Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural

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

Band: 71-F (1973)

Heft: 4

Artikel: Die Photogrammetrie im wasserbaulichen Versuchswesen

Autor: Schmid, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-226198

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: 23.01.2026

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

Die Photogrammetrie im wasserbaulichen Versuchswesen

W. Schmid, Institut für Kulturtechnik ETH-Zürich

Zusammenfassung

Im Rahmen einer flußbaulichen Forschungsarbeit [5] ergab sich die Aufgabe, in einem wasserbaulichen Modell Kolkformen nach einem überströmten Wehr in ihrer gesamten dreidimensionalen Ausdehnung meßtechnisch zu erfassen. Dieses Problem hätte mit den im wasserbaulichen Versuchswesen üblichen Methoden wegen des zu großen Arbeits- und Zeitaufwands nicht gelöst werden können. Deshalb wurde unter Ausnützung aller bekannten instrumentellen und methodischen Mittel ein photogrammetrisches Verfahren entwickelt, das den Genauigkeitsanforderungen genügt und äußerst leistungsfähig ist. Darüber hinaus ist diese photogrammetrische Methode allgemein im wasserbaulichen Versuchswesen anwendbar und eröffnet ihm neue Möglichkeiten. – Der vorliegende Aufsatz erläutert die Methode selbst und die anhand der Ausmessung von über 240 Kolkformen gewonnenen Resultate.

Résumé

Dans le cadre d'un travail de recherche hydraulique le problème se posait de mesurer les formes de l'affouillement au bas de la chute d'un barrage déversoir dans un modèle hydraulique à trois dimensions. Appliquant les méthodes traditionelles on n'aurait pas réussi à obtenir les formes d'affouillement; les investigations auraient été trop grandes. Pour cette raison une méthode photogrammétrique a été développée qui garantit l'exactitude demandée et qui est de haut rendement. Cette méthode peut en outre être appliquée pour la solution de problèmes analogues aux laboratoires hydrauliques. – L'article décrit la méthode ainsi que les résultats obtenus par des mesures de plus de 240 formes d'affouillement.

1.0 Einsatzmöglichkeiten der Photogrammetrie im wasserbaulichen Versuchswesen

Im Rahmen einer umfassenden Forschungsarbeit* über die Hydraulik von Konsolidierungssperren in der Wildbachverbauung wurden ausgedehnte wasserbauliche Modellversuche an einer 10stufigen Sperrentreppe in der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH-Zürich durchgeführt.

In diesem Zusammenhang ergab sich die Aufgabe, nach jedem hydraulischen Versuch die Kolkformen am Fuße der Sperren in der Sperrentreppe auszumessen. D. h., es war eine genügend große Zahl von Punkten der Kolkformen höhen- und lagemäßig zu messen, so daß die räumlichen Flächen zwischen jeweils zwei Sperren mit genügender Genauigkeit bestimmt waren. (Abb. 1)

Mit den im wasserbaulichen Versuchswesen üblichen Methoden, z. B. dem Stechpegel, hätten die Kolkflächen mühsam Punkt für Punkt abgetastet werden müssen. Da insgesamt über 500 Kolkformen auszumessen waren, wäre dies wegen des zu großen Zeitaufwandes ein aussichtsloses Unterfangen gewesen. Hingegen schien die photogrammetrische Ausmessung der Kolke bei der bekannten Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens zielführend zu sein.

* Diese Arbeit wurde aus Mitteln des Jubiläumsfonds 1930 gefördert.

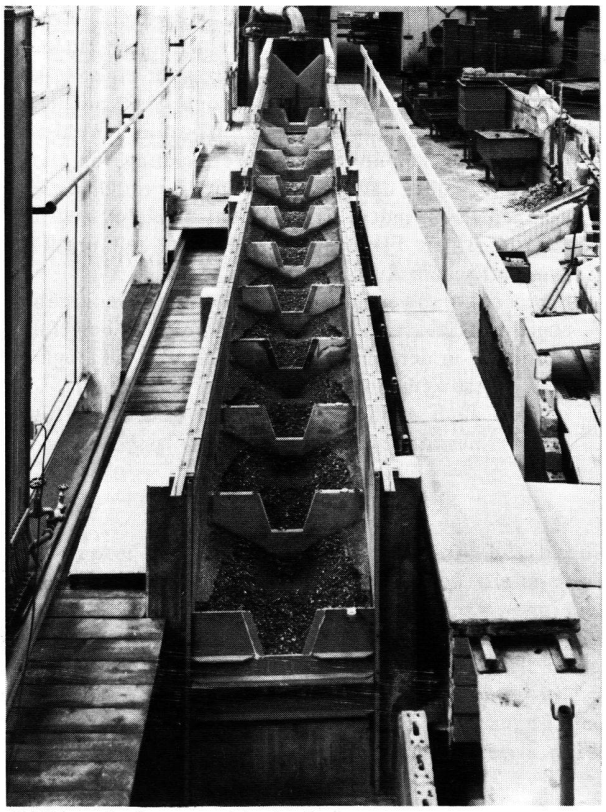


Abbildung 1: Gesamtansicht der Sperrentreppe

Es lagen jedoch keine Erfahrungen vor, obwohl in der Fachliteratur zur Nahbildphotogrammetrie verschiedentlich auf die Möglichkeit hingewiesen wird, die Stereophotogrammetrie bei Laboratoriumsversuchen im Wasserbau einzusetzen.

Aufgrund einer Reihe von Auswerteversuchen gelang es aber, unter Einbezug aller vorhandenen instrumentellen oder methodischen Mittel, das gestellte Problem zu lösen. Die entwickelte Methodik ist darüberhinaus allgemein im wasserbaulichen Versuchswesen anwendbar und soll in diesem Beitrag anhand der hydraulischen Sperrentreppenversuche erläutert werden.

Grundsätzlich müssen für einen erfolgreichen Einsatz der Nahbildphotogrammetrie im wasserbaulichen Versuchswesen folgende Kriterien erfüllt sein:

1. Die im wasserbaulichen Modell zu messenden Größen müssen geometrische Größen sein oder sich aus solchen ableiten lassen. (z. B. Messen der Geschwindigkeit eines Punktes: wiederholte photogrammetrische Aufnahme des bewegten Punktes in bestimmten Zeitintervallen.)

2. Die verlangte Genauigkeit, mit der das wasserbauliche Modell ausgemessen werden soll, muß mit der photogrammetrischen Methode erreichbar sein.
3. Die Photogrammetrie soll leistungsfähiger d. h. wirtschaftlicher als die anderen in Frage kommenden Methoden (Stechpegel, Echolot) sein.

2.0 Aufnahme und Grundlagen zur Auswertung

2.1 Messkammer

Für die Aufnahme der Kolkgeometrie in der Sperrentreppe stand eine Weitwinkel-Stereometerkammer von Wild Heerbrugg (Typenbezeichnung: C40) zur Verfügung. Sie besteht aus zwei einzelnen Photokammern, die durch eine feste Basis miteinander starr verbunden sind. Die Kammerachsen sind parallel und stehen senkrecht zur Basis.

Die Kammerdaten lauten:
Aufnahmebasis b = 40 cm
Brennweite der Aufnahmeobjektive f = 64 mm
Verzeichnung der Objektive praktisch vernachläßigbar (Max. ± 4 μm)
Blendenöffnung f:8 bis f:32
Bildwinkel in Basisrichtung 71^g (64°)
Bildwinkel quer zur Basis $+35.6^g$ (+32°); -19.39^g (−17°20')
Feste Fokussierung auf 2,5 m
Verschlußauslösung elektromagnetisch synchron oder mechanisch einzeln
Plattenformat 65 mm * 90 mm
nutzbares Bildformat 60 mm * 80 mm

2.2 Aufnahmedisposition

Prinzipiell werden nur Senkrechtaufnahmen durchgeführt.
Die Aufnahmedisposition ist somit durch verschiedene Randbedingungen gegeben.

2.21 Genauigkeit eines Einzelpunktes

a) Verlangte Genauigkeit eines Einzelpunktes
Die Kolkgeometrie weist entsprechend der eingebauten Geschiebemischung eine körnige Struktur auf.
Ob ein kleines oder ein großes Korn an einer zu messenden Stelle liegt, ist zufällig. Die Messresultate können daher leicht um den mittleren Korndurchmesser d_{50} (d_{50} = 3.6 mm) von der gedachten ebenen Fläche der Kolkgeometrie abweichen.
Deshalb darf der mittlere Fehler $m_{Pkt.}$ an der Lage und Höhe eines einzelnen definierten Punktes der Kolkgeometrie $m_{Pkt.}$ = ± 3 mm betragen.

b) erwartete Genauigkeit eines photogrammetrisch bestimmten Einzelpunktes

Für Senkrechtaufnahmen beträgt der mittlere Fehler m_h an der Höhe eines einzelnen Objektpunktes genähert:

$$m_h = \pm \frac{h_a^2}{b \cdot f} \cdot m_{px}$$

m_h = mittlerer Fehler an der Höhe
h_a = Aufnahmehöhe
b = Basislänge
f = Brennweite der Kamera
m_{px} = mittlerer Fehler der Horizontalparallaxe
$\frac{h_a}{b}$ = Höhenbasisverhältnis
$m_b = \frac{h_a}{f}$ = Bildmaßstabszahl

Die Lagegenauigkeit eines Objektpunktes hängt von der Lagegenauigkeit des abgebildeten Objektpunktes im Messbild, von der Einstellgenauigkeit im Auswertegerät, somit vom Auswertegerät selbst und der Bildmaßstabszahl $m_h = \frac{h_a}{f}$ ab. Faßt man die mittleren Fehler der Lagegenauigkeit im Messbild und der Einstellgenauigkeit zu einer mittleren Fehlergröße m_s zusammen, so gilt genähert für den mittleren Lagefehler eines Objektpunktes m_l:

$$m_l = \pm \frac{h_a}{f} \cdot m_s$$

In der Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen Aufnahmehöhe und mittleren Fehlern an Höhe und Lage eines Objektpunktes für die Messkammer C40 dargestellt. Die Werte von m_{px} und m_s werden wie folgt angenommen:

m_{px} = ± 0.005 mm
m_s = ± 0.01 mm

Die photogrammetrische Bestimmung der Lage eines Objektpunktes ist genauer als die seiner Höhe. Daher ist die Höhengenauigkeit maßgebend für die Beurteilung der Genauigkeit der photogrammetrischen Vermessung.

c) Bereich der Aufnahmehöhe

Wegen der festen Fokussierung der Kamera auf 2,5 m ist eine Scharfabbildung nur für Aufnahmehöhen zwischen 1 m und 10 m möglich. Um aber die verlangte Punktgenauigkeit von ± 3 mm nicht zu überschreiten, muß die Aufnahmehöhe kleiner oder gleich 4 m sein. (Abb. 2) Die zu wählende Aufnahmehöhe liegt daher zwischen 1 m und 4 m.

2.22 Stereoskopische Überdeckung

Die durch die Genauigkeitsbetrachtung bedingte größtmögliche Aufnahmehöhe h_a = 4.0 m gewährleistet eine stereoskopische Überdeckung von 5 Kolkfeldern. Da aber hinter den einzelnen Sperren ein „toter Raum" entsteht, der stereoskopisch nicht ausgemessen werden kann, reduziert sich der tatsächliche auswertbare Bereich auf 2 Kolkfelder (Abb. 3).

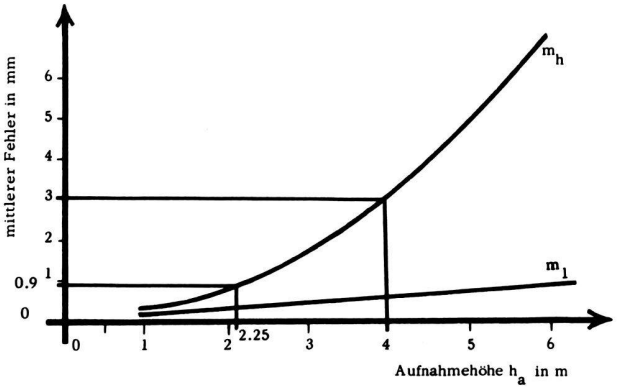


Abbildung 2: Mittlere Fehler an Höhe und Lage eines Objektpunktes in Funktion der Aufnahmehöhe

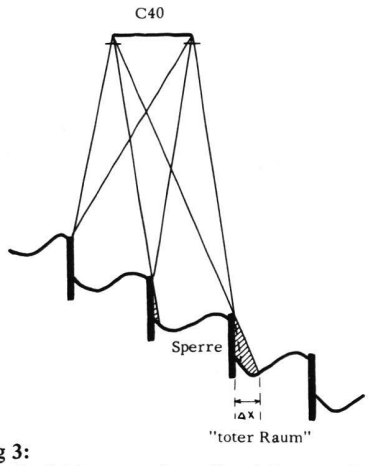


Abbildung 3:
stereskopisch nicht ausmessbarer Bereich „toter Raum"

In diesem Fall hängt die Kamera genau über der mittleren Sperre, hinter welcher ein für die Auswertung der Kolkgeometrie unbedeutender „toter Raum" entsteht ($\Delta X \cong 1.2$ cm).
Aus der Forderung, daß die stereoskopische Überdeckung mindestens 2 Kolkfelder erfassen soll, ergibt sich die minimale Aufnahmehöhe $h_a = 2.25$ m.

2.23 Aufnahmedisposition

Aus der Genauigkeitsanforderung und der stereoskopischen Überdeckung folgt, daß die zu wählende Aufnahmehöhe zwischen 2.25 m und 4 m liegen muß.
Da eine abnehmende Aufnahmehöhe die Genauigkeit der photogrammetrischen Auswertung steigert, ergibt sich für die optimale Aufnahmedisposition eine Aufnahmehöhe $h_a = 2.25$ m (Abb. 4 und 5).

2.3 Konstruktion

Um die getroffene Aufnahmedisposition einhalten zu können, wurde für die Befestigung der Kamera ein Metallrahmen konstruiert.

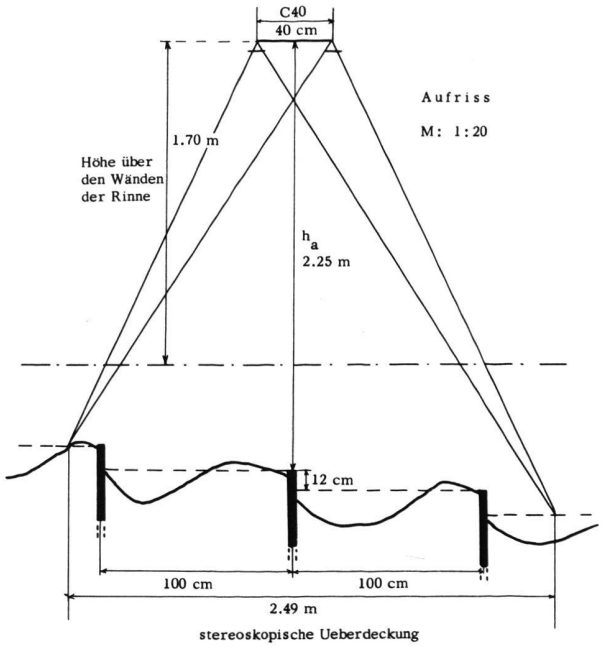


Abbildung 4: schematische Darstellung der Aufnahmedisposition

Diese Konstruktion läßt sich auf Schienen in Längsrichtung der Rinne verschieben. Da die Kamera in der Höhe verstellbar ist, kann man für jede Aufnahme die gleiche Aufnahmehöhe einhalten (Abb. 5).

2.4 Paßpunkte

2.41 Anordnung der Paßpunkte

Die Auswertung der stereometrischen Raummodelle (2 Kolkfelder) erfordert mindestens 2 Lagepaßpunkte und 3 Höhenpaßpunkte oder 2 Paßpunkte, die mit allen 3 Raumkoordinaten bekannt sind, plus einem Paßpunkt, dessen Höhe gegeben ist.
Damit sich bei der Auswertung keine Fehler unbemerkt einschleichen und eventuelle räumliche Verbiegungen des Stereomodells von vornherein ausgeschlossen bleiben, empfiehlt es sich, die Anzahl der gewählten Paßpunkte zu erhöhen.
Die Paßpunkte sind über den gesamten stereoskopisch überdeckten Bereich regelmäßig verteilt, wodurch das Objekt in seiner gesamten Ausdehnung höhenmäßig einwandfrei erfaßt ist. Von den 12 Paßpunkten liegen jeweils 4 auf den 3 Sperrenkanten (Abb. 5).

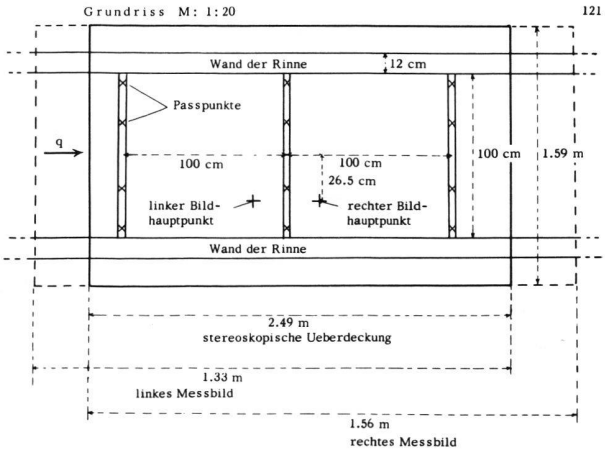


Abbildung 4: schematische Darstellung der Aufnahmedisposition

Die Paßpunktmarke selbst ist ein quadratisches Metallplättchen. Um unerwünschte Lichtreflexionen zu vermeiden, ist es mit einem matten farbigen Kunststoff beschichtet (Abb. 6).

2.42 Bestimmung der Lage und der Höhe der Paßpunkte

Die Lage der Paßpunkte wurde geodätisch durch Satzmessungen mit einem Sekundentheodoliten (Kern DKM2A) bestimmt. Bei der Wahl der Stationspunkte achtete man darauf, daß sich für jeden Paßpunkt mindestens 2 Richtungen annähernd rechtwinklig schneiden.
Die größte Visurdistanz betrug 10 m, die kleinste 2,5 m. Der mittlere Fehler an einer Richtung aus dem Satzmittel war $m_v = \pm 4^{cc}$. Der mittlere Fehler an der Zentrierung betrug bei Zwangszentrierung in einer Richtung $m_r = \pm 0.3$ mm.
Die ungünstigen Platzverhältnisse und die gleichzeitig durchgeführten Arbeiten an anderen wasserbaulichen Modellen in der Versuchshalle beeinträchtigten die Zentriergenauigkeit.
Der mittlere Fehler an der Richtung wirkte sich bei den kurzen Visurdistanzen gegenüber der Zentriergenauigkeit auf die Paßpunktgenauigkeit kaum aus.

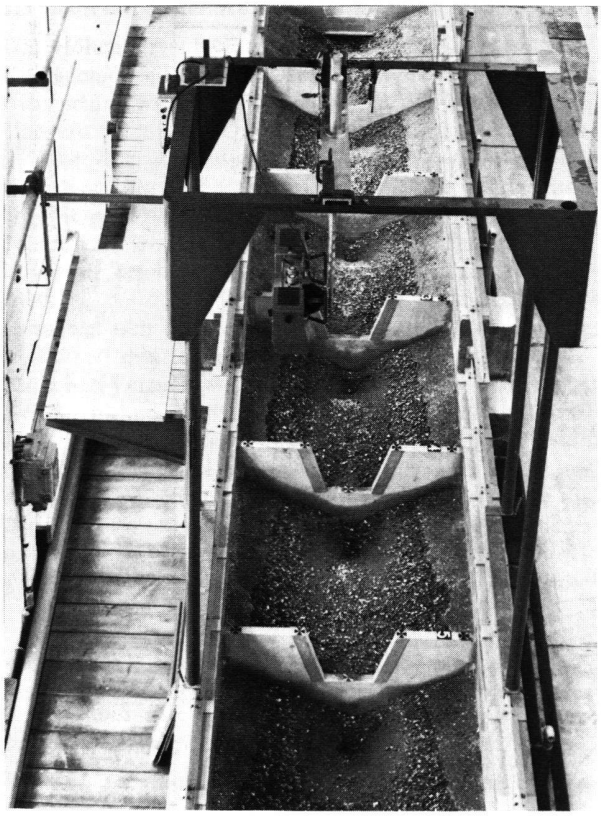


Abbildung 5: Aufnahmedisposition

Aus der vermittelnden Ausgleichung mit Hilfe des Rechenprogramms von H. Aeschlimann [2] ergaben sich an der Lage eines Paßpunktes folgende mittlere Fehler:
x-Richtung: $m_x = \pm 0.4$ mm
y-Richtung: $m_y = \pm 0.4$ mm
Die Höhen der Paßpunkte wurden mit einem Wild-Nivellier Ni2 bestimmt. Der mittlere Fehler an der Höhe eines Paßpunktes aus dem Nivellement beträgt:
$m_h = \pm 0.2$ mm

2.5 Aufnahme

Die Aufnahme der Kolkfelder erfolgte mit Blitzlicht. Dadurch erzielte man eine optimale Ausleuchtung der Kolkfelder bei gleichbleibender Kameraeinstellung für alle Aufnahmen (Blende 11, Belichtungszeit 1/30 sek.). Das verwendete Plattenmaterial stammte von AGFA Gaevert. (Typenbezeichnung Gevapan 33).

3.0 Auswertung der Stereobildpaare

3.1 Relativ- und Absolutorientierung

Für die Auswertung der Bildpaare stand der Autograph Wild A9 mit angeschlossenem elektronischem Koordinatenregistriergerät, das die 3 Raumkoordinaten der abgetasteten Punkte digitalisiert und direkt auf Lochkarten stanzt, zur Verfügung.

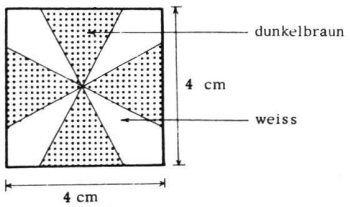


Abbildung 6: Passpunktmarke

Der Bildmaßstab der Platten beträgt $1:m_b = 1:35$. Durch den beschränkten z-Bereich (Höhenbereich) des A9 ergibt sich der Auswertemaßstab $1:m_a = 1:30$.
Die äußere Orientierung erfordert die Ermittlung von 12 Unbekannten, die in 2 Schritten erfolgt.

1. Schritt: die relative Orientierung

Da bei der verwendeten Kamera die einzelnen Photokammern starr miteinander verbunden sind, sind bei der relativen Orientierung im Autographen nur geringfügige Korrekturen notwendig.
Wegen der Auswertung der Kolkgeometrie in Querprofilen, die parallel zu den Sperren verlaufen, mußte man das relativ orientierte Raummodell mit Hilfe der Basiskomponente b_y so drehen, daß die Querprofile genau parallel zur y-Richtung des Autographen verliefen. Die relative Orientierung bestimmt 5 der insgesamt 12 Orientierungsgrößen.

2. Schritt: die absolute Orientierung

Die restlichen 7 Unbekannten, der Maßstab, die 3 Drehungen um die drei Koordinatenachsen und die 3 Translationen in den 3 Koordinatenrichtungen wurden rechnerisch aus den Paßpunkten mit Hilfe der Helmerttransformation ermittelt.

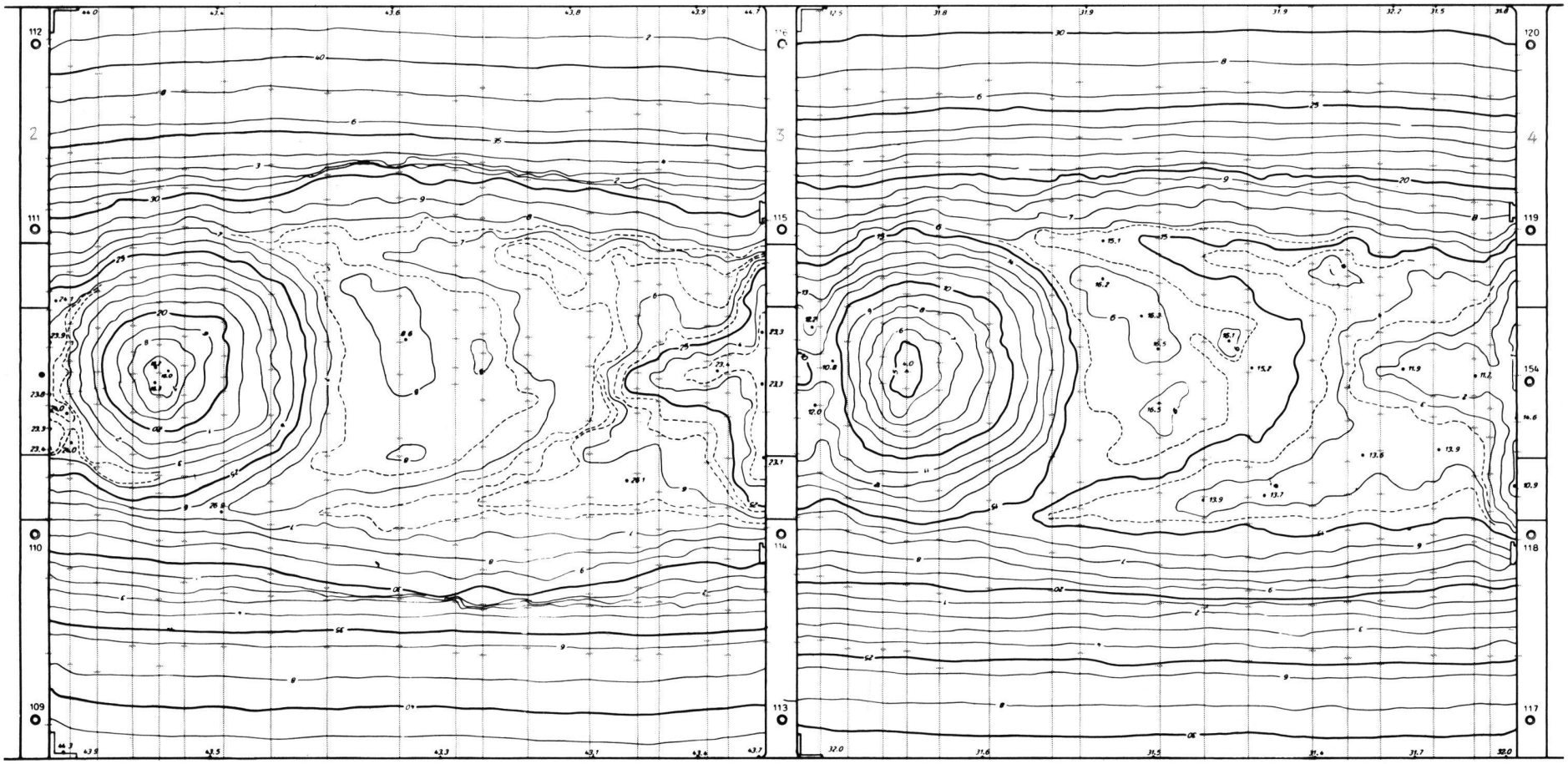
3.2 Profilweise Auswertung

Nach erfolgter relativer Orientierung geschah die Auswertung der Bildpaare im Autographen durch Abtasten der Kolkformen mit der Messmarke in Profilen parallel zu den Sperren, d. h.: stets nur in y-Richtung des Autographen, was den Meßvorgang wesentlich erleichtert und beschleunigt.
Die Anzahl der Profile variierte je nach Form des Kolks. In Abschnitten, wo die Kolkgeometrie stark ändert, rücken die Profile näher zusammen als in Bereichen mit gleichförmigem Verlauf. Vor allem müssen die Profile immer durch Knickpunkte der Kolkfläche gehen, damit die Flächenform eindeutig erfaßt wird.
Die Wahl der einzelnen Punkte in den Profilen erfolgt nach den gleichen Kriterien wie diejenige der Profile. Die Abbildung 7 verdeutlicht diese Anordnung.
Durch die gezielte Auswahl der Profile und der einzelnen Profilpunkte verringert sich die Auswertearbeit bei gleichbleibender Genauigkeit wesentlich gegenüber einer Auswertung mit festem Raster.
Im Durchschnitt wurden pro Kolkfeld 15–20 Profile mit je 15–20 einzelnen Punkten registriert.
Ein angeschlossenes elektronisches Übertragungsgerät digitalisiert die im Autographen eingestellten Punkte, und ein Locher stanzt die 3 Maschinenkoordinaten mit der entsprechenden Nummerierung direkt auf Lochkarten.
Ein in Fortran geschriebenes Rechenprogramm verarbeitet die gewonnenen Maschinenkoordinaten. Es setzt sich aus 2 Hauptteilen zusammen.
In einem 1. Schritt transformiert das Programm die Maschinenkoordinaten mit Hilfe der räumlichen Ähnlichkeitstransformation nach Helmert in Koordinaten des xyz-Systems der Versuchsrinne.
In einem 2. Schritt berechnet es aus den transformierten Daten die Kolkparameter.
Die Rechenroutine von T. Schenk für die Helmerttransformation stellte das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie zur Verfügung.

Abbildung 7: Höhenkurven und Profilwahl

Sperrentreppe

Versuchs-Nr. 2.04
Q = 6l / S.t = 40 S.



Modellversuch an der Versuchsanstalt für Wasserbau ETH
ausgeführt von dipl. Ing. W. Schmid
Institut für Kulturtechnik, ETH

Photogrammetrische Auswertung K. Schuler
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Zürich

3.3 Darstellung der Kolkgeometrie durch Höhenkurven

Das Höhenkurvenbild stellt ein anschauliches Bild der Kolkgeometrie dar. Die Abb. 7 zeigt als Beispiel die Auswertung zweier aufeinanderfolgender Kolkfelder im Maßstab ~ 1:6 (im Original, Auswertung im Maßstab 1:5) mit einer Aequidistanz von 1 cm.

Nachdem das Bildpaar im Autographen relativ und absolut orientiert ist, fährt man mit der Messmarke die Schichtenlinie ab, die ein mit dem Autographen gekoppelter Zeichenstift gleichzeitig in eine Kunststoffolie ritzt.

Hier zeigt sich deutlich der Vorteil der Photogrammetrie gegenüber den herkömmlichen Methoden im wasserbaulichen Versuchswesen.

Bei der bisher üblichen Methode des Fadenlegens z. B. staut man das Versuchsmodell bis auf die gewünschte Höhenknote ein, senkt schrittweise, je nach gewählter Aequidistanz, den Wasserspiegel und legt jeweils auf die Begrenzungslinie Wasser-Gerinnsohle einen Faden. Dieses so gewonnene Höhenkurvenbild wird schließlich photographisch festgehalten.

4.0 Resultate aus der photogrammetrischen Auswertung

4.1 Die aus der photogrammetrischen Auswertung erhaltenen Genauigkeiten

Die aus der photogrammetrischen Auswertung erhaltenen mittleren Fehler an einem definierten Punkt der Kolkgeometrie betragen in den 3 Koordinatenrichtungen:

Lage:	x-Richtung m_x	= ± 0.4 mm
	y-Richtung m_y	= ± 0.4 mm
Höhe:	z-Richtung m_z	= ± 0.7 mm

Nach Kap. 9.22 (Abb. 9.1) werden für die getroffene Aufnahmedisposition folgende mittlere Fehler an Lage und Höhe eines Punktes erwartet.

Lage:	m_l	= ± 0.4 mm
Höhe:	m_h	= ± 0.9 mm

Die erhaltenen mittleren Fehler an der Lage entsprechen den erwarteten Werten, während der erhaltene mittlere Fehler an der Höhe etwas kleiner ist als erwartet.

4.2 Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie

4.21 Auswertegeschwindigkeit

Aus den 240 ausgewerteten stereometrischen Raummodellen läßt sich über den Zeitaufwand für Aufnahme und photogrammetrische Auswertung der Kolkfelder folgendes angeben:

Zeitaufwand pro Raummodell (2 Kolkfelder)

Photographische Aufnahme	10 min.
Entwickeln der Platten	10 min.
Modellorientierung im Autographen	30 min.
Registrierung der Punkte (600 Einzelpunkte)	120 min.
Totaler Zeitaufwand pro Raummodell	170 min = 2 h 50 min.

Bei diesen Angaben ist zu berücksichtigen:

1. Die Zahlenwerte für die Auswertung entsprechen Mittelwerten, die ein durchschnittlicher Operateur erreichen sollte.
2. Es ist nur der reine Zeitaufwand für die entsprechende Tätigkeit angeführt.
3. Ob 400 oder 800 einzelne Punkte zu registrieren sind, hat auf die gesamte Registrierzeit keinen großen Einfluß.

4.22 Auswertung in jedem beliebigen Maßstab

Ein wasserbauliches Modell ist im allgemeinen eine maßstäbliche Abbildung eines Objekts in der Natur. Wird bei der photogrammetrischen Auswertung eines Modellversuches im Autographen nur relativ orientiert, so können die gewonnenen Maschinenkoordinaten mit Hilfe der räumlichen Helmerttransformation direkt in Koordinaten eines beliebig gewählten, rechtwinkligen Koordinatensystems transformiert werden; insbesondere in das Koordinatensystem des Objekts in der Natur. Es ist also nicht notwendig bei der Auswertung der Modellversuche über das Koordinatensystem des Versuchsmodells zu gehen.

4.23 Objektivität der Messungen

Die lediglich am relativ orientierten Modell registrierten Meßwerte sind vom Operateur nicht direkt interpretierbar. Sie können deshalb weder bewußt noch vom Operateur beeinflußt werden. Auch wertete die Bildpaare meist nicht die gleiche Person aus, welche die Modellversuche durchführte. Deshalb dürfen die aus der Helmerttransformation erhaltenen Resultate als völlig objektiv gelten.

4.24 Reproduzierbarkeit

Die Archivierung der photogrammetrischen Aufnahmen gestattet die spätere Wiederholung und eventuelle Nachprüfung des Meßvorgangs. Hat man bei der ersten Auswertung gewisse Details vergessen oder haben sich einzelne Größen erst nachträglich als wichtig erwiesen, so muß der hydraulische Versuch nicht wiederholt, sondern lediglich die entsprechende Aufnahme ein zweites Mal ausgewertet werden.

4.25 Informationsdichte und Beweiskraft

Die photogrammetrischen Meßbilder besitzen einen umfassenden Informationsgehalt und erhalten dadurch eine hohe Beweiskraft. Sie haben einen dauernden Dokumentationswert.

Literaturverzeichnis

(1) Aeschlimann H. — Zur Genauigkeit geodätischer Verschiebungsmessungen. Dissertation ETH Nr. 4438 1971 Zürich

(2) Carstens M.R. — Similarity Laws for Localized Scour. Proc. ASCE 1966 Hy 3 Paper 4818

(3) Großmann W. — Grundzüge der Ausgleichungsrechnung. 3. Aufl. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1969

(4) Schwidewsky K. — Grundriß der Photogrammetrie. 6. Aufl. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart 1963

(5) Schmid W. — Die allgemeine dreidimensionale Kolkentwicklung unter besonderer Berücksichtigung des Geschiebetriebs und der Zeit. Diss. ETH Nr. 4859 Zürich 1972

(6) Stiefel E. — Einführung in die numerische Mathematik B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart 1963