationen. Um allfällige Senkungen der Verschubbahn kompensieren zu können, waren hydraulische Pressen zwischen Pfahl und Verschubbahnträger installiert, so dass der Träger angehoben werden konnte. Eine Aufgabe im Rahmen der Deformationsmessungen bestand darin, die Lage und Höhe dieser Träger zu überwachen. Diese Arbeit wird nachfolgend ausführlicher beschrieben.

Gleichzeitig beobachtete eine zweite Equipe die Brückenoberfläche mittels Flächennivellement. Daneben wurde die Parallelität des Verschubes durch ein Laser-Alignement überprüft und die Veränderung der Pfähle in der Schubrichtung kontrolliert. Diese Arbeiten wurden durch den Bauunternehmer ausgeführt.

3. Die Deformationsmessung der Verschubbahnen

3.1 Randbedingungen

Während des Verschubes (alle drei Meter) galt es, Lage und Höhe der sechs Verschubbahnen mit einer Genauigkeit von je 3 mm in allen drei Koordinaten zu erfassen.

Um die eigentlichen Verschubarbeiten nicht zu verzögern, mussten die Messungen während des Umsetzens der Gleitkissen und der visuellen Kontrollen ausgeführt werden. Dies hatte zur Folge, dass max. 16 Minuten für die Beobachtungen zur Verfügung standen.

Die Resultate der Deformationsmessung sollten 30 Minuten nach Messbeginn zur Verfügung stehen.

Der zur Verfügung stehende Vermessungsfreiraum unter der Brücke war klein, und an jeder Verschubbahn waren mehrere Arbeiter beschäftigt, was eine zusätzliche Einschränkung bedeutete.

Ferner musste das gewählte Verfahren auch bei schlechtem Wetter angewendet werden können. (Eine Terminverschiebung war nur bei aussergewöhnlichen Witterungsverhältnissen vorgesehen.)

3.2 Das gewählte Messverfahren

An jeder Verschubbahn von 90 m Länge waren 8–10 Deformationspunkte ausgewählt worden. Nachdem sich andere Verfahren (hydrostatisches Nivellement, Vorwärtseinschneiden, mechanisches Alignement) aus Kostengründen oder wegen Platzmangel nicht eigneten, wurde entschieden, die Lage und Höhe der Deformationspunkte mit Theodolit (und Distanzmesser) zu bestimmen. Von drei Stationen aus konnten diese Punkte – mit Bezug zu einem kleinen Fixpunktnetz – beobachtet werden (vgl. Abbildung 2). Zwei Stationen konnten als fest angenommen werden, die dritte bewegte sich während des Verschubes und wurde jedesmal als freie Station neu berechnet. Wo nötig wurden zu den Deformationspunkten Distanzen gemessen, sonst wurden sie mit Richtung und Zenitdistanz erfasst. Die Distanz zwischen dem ersten Deformationspunkt und den weiteren Punkten der selben

Abb. 1 Die neue Brücke wird limmatseitig auf Pfählen erstellt

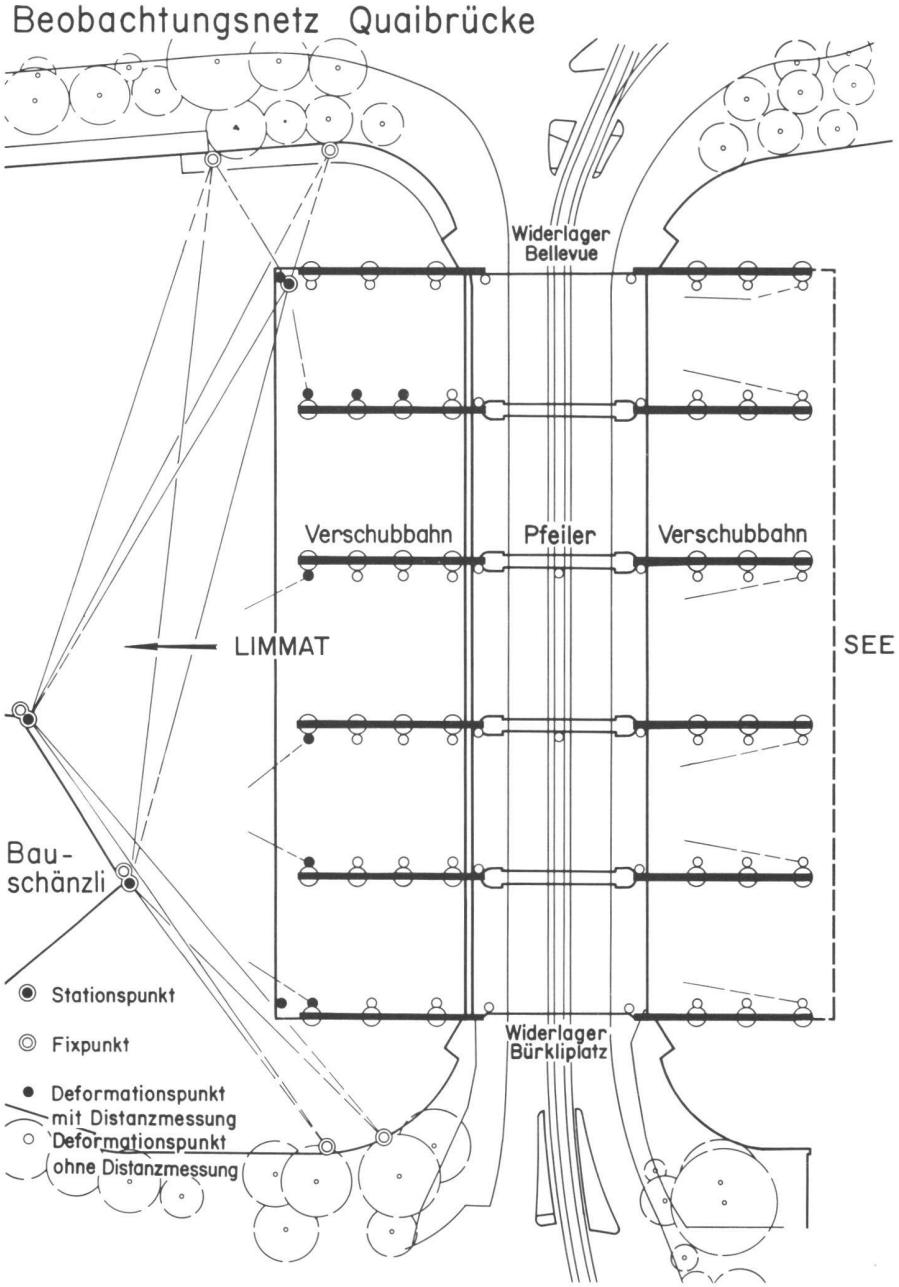

Abb. 2 Lage der Fix- und Deformationspunkte mit angedeuteten Beobachtungen

Abb. 3 Die Platzverhältnisse am Instrument

Verschubbahn wurde als konstant angenommen. Die Punktkoordinaten ergaben sich hier aus einem Schnitt einer Geraden mit einem Kreis. Die zur Verfügung stehende Zeit erlaubte nicht, irgend eine Kontrollbeobachtung auszuführen. Der Unternehmer nahm aber das Risiko einer Fehlmessung ausdrücklich in Kauf.

Anderseits versuchten wir durch die Wahl des Instrumentariums und zuverlässiger Operateure, die Zahl der Fehler möglichst gering zu halten. Im Einklang mit der bisherigen Ausrüstung in unserer Bauvermessungsabteilung und den heutigen Möglichkeiten für die gestellte Aufgabe entschieden wir uns für den Einsatz von elektronischen Theodoliten der Firma Kern, Aarau. Jede der drei Stationen wurde ausgerüstet mit einem elektr. Theodolit E2, mit einem Distanzmesser DM 502, einem Dateninterface DIF 41, einem Taschenrechner HP 41 zur Datenerfassung sowie mit einem Speisegerät.

Nach Beendigung der Messungen wurde die HP 41 durch einen Beobachter ins Auswertebüro getragen; für eine direkte Übertragung waren die Distanzen zu gross, und der Einsatz von Modems wäre zu aufwendig geworden. Über das HP-IL-Interface wurden die gespeicherten Werte in den Tischcomputer HP 86 übertragen.

3.3 Das Beobachtungsnetz

In der Abbildung 2 sind die Lage der Vermessungspunkte eingetragen und die Beobachtungen angedeutet.

3.4 Die Messungen

Die drei Stationen waren auf einem eigens dafür montierten Stahlgerüst eingerichtet. Die Instrumentenhöhe lag ca. 1,1 m über Wasser, so dass der Operateur das Instrument nur in kauernder Stellung bedienen konnte (s. Abbildung 3). Ausserdem durfte er durch die Eigenbewegungen die Stabilität der Instrumentenaufstellung nicht gefährden.

Am Freitagabend um 23 Uhr wurde die Nullmessung bei einer Temperatur von 0 Grad durchgeführt. Um Mitternacht begann der Verschubvorgang. Nach je drei Metern Verschub wurde eine Kontrollmessung ausgeführt. Innerhalb von max. 11 Minuten wurden auf jeder Station die Messwerte nach 22 Zielen ermittelt. Insgesamt wurden elf Messserien mit je 65 Visuren gemessen und ausgewertet. Am Samstagnachmittag um 16 Uhr waren alle Vermessungsarbeiten beendet.

Nach der Eingabe der Zielnummer erfolgte die Registrierung der zwei oder drei Messwerte über das DIF 41 auf den Taschenrechner HP 41. Nach Abschluss aller Beobachtungen wurde der Ver-

schubvorgang wieder freigegeben und die Daten zum Auswertebüro gebracht. Durch eine Telefon-Ringleitung waren die drei Stationen und das Auswertebüro miteinander verbunden; ferner bestand telefonischer Kontakt zwischen dem Auswertebüro und der Technischen Leitung.
Zur Sicherstellung der Stromversorgung waren die Speisegeräte dauernd am 220-V-Netz angeschlossen. So konnten die Theodolite ohne weiteres ständig eingeschaltet bleiben und mussten nicht vor jeder Messserie neu initialisiert werden.

3.5 Die Auswertung

Die Auswertung der Messungen erfolgte für alle Stationen im zentralen Auswertebüro. Die Messwerte wurden vom Taschenrechner auf den Tischrechner HP 86 übertragen. Mit den eigens dafür geschriebenen Programmen wurden zunächst die registrierten Werte bereinigt und sortiert. Danach wurden an den Distanzen die Meteo-Korrekturen angebracht. Die Koordinaten der Station auf der Verschubbahn wurden mit einer ‹Freien Stationierung› bei jeder Messserie neu bestimmt. Hierauf wurden die Abrisse (Richtung und Distanz) gerechnet. Bei der Berechnung der Deformationspunkte wurden zuerst die gemessenen Vektoren verarbeitet, und anschliessend ermittelte man die Koordinaten der übrigen Punkte mit den gemessenen Richtungen und Zenitdistanzen und den bekannten Entfernungen zum ersten Punkt der Verschubbahn.

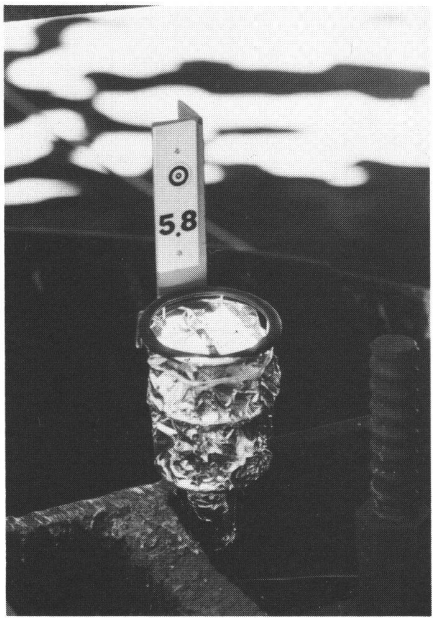

Abb. 4 Zielmarke eines Deformationspunktes mit Beleuchtung

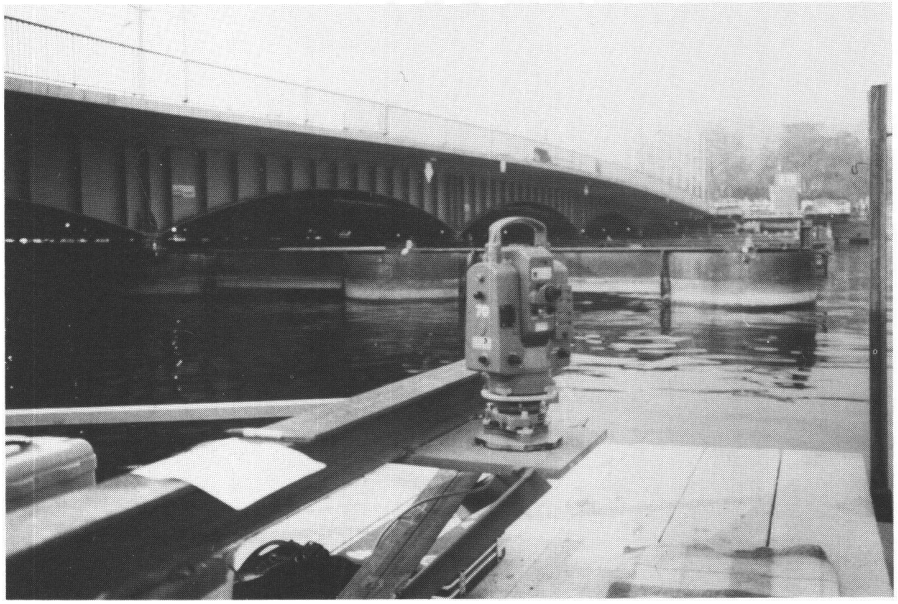

Abb. 5 Station auf der Verschubbahn

SWISSAIR PHOTO + VERMESSUNGEN AG — AUFTRAG NR.: 1901.000
ZUERICH TEL 363 33 33 — SEITE: 1
16.3.84 /HE — PROGRAMM: LESEN

SANIERUNG QUAIBRUECKE: BRUECKENVERSCHUB

BEOBACHTUNGEN **VERSCHUB 21 M**

STATION 1000 TEMP = 9 gC / LUFTDR = 962 mb

ZIEL	DISTANZ	ZENIT-DIST	H - WINKEL
5000	0.000	99.8088	339.7531
6000	124.799	99.8156	348.9660
2.0	40.642	99.8701	388.0262
2.1	0.000	99.7295	395.3542
2.2	0.000	99.7384	399.9884
2.3	0.000	99.7013	4.0497
2.4	0.000	99.7389	5.7203
2.5	0.000	99.8230	10.0120
2.6	0.000	99.8543	12.9561
2.7	0.000	99.8835	14.6249
2.8	0.000	99.8889	15.6192
2.9	0.000	99.8935	16.7844
7000	59.101	99.2176	80.7740
4000	54.865	99.3607	88.4552

SWISSAIR PHOTO + VERMESSUNGEN AG — AUFTRAG NR.: 1901.000
ZUERICH TEL 363 33 33 — SEITE: 1
16.3.84 /HE — PROGRAMM: BERECH

SANIERUNG QUAIBRUECKE: BRUECKENVERSCHUB

RESULTATE **VERSCHUB 21 M**

VERSCHUBBAHN 2 STATION 1000

PFAHL	ABW. ZUR NULL-MESSUNG mm	mm	mm	*	ABW. ZUR LETZTEN MESSUNG mm	mm	mm
2.0	4 BELL	0	1 HOCH	*	0	0	0
2.1	3 BELL	0	2 HOCH	*	1 BELL	0	0
2.2	1 BELL	0	1 HOCH	*	2 BELL	0	2 HOCH
2.3	0	0	0	*	2 BELL	0	2 HOCH
2.4	0	0	1 TIEF	*	0	0	0
2.5	1 BELL	0	0	*	0	0	2 HOCH
2.6	1 BELL	0	0	*	0	0	3 HOCH
2.7	1 BELL	0	21 TIEF	*	1 BELL	0	2 HOCH
2.8	3 BELL	0	11 TIEF	*	0	0	3 TIEF
2.9	1 BELL	0	0	*	1 BELL	0	3 HOCH

Abb. 6 Das Protokoll der Messungen und das Auswerteprotokoll zuhanden der Technischen Leitung

Auf einem Protokoll wurden pro Verschubbahn die Koordinatendifferenzen zur Nullmessung einerseits und zur vorangehenden Messung anderseits dargestellt (s. Abbildung 6).

4. Erfahrungen

a) Messungen

Die Equipen waren mit dem elektronischen Theodolit E2 nach sehr kurzer Einführungszeit gut vertraut. Auch die Datenübertragung mit DIF 41/HP 41 war für die Programmierung und im Feldeinsatz ohne Probleme. Trotzdem musste mit dem Ausfall eines Instrumentes oder eines Rechners gerechnet und Ersatz bereitgestellt werden.

Während des Probeverschubes – eine Woche vor dem eigentlichen Verschiebevorgang – wurde bei der Distanzmessung eine Schwierigkeit aufgedeckt: Um Zeit zu gewinnen waren die Operateure versucht, sofort nach dem Anzielen die Distanzmessung auszulösen; sie dauert ja am längsten. Dabei traten Messfehler auf, weil die Messung gestartet wurde, bevor das Filter für das Empfangssignal richtig eingeregelt war. Durch Beachten der Bereichsanzeige konnte diese Fehlerquelle nachher ausgeschaltet werden.

Ebenfalls bereitete eine ältere HP 41C bei der Temperatur um 0 Grad Schwierigkeiten; die neueren Ausführungen von HP 41 arbeiteten dagegen normal.

Während des eigentlichen Verschubes wurden rund 720 Ziele gemessen mit den registrierten Werten: Punktnummer, Richtung, Zenitdistanz und evtl. Schrägdistanz. Dabei wurde ein einziges Ziel falsch gemessen, vermutlich handelt es sich hiebei um einen Anzielfehler. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Equipen unter erheblichem Zeitdruck und während 21 Stunden ohne Ablösung im Einsatz standen, die Platzverhältnisse am Instrument ungünstig waren und die Beleuchtung der Ziele am Tage recht problematisch war (Spiegelungen an der Wasseroberfläche, Ziele im Schatten der Brücke usw.). Diese Fehlerquote für Anzielung, Datenerfassung und -übertragung darf sicher als sehr gut bezeichnet werden.

Ferner traten nach längerer Einschaltzeit – nach etwa 12 Stunden – bei einem Distanzmesser Funktionsschwierigkeiten auf. Die Speisegeräte waren ja am 220-V-Netz angeschlossen, und der Instrumentenhersteller stellte später fest, dass der Transformer im zugehörigen Speisegerät ungenügend war und deshalb nach langer Betriebszeit dieses Problem verursachte.

Unsere Messungen ergaben in der Schubrichtung Verschiebungen (bis max. 6 mm) an den Verschubbahnen. Durch ein unabhängiges, optisches Alignement wurden sie allerdings nicht in diesem Umfange bestätigt. Die Verschiebungen wurden von allen drei Stationen aus erfasst und scheinen auf Grund der Messungen plausibel. Sie wurden um die Mittagszeit (bei der grössten Sonneneinstrahlung) ermittelt; möglicherweise liegt hier ein systematischer Messfehler vor, der allerdings mit den Messungen nach den Fixpunkten – diese lagen weitgehend im Schatten – nicht erfasst werden konnte.

Die Messungen nach jeweils 22 Zielen konnten – mit zwei Ausnahmen bei Instrumentenstörungen (Transformer) – jeweils innerhalb von 11 Minuten ausgeführt werden.

Die Auswertungen zuhanden der Technischen Leitung lagen jeweils zwischen 29 und 33 Minuten nach Messbeginn vor, so dass auch hier die Zeitlimiten in etwa eingehalten werden konnten.

b) Genauigkeiten

Aus den Abrissen auf jeder Station bei jeder Messserie konnte die Messgenauigkeit der Richtungsmessung errechnet werden. Bei zwölf Richtungen, die je elfmal gemessen wurden, ergab sich ein mittlerer Ablese- und Zielfehler einer einmal in einer Lage gemessenen Richtung von 2 cc bis 6 cc bei Zielweiten zwischen 50 m und 125 m. In Anbetracht der nicht sehr stabilen Instrumentenaufstellung, der Änderung der Umgebungsbedingungen – 0 Grad in der Nacht, + 15 Grad und Sonnenschein am Nachmittag – und den wechselnden Beleuchtungsbedingungen sind wir von der erreichten Genauigkeit angenehm überrascht.

Durch das Messen von zwei bis vier Distanzen nach Fixpunkten auf jeder Station und bei jeder Messserie wollten wir die Konstanz des Distanzmessers kontrollieren und bei einem allfälligen Tausch des Distanzmessers die neue Additionskonstante ermitteln. Aus diesen Messungen lässt sich die Genauigkeit einer Distanzmessung schätzen. Aus den rund 175 Messungen ergibt sich an einer Distanz im Bereich 50 m bis 125 m ein mittlerer Fehler von 2 mm. Er darf als innere Genauigkeit bezeichnet werden, denn er wurde auf Grund von Wiederholungsmessungen der selben Distanzen – allerdings unter recht verschiedenen Bedingungen – berechnet, und bei der Messung des Fixpunktnetzes wurde der selbe Distanzmessertyp verwendet.

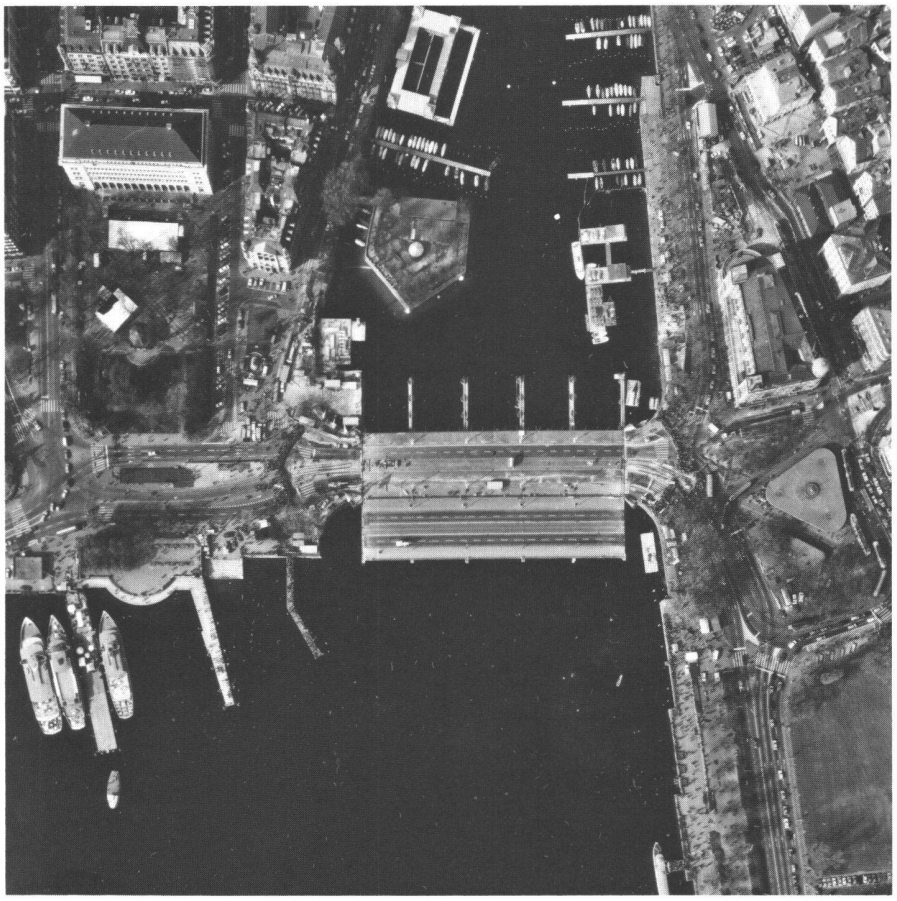

Abb. 7 Samstagnachmittag 15.15 Uhr: die Brückenplatte ist am neuen Standort

5. Schlussbemerkung

Die geodätische Vermessung hat sich als praktische Lösung zur Erfassung der aufgetretenen Deformationen bei diesem nicht alltäglichen Brückenverschub erwiesen. Mit dem eingesetzten Instrumentarium und einer eingespielten, zuverlässigen Equipe war es möglich, die Messungen in kurzer Zeit und mit der bestmöglichen Sicherheit auszuführen. Erforderlich bei dieser Aufgabe war der durchgehende Einsatz der EDV im Datenfluss.

Mir scheint, dass wir Vermessungsfachleute uns mit den vorhandenen Messerfahrungen und den heute zur Verfügung stehenden geodätischen Systemen vermehrt auch an die Lösung unkonventioneller Aufgaben heranwagen dürfen. Der Einsatz der Elektronik in der Messtechnik wird uns vermehrt herausfordern, aber die Erfahrung im Umgang mit Messproblemen ist uns auch eine wertvolle Stütze im Konkurrenzkampf.

Adresse des Verfassers:
Ueli Meyer, dipl. Kulturing. ETH
Swissair Photo + Vermessungen AG
Obstgartenstrasse 7, CH-8035 Zürich

Résultats de mesures géodésiques avec le Terramètre, appareil électronique de mesure de distances à deux longueurs d'ondes

J. Gervaise

Les instruments électroniques de mesure de distances à deux longueurs d'ondes font leur apparition dans les techniques de géodésie et améliorent considérablement la précision des mesures. Un Terramètre (Terratechnology Corp.) est en service au CERN depuis septembre 1982. Les résultats de l'étalonnage de cet instrument sur la base géodésique du CERN et les mesures du réseau de trilatération du LEP (Large Electron Positron Collider) sont présentés dans ce papier.

In der geodätischen Messtechnik erscheinen elektronische Distanzmesser mit zwei Wellenlängen, welche die Genauigkeit der Messungen wesentlich verbessern. Seit September 1982 wird beim CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) ein Terrameter (Terratechnology Corp.) eingesetzt. Die Resultate der Eichung dieses Instrumentes auf der geodätischen Teilstrecke des CERN und die Messungen im Trilaterationsnetz des LEP (Large Electron Positron Collider) werden in diesem Aufsatz beschrieben.

Rappel de définitions

L'utilisation des appareils électromagnétiques de mesure de distance à deux couleurs va modifier considérablement l'approche des problèmes de géodésie de très haute précision. Le champ d'application de ces instruments est encore aujourd'hui mal connu mais il est vraisemblable qu'il sera très vaste.

Plutôt que de considérer le temps dt mis par la lumière pour parcourir un élément de rayon dl, on utilise la quantité proportionnelle *c. dt* appelé chemin optique, parcours effectué dans le vide pendant le temps dt. L'indice par rapport au vide ou indice absolu est un nombre sans dimension défini par $n = c/v$, rapport des vitesses de propagation de la lumière dans le vide et dans le milieu considéré, n dépend directement de la fréquence de la lumière. Le chemin optique devient: $n \cdot v \cdot dt = n \cdot dl$.

Ainsi, le chemin optique L qui va de A à B a pour expression

$$L_{(AB)} = \int_A^B n \, dl$$

Cette fonction des coordonnées des points A et B est dite ‹fonction caractéristique de Hamilton›.

Le principe des appareils de mesure de distance par procédé électromagnétique à deux couleurs a été proposé par Prilepin en 1957 et Bender & Owens en 1965, dans le but de rendre les mesures de distances moins dépendantes de l'indice de réfraction de l'air. Cet indice est essentiellement variable pour de longs trajets dans l'atmosphère et impossible à mesurer avec précision avec les appareils EDM à une seule fréquence. Le long d'un même trajet, des mesures simultanées du chemin optique avec des fréquences différentes permettent d'en déduire la valeur vraie de l'indice de l'air ou tout au moins la plus grande partie de celle-ci.

Principe de la mesure avec des appareils utilisant deux longueurs d'ondes différentes dans le spectre visible

Les appareils à deux couleurs mesurent deux chemins optiques différents du fait de la dispersion de l'indice de l'air en fonction de la longueur d'onde. Considérons un chemin optique L de 15 km, entre la source émettrice et le réflecteur, trajet aller et retour de 30 km; le chemin optique aller sera L + S, où S est la contribution additionnelle apparente due à l'atmosphère. La lumière étant modulée, L + S est inversement proportionnelle à la vitesse de groupe u. Pour étudier la propagation d'un ensemble de radiations de longueurs d'ondes très voisines, il suffit pratiquement d'envisager deux radiations de longueurs d'ondes peu différentes λ et λ' se propageant simultanément avec des vitesses v et v'. Si l'on représente l'état vibratoire à un instant origine par deux sinusoïdes (fig. 1), on constate que, comme dans les phénomènes de battements accoustiques,

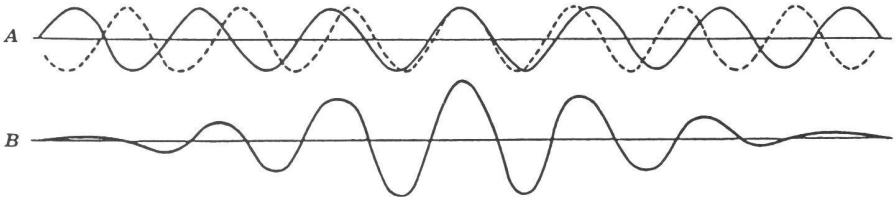

Fig. 1 Propagation de deux radiations de longueurs d'ondes très voisines A, deux ondes de longueur différente; B, résultante.