

Paper-ID: VGI_198611



Bauüberwachung mit Hilfe der Photogrammetrie

Ferdinand Schlögelhofer ¹

¹ *Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **74** (3), S. 167–176

1986

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Schloegelhofer_VGI_198611,  
Title = {Bau{"u"}berwachung mit Hilfe der Photogrammetrie},  
Author = {Schl{"o"}gelhofer, Ferdinand},  
Journal = {{{"0"}sterreichische Zeitschrift f{"u"}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {167--176},  
Number = {3},  
Year = {1986},  
Volume = {74}  
}
```



Bauüberwachung mit Hilfe der Photogrammetrie

Von F. Schlögelhofer, Wien

Zusammenfassung

Die Kombination moderner Rechenprogramme mit analytischen Auswertesystemen ermöglicht den Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie in neuen Bereichen der Ingenieurvermessung. Am Beispiel eines im Sommer 1986 durchgeführten Projekts wird eine Anwendung der Bündelphotogrammetrie vorgestellt, wobei die einzelnen Arbeitsschritte sowie die Ergebnisse erklärt werden.

Wegen seiner großen räumlichen Ausdehnung, der geforderten Genauigkeit und des Zeitdruckes verlangte das vorgestellte Projekt den Einsatz aller in der Photogrammetrie derzeit verfügbaren Hilfsmittel.

Abstract

Data acquisition on analytical plotters and data processing with advanced computer programs enable the application of terrestrial photogrammetry in new areas of industrial surveying. In this paper, the application of bundle photogrammetry is illustrated by some details and results on the basis of a project executed in summer 1986.

This was a case with extreme requirements concerning complexity, accuracy, and urgency. It became a fine example to show the mansidedness of the methods available in modern industrial photogrammetry.

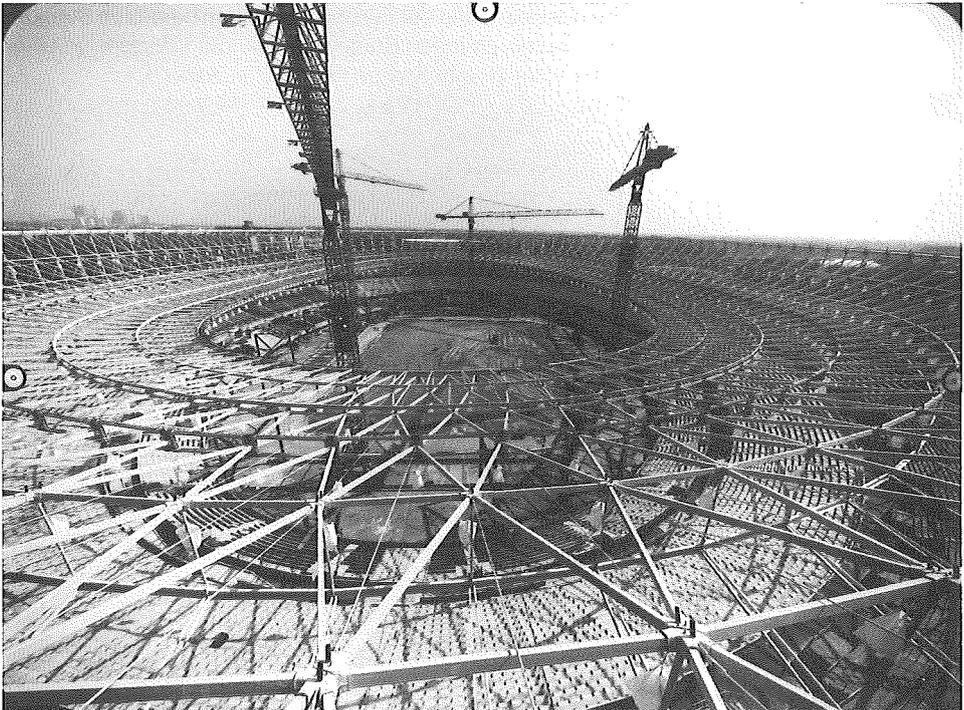


Abb. 1: Übersichtsaufnahme der Dachkonstruktion
(aufgenommen mit Wild P31 – ÜWW)

1. Problemstellung

Im Zuge der Generalsanierung des Wiener Praterstadions sollten auch die Zuschauertribünen überdacht werden. Das Dach wird 64.000 Zuschauern Schutz bieten. Die überdachte Fläche beträgt zirka 32.000 m². Die Konstruktion ist so ausgeführt, daß keine Stützpfeiler die freie Sicht auf das Spielfeld behindern. An den Geodäten wurde die Aufgabe herangetragen, die 784 Knoten der Stahlkonstruktion innerhalb weniger Stunden exakt dreidimensional zu erfassen und die Abweichungen zur Soll-Lage nach nur wenigen Tagen anzugeben.

2. Ausgangssituation

Der von der Firma VOEST-Alpine HEBAG ausgeführte Stahlbau besteht aus einer Hängeschale, die aus einem äußeren Druckring und einem inneren Zugring mit einem dazwischenliegenden Stabwerk aus Rechteckrohren und Rundstählen gebildet wird. Das wesentliche Element dieser Konstruktion bilden sechsstrahlige, mit Spannseilen radial verbundene Knoten. In diese werden Stahlträger eingeführt, die während der Montage noch beweglich sind.

Nach Abschluß der Montage werden die Knoten mit Spezialbeton ausgegossen, und das Netzwerk wird damit starr. Durch Änderung der Länge der Spannseile können die Knoten während der Montage in ihrer räumlichen Lage verändert werden. Nachdem die Konstruktion entsprechend den Planmaßen auszuführen war, sollte festgestellt werden, inwieweit die Knoten ihre räumliche Soll-Lage eingenommen hatten.

3. Entscheidung für die photogrammetrische Methode

Es wurde erwogen, diese Knoten geodätisch vom Boden aus mittels räumlicher Vorwärtsschnitte zu vermessen. Dagegen stellten sich jedoch zwei wesentliche Hindernisse:

- Um das Gewicht der Dacheindeckung und der Füllung der Knoten bereits im Stadium der Montage zu realisieren, wurde an jeden Knoten ein mit 150 l Wasser gefüllter Plastiksack gehängt, der die Visur zu den Knoten behinderte (Abb. 2).



Abb. 2: Die Dachkonstruktion von unten

- Die Sonneneinstrahlung verursacht eine Ausdehnung der Stahlkonstruktion. Die räumliche Erfassung der zirka 800 Knoten sollte aus diesem Grund innerhalb eines möglichst kurzen Zeitraumes erfolgen.

Eine photogrammetrische Vermessung kann diese Hindernisse überwinden. Einerseits dokumentieren die photographischen Aufnahmen den jeweiligen Zustand in kürzester Zeit, während die eigentliche Messung später erfolgt. Andererseits standen 4 Baukräne zur Verfügung, von denen aus der gesamte Innenraum des Stadions erreicht werden konnte. Die Kräne waren auch ausreichend hoch, um die Konstruktion von oben ohne Sichthindernisse aufnehmen zu können (Abb. 3). Ausgehend von diesen Überlegungen beauftragte der Ingenieurkonsulent Dr. Palfinger das Institut für Photogrammetrie der TU Wien mit der Durchführung der photogrammetrischen Arbeiten.



Abb. 3: UMK im Aufnahmekorb

3.1 Kurze Beschreibung der Methode

Es werden die Aufnahmen so angeordnet, daß jeder zu bestimmende Punkt in mindestens drei Bildern abgebildet ist und die Raumstrahlen möglichst gute Schnitte ergeben. Die Messung der Bildkoordinaten dieser Punkte wird in einem Monokomparator durchgeführt. Die rechnerische Auswertung dieser Daten erfolgt mit dem am Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien entwickelten Bündelausgleichsprogramm ORIENT (1).

Das Prinzip des Bündelausgleichs ist folgendes (2): Die gemessenen Bildkoordinaten und das dazugehörige Projektionszentrum definieren ein räumliches Strahlenbündel. Die Strahlenbündel werden jetzt so verschoben (drei Translationen X_0 , Y_0 , Z_0) und so gedreht (drei Drehwinkel ω , ϕ , κ), daß sie einander an den gemessenen Punkten möglichst gut schneiden und möglichst gut mit den Paßpunkten zusammentreffen.

Als Eingabedaten braucht man lediglich die gemessenen Bildkoordinaten und die Koordinaten einiger Paßpunkte im übergeordneten System. Die Aufnahmestandpunkte brauchen nicht und die Aufnahmerichtungen nur näherungsweise bekannt sein.

4. Praktische Durchführung

4.1 Vorbereitungsarbeiten

Zunächst galt es, jeweils einen geeigneten Punkt an den Knoten der Konstruktion festzulegen, der einerseits in den photogrammetrischen Bildern klar einzustellen ist, andererseits auch einen fest definierten Abstand zur Knotenmitte hat. Anschließend wurden am Sockel der Stützpfiler und im unteren Bereich der Tribüne kleine Metallplättchen angeklebt, die als Paßpunkte für die spätere Bündelausgleichung dienen konnten (PP in Abb. 4). Die Koordinaten dieser 60 Signale wurden geodätisch vom Ingenieurkonsulenten Dr. Palfinger mittels überbestimmter räumlicher Vorwärtsschnitte ermittelt.

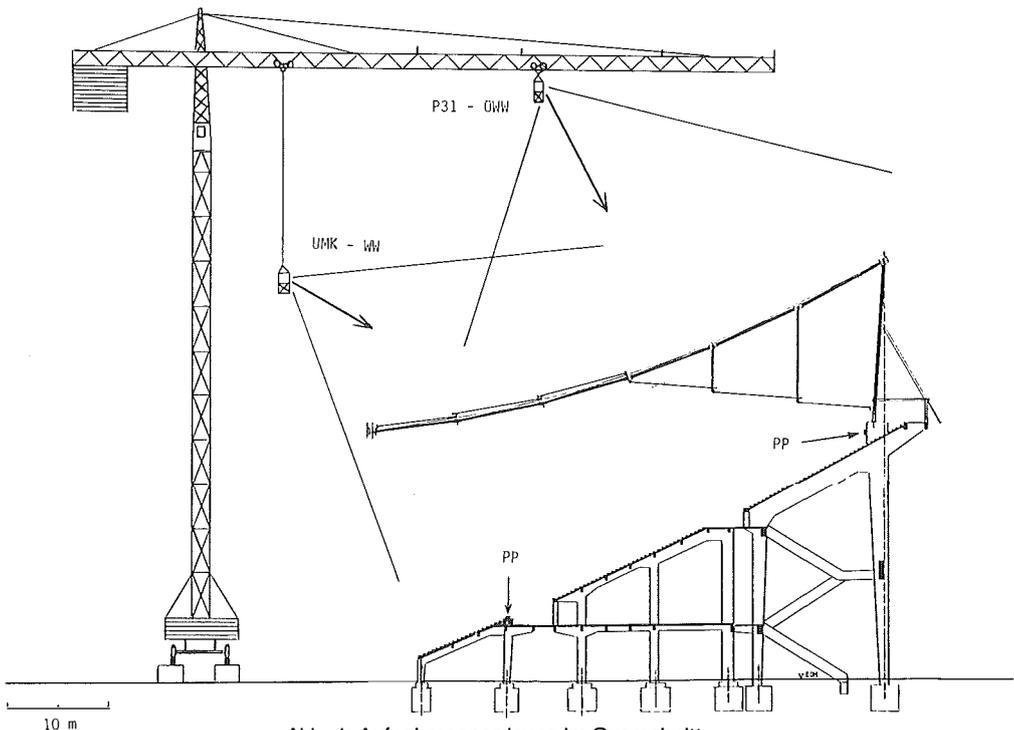


Abb. 4: Aufnahmeanordnung im Querschnitt

4.2 Photogrammetrische Aufnahme

Die photogrammetrische Aufnahme mußte gründlich vorbereitet werden, um einerseits die geforderte Genauigkeit der Auswertung zu erreichen und andererseits die Aufnahmezeit an der Baustelle kurz zu halten. Prinzipiell genügt es, wenn jeder Neupunkt in zwei Photos meßbar ist. Jede zusätzliche Abbildung in anderen Aufnahmen ergibt weitere Überbestimmungen. Um die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit der photogrammetrisch ermittelten Punkte zu steigern, sollte jeder Neupunkt grundsätzlich in mindestens drei Aufnahmen abgebildet sein. Die räumliche Basis zwischen den Photos sollte möglichst groß sein, sodaß an den Neupunkten keine schleifenden Schnitte entstehen. Die Bündelphotogrammetrie kennt von der rechentechnischen Seite her keine Einschränkungen für die Neigungen der Aufnahmen.

Erschwerend kam bei diesem Projekt hinzu, daß die Dachkonstruktion eine Tiefenausdehnung von fast 50 Meter hat. Deshalb wurden zusätzlich zum dreifach deckenden Bildverband mit einer Weitwinkelkamera (UMK-WW) noch stark geneigte Aufnahmen mit einer Überweitwinkelkamera gemacht (Abb. 4). Diese Aufnahmen mit der Wild P31 dienten in erster Linie dazu, den Bündelblock im Außenbereich zu versteifen.

Aus dieser Aufnahmeanordnung ergaben sich Bildmaßstäbe von etwa 1:150 bis 1:500. Die Fokussierung der UMK war bei allen Aufnahmen auf 25 m festeingestellt. Belichtet wurde auf Kodak-Metallographic-Platten mit einer Empfindlichkeit von 15 DIN. Es ergaben sich bei Blende 8 Belichtungszeiten zwischen $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{250}$ sec. Um den Windeinfluß und damit das Schwingen des Aufnahmekorbs möglichst gering zu halten, wurde der Korb durch zwei Seile abgespannt. Durch eine exakte Planung der Aufnahmeanordnung (Aufnahmeort und Aufnahmerichtung) war es möglich, ca. 25 Aufnahmen in einer Stunde zu machen. Es wurde mit zwei Meßkammern gleichzeitig gearbeitet, um die Aufnahmezeit und damit den thermischen Einfluß auf die Dachkonstruktion gering zu halten. So konnte innerhalb von drei Stunden mit 72 Aufnahmen die räumliche Lage der Konstruktion erfaßt werden.

4.3 Ausmessung der Aufnahmen

Nach der Entwicklung der Photoplatten wurde von jeder eine Vergrößerung angefertigt und darauf die Paßpunkte und jeder Neupunkt am Außenring beschriftet (Abb. 5). Dieser Arbeitsschritt ist sehr wichtig, um die verhältnismäßig teure Arbeitszeit am Auswertegerät möglichst gut zu nützen.

Die Messung der Bildkoordinaten erfolgte am analytischen Auswertegerät AC1 der Firma WILD im Monokomparator-Modus. Insgesamt wurden 5352 Bildpunkte (Paß- und Neupunkte) angemessen. Diese gewaltige Anzahl konnte durch Ausnützung der Möglichkeiten des AC1 in nur 15 Stunden bewältigt werden.

4.4 Berechnung

Als Eingangsdaten für die anschließende Berechnung mit dem Bündelausgleichsprogramm ORIENT standen die Bildkoordinaten der Neupunkte und die Bild- und Objektkoordinaten der Paßpunkte zur Verfügung. Die ebenfalls einzugebenden Näherungswerte der äußeren Orientierung der Bilder wurden schon für die Aufnahmeplanung ermittelt.

Insgesamt standen 10.704 Beobachtungen für die 2997 Unbekannten zur Verfügung, sodaß sich eine Redundanz von 7707 ergab. Als Ergebnis des Ausgleichs wurden die Koordinaten der Neupunkte sowie deren mittlere Fehler ermittelt. Der mittlere Gewichtseinheitsfehler der gemessenen Bildkoordinaten ergab sich mit 10 μm . Der mittlere Koordinatenfehler der Neupunkte schwankte zwischen $\pm 0,5$ und $\pm 1,5$ cm.

Bei diesem Projekt waren nur die Paßpunkte signalisiert. Eine Genauigkeitssteigerung um den Faktor 2 wäre problemlos durch Signalisierung der Neupunkte möglich. Für künftige Projekte sollten schon bei der Fertigung der Knoten entsprechende Signale vorgesehen werden.

Das Meßsystem: Geodimeter[®] 136 + Geodat 126



Entscheidungskriterien für ein Meßsystem:

Eine Totalstation mit Spitzenleistungen ...

- Die Teilkreisorientierung bleibt mit Sicherheit immer erhalten.
- Automatische Kompensation aller Instrumentenfehler, einschließlich Kippachsenfehler.
- Vollelektronischer Stehachsenkompensator, 2-achsig.
- Datenausgang im feststehenden Unterbau.
- Datenübertragung zum Feldbuch Geodat 126 und umgekehrt.
- Horizontalwinkel-Schnellauf für zeitsparende Winkel-Einstellung.
- Integriertes Soll-minus-Ist-Absteckprogramm.
- Höhenberechnungs-Programm ROE.
- 0,4 sek.-Tracking mit Speichermöglichkeit der Werte, also für Aufnahme und Absteckung.
- Ein integriertes Meßsystem, das auf alle Zwangszentrierungen paßt.
- Mit zeitsparenden Absteckhilfen: Unicom und Tracklight.
- 12 Volt-Batterie-Betriebsspannung, daher direkter Anschluß an die Autobatterie möglich.

... und ein Feldbuch mit Computerleistungen.

- Berechnungs- und Speicherprogramme stehen gleichzeitig zur Verfügung (Im Geodat 126 z. Zt. 9 Rechen- und 20 Speicherprogramme).
- Kein versehentliches Löschen der Programme möglich.
- Frei programmierbar über die Tastatur.
- Zugriff auf sämtliche bereits bestehenden Programme über die Geo-Language.
- Alle Programme auch manuell einsetzbar.
- Geodat 126 ist als Nivellements-Feldbuch geeignet.
- Übersichtliche, zeitsparende, einzeilige, alphanumerische Benutzerführung im Dialog.
- Projektweise Abspeicherung der Daten möglich (z.B. nach Geschäftsbuchnummern).
- Getrennter Meßdaten- bzw. Koordinatenspeicher, der vom Anwender flexibel gestaltet werden kann.
- Versehentliches Löschen der Meßdaten unmöglich.
- 2.000 Stunden garantierte Datensicherheit.
- Einfaches Einfügen, Verändern und Suchen im Speicher.
- Gleichzeitige Speicherung von 9 Protokollen und 9 Formaten möglich.
- Definition der eigenen Benutzerführung.
- Handliche, ergonomische Form und Größe.
- Übersichtliche, leicht zu bedienende Tastatur.
- Frei programmierbare V.24 (RS232C)-Schnittstelle für Zweiweg-Datenübertragung.
- Serielle HP-IL-Schnittstelle.
- Übertragungsprogramme zu fast allen Rechnern im Preis enthalten.

Weltweit
bewährte



Geodimeter®

Vermessungstechnik aus Schweden.



Abb. 5: Beschriftete Arbeitskopie einer UMK-Aufnahme

4.5 Ergebnisse

Die Baufirma und den Statiker interessierte jetzt in erster Linie, ob die Toleranzen von Fertigung und Montage eingehalten wurden und wo und wieviel die Konstruktion von ihrer Soll-Lage abwich. Dazu wurde ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt und das Ergebnis sowohl in graphischer Form als auch in Form von Koordinatenlisten erstellt.

Das Vektorbild in Abb. 6 zeigt die Lageabweichungen der Knoten zu ihren Sollwerten. Zusätzlich zu diesem Grundriß wurden die Höhenabweichungen in einer axonometrischen Darstellung geliefert (Abb. 7). Diese graphischen Unterlagen erlauben einen schnellen Überblick über systematische Abweichungen der einzelnen Ringe der Konstruktion. So konnte rasch und exakt entschieden werden, an welchen Spannseilen noch Längenänderungen vorzunehmen waren.

5. Wiederholungsmessungen

Die auf Grund der erwähnten Ergebnisse an einzelnen Stellen durchgeführten Korrekturen bewirkten eine räumliche Veränderung der gesamten Konstruktion, sodaß eine nochmalige Gesamtvermessung erforderlich war. Diese Zweitmessung konnte sehr rasch durchgeführt werden. Schließlich waren dafür die geodätische Paßpunktmessung sowie sämtliche Vorarbeitungsarbeiten, wie Aufnahmeplanung, Beschaffung der Näherungswerte und Ablaufplanung, bereits vorhanden.

Zeitlicher Ablauf: Samstag, 12. 7., um 8 Uhr: Beginn der Zweitmessung. Drei Meßkammern waren gleichzeitig im Einsatz. Anschließend Beginn der Entwicklung und überlappend Beginn der Meßarbeit am AC1. Sonntag, 13. 7., 20 Uhr: Beginn der Berechnung, und Montag, 5 Uhr: Ergebnisse in Form von Koordinatenlisten.

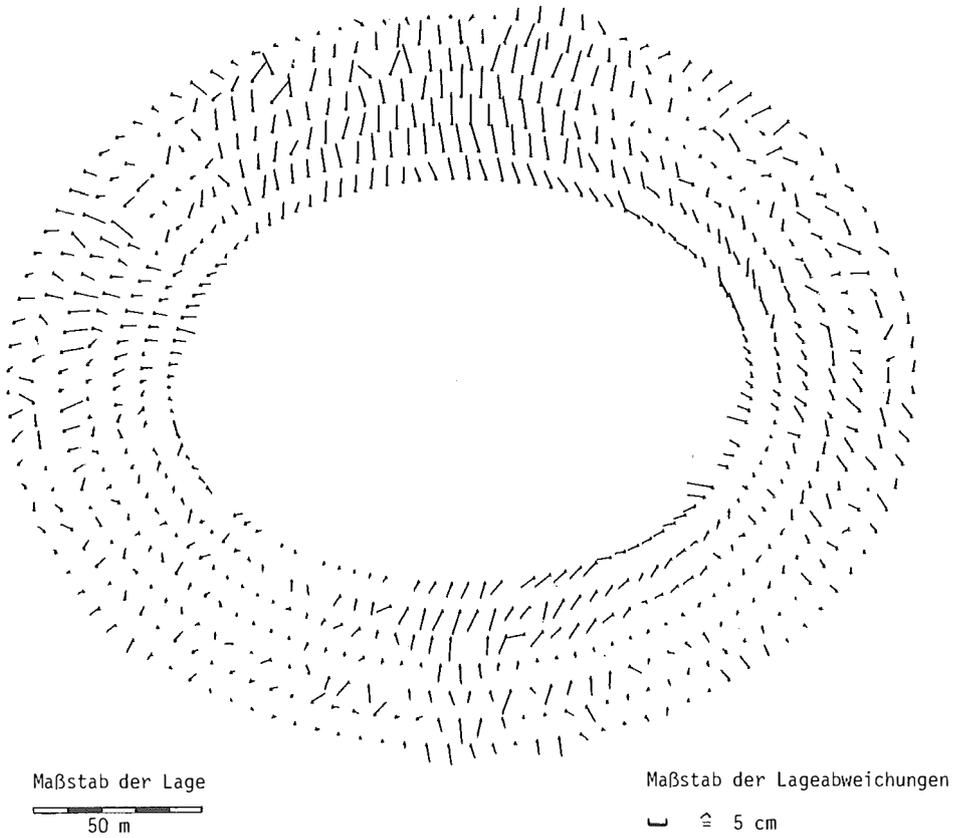


Abb. 6: Grundrißdarstellung der Lageabweichungen

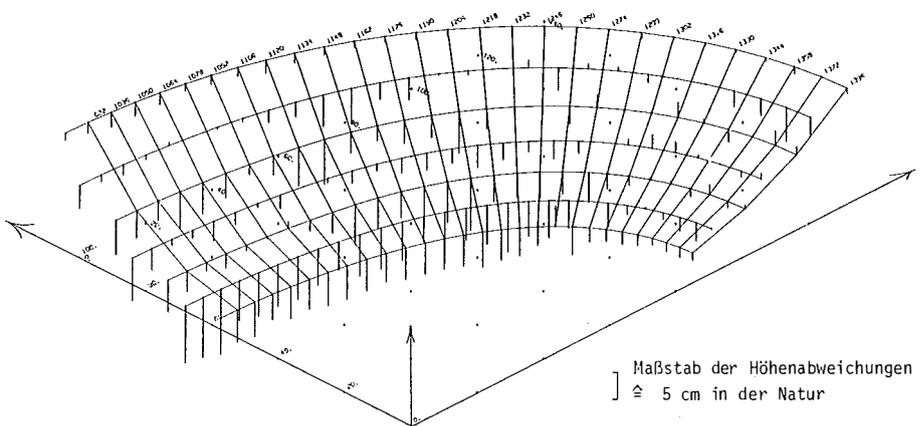


Abb. 7: Axonometrische Darstellung der Höhenabweichungen

Nach Vorliegen der Ergebnisse der Zweitmessung waren nur noch geringfügige Änderungen der Konstruktion erforderlich. Danach konnte mit dem Ausgießen der Knoten begonnen werden. Damit wurde die Konstruktion starr. Dieser Zustand wurde für Dokumentations- und Prüfw Zwecke ein drittes Mal vermessen.

6. Ausblick

Das Anwendungsgebiet der Photogrammetrie in der Ingenieurvermessung ist breit gestreut.

Die Photogrammetrie wird sinnvoll überall dort einzusetzen sein,

- wo eine große Anzahl von Punkten zu bestimmen ist,
- wo die Aufnahmezeit wegen Objektbewegungen (auch infolge von Sonneneinfluß, Winddruck etc.) kurz zu halten ist,
- wo keine stabilen Aufnahmestandpunkte, sondern z. B. nur Krankorb oder Gerüst zur Verfügung stehen,
- wo das „normale“ Baugeschehen möglichst wenig behindert werden soll,
- wo Erschütterungen, Bauverkehr etc. langdauernde Aufstellungen unmöglich machen.

In Zukunft wird es Aufgabe des Ingenieurgeodäten sein, die Vorteile und die flexible Anwendung dieser Methode zu erkennen und sie überall dort einzusetzen, wo eine oder – wie bei der Überdachung des Wiener Praterstadions – mehrere der eben angeführten Gegebenheiten zutreffen.

Abschließend möchte ich besonders darauf hinweisen, daß ein derartiges Projekt nur durch produktive Zusammenarbeit aller Beteiligten gelingen kann. Besonderen Dank gebührt:

- dem Bundesdenkmalamt für die leihweise zur Verfügungstellung einer Meßkammer (UMK 1318),
- den Baufirmen für die gute Zusammenarbeit an der Baustelle,
- den beteiligten Ingenieurkonsulenten Dr. Palfinger, ARGE Vermessung Tirol, Prof. Dr. Schmid, Dipl.-Ing. Linsinger für ihr kooperatives Zusammenwirken mit unserem Hochschulinstitut,
- Herrn Prof. Doerge von der Fachhochschule Würzburg für seine tatkräftige Mithilfe,
- den Kollegen des Institutes für Photogrammetrie (den Herren Gsandtner, Gustavik, Kager, Rieger, Tschannerl, Waldhäusl) für ihren vollen Einsatz zum Gelingen des Projekts.

Literatur:

- (1) Kager, H.: Das interaktive Programmsystem ORIENT im Einsatz. Presented Paper 14. ISP-Kongreß, Hamburg 1980.
- (2) Kraus, K.: Photogrammetrie Band 1. Dümmler Verlag, Bonn.

Manuskript eingelangt im September 1986.