

321B | Juni 1977

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

M. Döhler, K. Ringle

### Photogrammetrische Formbestimmung der Kavitationsblasen

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

## Photogrammetrische Formbestimmung der Kavitationsblasen

M. Döhler, K. Ringle, 1. Auflage, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1975

© Technische Universität Hamburg-Harburg  
Schriftenreihe Schiffbau  
Schwarzenbergstraße 95c  
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

Der Einfluß des ungelösten Gasgehaltes auf die Kavitationserscheinungen an einem Propeller und auf die von ihm erregten Druckschwankungen

## Teil B

### Photogrammetrische Formbestimmung der Kavitationsblasen

#### Kurzbericht

##### I Photographische Aufnahmen

Während der Kavitationsversuche in der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt wurden in der Zeit vom 18.11. bis 6.12.74 gleichzeitig mit anderen Untersuchungen photographische Aufnahmen verschiedener Zustände vorgenommen. Sie dienten zur geometrischen Formbestimmung der Kavitationserscheinungen. Dazu waren stereoskopische Aufnahmen erforderlich. Wegen der besonderen Objektverhältnisse konnten keine photogrammetrischen Aufnahme-Meßkammern verwendet werden. Benutzt wurden zwei Hasselblad-Kameras 500 EL mit Zeiss-Objektiven Distagon 1 : 4;  $f = 50$  mm. Beide Kameras waren auf einer Schiene in vertikaler Basisstellung (Basis  $\sim 10$  cm) befestigt und auf einem Theodolit-Stativ unmittelbar vor dem Fenster des Kavitationstunnels aufgestellt, so daß die zu untersuchenden Propellerstellungen stereoskopisch erfaßt werden konnten. Durch elektrische Verbindung der beiden motorisch betriebenen Aufnahmegeräte war eine Synchronauslösung möglich. Die Aufnahmeentfernung zum Propeller betrug im Mittel bei  $0^\circ$  Stellung des Propellers ( $\cong 12^h$  Stellung) 60 cm. Die Belichtungen erfolgten mit  $1/30$  sec. Um stehende Bilder des mit verschiedenen Geschwindigkeiten umlaufenden Propellers zu erhalten, wurden mehrere Stroboskopblitze benutzt, die entsprechend der Umdrehungsgeschwindigkeit und der Uhrzeitstellung des Propellers von einem Computer gesteuert wurden.

Ingesamt sind 1920 Bilder im Format 6 x 6 cm aufgenommen worden, und zwar:

Eichaufnahmen (EICH 1-26) = 204 Stereoaufnahmen  $\hat{=}$  408 Bilder  
Meßaufnahmen (MES 2-157) = 756 "  $\hat{=}$  1512 Bilder

Die Eichaufnahmen waren notwendig wegen des Mehrmedienfalles der die Zentralperspektive beeinträchtigt und somit die Geometrie der Abbildung verändert. Die abbildenden Strahlen durchliefen die Medien Luft, Glas und Wasser. Um den Einfluß der Strahlenbrechung auf die geometrische Abbildung zu ermitteln, wurden folgende photographischen Eichaufnahmen gefertigt:

Propeller in den 8 halbstündigen Flügelstellungen (alle  $15^{\circ}$ ) von  $10^h$  über  $12^h$  bis  $1/2$   $14^h$ , und zwar:

- A) ohne Wasser und ohne Glasfenster (unbeeinträchtigte Zentralprojektion, da Medium nur Luft;
- B) wie unter A) aber mit Glasscheibe und Wasserfüllung (gestörte Zentralprojektion, wirksame Medien: Glas, Wasser, Luft).

Bei den unter A) und B) genannten Aufnahmen wurde mit ruhig stehendem Propeller und nichtströmendem Wasser gearbeitet. Im Falle A) ist der Propeller von einem im Institut für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe speziell gefertigten Paßpunktrahmen umschlossen worden. Die Koordinaten der aufgebrauchten Paßpunkte sind auf einer Präzisionswerkzeugmaschine dreidimensional mit einer Genauigkeit von 0,01 mm ausgemessen worden. Diese Paßpunktkoordinaten waren für die spätere stereoskopische Ausmessung der Flügelform notwendig. Auf jeweils einem Flügel der beiden untersuchten Propeller ist von der HSVA ein Netz nach dem Muster der beiliegenden Abb. 1 aufgetragen worden.

Nach den beschriebenen Eichaufnahmen erfolgten die stereophotogrammetrischen Aufnahmen (MES-Aufnahmen) der unter verschiedenen Versuchsbedingungen (wie z. B. 2 Propellerformen; freifahrend; Nachstrommodell; verschiedene Geschwindigkeiten zwischen 15 und 30 Umdrehungen pro sec.; unterschiedlicher Gasgehalt im Wasser) erzeugten Kavitationserscheinungen.

Für die Aufnahmen wurden benutzt:

EICH-Aufnahmen auf Isopan 17 DIN-Film

MES -Aufnahmen auf Agfapan 400-Film

## II Kalibrierung der Aufnahmekameras

Die bei den Aufnahmen in Hamburg benutzten Hasselblad-Kameras (siehe Bericht Teil I) wurden in der Zeit vom 8. bis 12.9.75 im Labor des Instituts für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe am Eichstern einer eingehenden Kalibrierung unterzogen. Durch Kalibrierung von Aufnahmekammern werden geometrische Größen, die in der Photogrammetrie als Elemente der "Inneren Orientierung" bezeichnet werden, bestimmt. Dies sind die Lage des Bildhauptpunktes  $H'$ ; die Kammerkonstante  $c$  (Abstand Projektionszentrum - Bildebene); die Objektivverzeichnung (die die Zentralprojektion beeinträchtigt). Diese Größen sind bei Meßkammern bekannt und für jede Kammer unveränderlich. Bei Nichtmeßkammern wie im vorliegenden Fall müssen diese Größen bestimmt werden. Dabei wird man auch Konstanz und Reproduzierbarkeit dieser Werte für die verschiedenen Fokus-Einstellungen prüfen müssen.

Das geschah unter möglichst strenger Einhaltung der Hamburger Aufnahmeanordnung: Stereoaufstellung der beiden Kammern mit vertikaler Basis von  $\sim 10$  cm; Verwendung der gleichen Objektiv-Kammer und Kassettenkombinationen; Verwendung von Rollfilm und entsprechender Fokus-Einstellungen.

Die Serie 1 von 11 Aufnahmen pro Kammer erfolgte bei einer Aufnahme-Entfernung von  $e \sim 2,9$  m (Bildmaßstab  $1 : m_b \sim 1:58$ ) mit wechselnden Blenden 4, 11, 16, 22 und zwei Filmsorten AGFA PAN 400 und ISOPAN 17. Damit sollte die Verzeichnung der beiden Distagon-Objektive  $1 : 4/50$  bestimmt und die Konstanz der inneren Orientierung vor allem hinsichtlich der Kammerkonstante von Bild zu Bild überprüft werden. Außerdem läßt sich aus der Größe und Verteilung der Vektoren der Koordinaten-Restfehler im Bild nach der Ausgleichung die Qualität der Ebenheit der Rollfilm-Bilder beurteilen. Von diesen Aufnahmen sind 8 je Kammer am Präzisionsstereokomparator Zeiss PSK ausgemessen worden. Pro Bild wurden durchschnittlich 290 Punkte durch Doppelmessungen bestimmt, das sind insgesamt:

$$290 \times 2 \times 8 \times 2 = 9280 \text{ Punktmessungen.}$$

Die Kalibrierungsberechnungen erfolgten mit dem vom Institut für Photogrammetrie und Topographie hergestellten Programm-Paket an der Rechenanlage UNIVAC 1108 der Universität Karlsruhe.

Kammer A:

Kamera-Gehäuse	Nr. UVE 16902
Objektiv	Nr. 5303171
Kassetten	Nr. TU 114 339

Kammer B:

Kamera-Gehäuse	Nr. UVE 16912
Objektiv	Nr. 5143649
Kassetten	Nr. TU 114 344

In dieser Kombination wurden die Aufnahmen in Hamburg (HSVA) und die Labor-Kalibrierungen (Institut für Photogrammetrie) vorgenommen.

Wegen der relativ guten Übereinstimmung der für jede Aufnahme bestimmten Objektivverzeichnung wurden die Mittelwerte aus je 8 Aufnahmen gebildet. Für beide Objektive ergab sich die gleiche Verzeichnungskurve. Der Schnittpunkt mit der x-Achse (Radialabstand im Bild; Nullpunkt gleich Bildmittelpunkt) wurde bei 15 mm festgelegt. Innerhalb dieses Bildbereiches beträgt die max. Verzeichnung etwa + 20  $\mu$ m. Dieser Wert ließe sich durch eine andere Festlegung des Schnittpunktes der Kurve mit der x-Achse noch verringern. Geht man aber davon aus, daß die Schiffsschraube im zentralen Bildbereich (1 x 1,5 cm) abgebildet ist, kann die Verzeichnung höchstwahrscheinlich vernachlässigt werden, da andere Fehlereinflüsse wie Einstell- und Meßfehler der weniger gut definierten Blasenoberfläche und die Unebenheiten des Rollfilmes dominierender sein dürften. Als Abweichungen vom arithmetischen Mittel der Kammerkonstanten ergaben sich Mittelwerte von  $\pm 0,03$  bis  $\pm 0,05$  mm. Für Photoapparate (keine Meßkammern!) und bei Verwendung von Rollfilm ist das ein gutes und brauchbares Ergebnis.

Die mittleren Koordinaten-Restfehler im Bild nach der Ausgleichung schwanken zwischen 3 und 8  $\mu$ m bei Mittelwerten von 4 .. 5  $\mu$ m. Auch das entspricht den Erwartungen aufgrund früherer Untersuchungen. Rollfilm besitzt in der Ebenheit nicht die Güte von Glasplatten bzw. Planfilm. Das wird auch sichtbar aus der Größe und Verteilung der Koordinaten-Restfehler der einzelnen Fehlervektorenpläne, die nach der Kalibrierung für jede Aufnahme elektronisch ausgegeben werden. Innerhalb des zentralen Bildbereichs, in dem auch die Abbildung der Schiffsschraube liegt, sind die Restfehler relativ klein und entsprechen etwa den an Meßaufnahmen gestellten Anforderungen und Erwartungen.

Die Serie 2 diente zur Bestimmung der inneren Orientierung, insbesondere der Ermittlung der Kammerkonstanten unter den unterschiedlichen Hamburger Aufnahmeverhältnissen.

Es wurden Kalibrierungsaufnahmen an der Karlsruher Eich-einrichtung vorgenommen, die den auf die einzelnen Flügelstellungen entsprechenden unterschiedlichen Aufnahmeentfernungen und Fokuseinstellungen mit und ohne Wasser entsprachen. Für jede der 8 Positionen von  $300^{\circ} \pm 10^h$  bis  $45^{\circ} \pm 1/2 14^h$  wurden 4 Kalibrierungsaufnahmen hergestellt, insgesamt also 32 Bilder für jede Kamera. Davon sind je 30 Aufnahmen ausgewählt und im PSK ausgemessen worden. Bei etwa 80 Punkten pro Bild ergaben sich bei Doppelmessungen für alle Bilder ungefähr 9600 Meßeinstellungen.

Die Kalibrierungsberechnungen erfolgten ebenfalls auf der oben genannten Rechenanlage. Die für die einzelnen Zustände ermittelten Kammerkonstanten wurden für die unter III beschriebenen Stereoausmessungen der Bilder benutzt.

### III Stereophotogrammetrische Bildauswertung

Als Ergebnis der stereoskopischen Bildauswertung waren verlangt: Größen und Dicken der einzelnen Kavitationsblasen. Von den möglichen Auswerteverfahren wurde aus verschiedenen Gründen linienweise Stereokartierung bevorzugt. Sie erfolgte im Stereokartiergerät Topocart von Jenoptik am Institut für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe.

Ausgewertet und gezeichnet wurden:

1. Von den einzelnen Zustandsstufen auf die Aufnahmeebene orthogonal projizierte Aufrisse der einzelnen Flügelstellungen mit eingezeichneten Blasenbegrenzungskonturen.
2. In den Grundriß orthogonal projizierte horizontale Profilschnitte der Flügeloberfläche und der darüber liegenden Blasenoberfläche. Die Grundrißebene liegt senkrecht zur gewählten Aufrißebene. Die Kartierungen wurden im Maßstab 2 : 1 bezogen auf das Objekt vorgenommen.

Die Ergebnisdarstellungen sind im Abschnitt IV nochmals kurz erläutert.

Von den MES-Aufnahmen sind ausgewertet worden die in nachstehender Tabelle mit + ausgewiesenen Stereomodelle.

Die mit - versehenen Stereomodelle konnten nicht ausgemessen werden, weil keine ausgeprägten Blasen vorhanden sind, oder die photographische Qualität eine stereophotogrammetrische Ausmessung nicht zuließ.

Uhrzeit- stellung	10	1/2 11	11	1/2 12	12	1/2 13	13
MES-Nr.							
133	-	+	+	+	+	+	+
134	-	+	+	+	-	+	+
137	-	-	+	-	-	-	-
138	-	-	+	+	-	-	-
139	-	-	+	+	-	+	-
144	-	+	+	+	-	+	-
145	-	+	+	+	-	+	-
148	-	-	+	+	+	-	-
150	-	-	-	+	+	-	-
153	-	-	-	-	-	-	-
154	-	-	-	-	+	-	-
156	-	-	+	+	+	-	-
157	-	-	+	-	-	-	-

Die Ausmessung geschah in folgender Weise:

1. Zuerst wurden jeweils die im Abschnitt I unter A) genannten EICH-Aufnahmen nach Aufriß und Grundriß ausgewertet. Im Gerät wurden dazu die kalibrierten Kammerkonstanten eingestellt. Diese Aufnahmen sind in der Geometrie in der Abbildung störungsfrei, da sie nur im Medium Luft (ohne Glas und Wasser) aufgenommen sind. Die Einpassung erfolgte über die erwähnten Paßpunktkoordinaten.

2. Daraufhin wurden die in Abschnitt I unter B) genannten Aufnahmen in das Gerät eingelegt. Diese Aufnahmen zeigen eine veränderte Geometrie wegen der Strahlenbrechung aufgrund der Medien Luft, Glas, Wasser. Mit Hilfe des auf den Flügel aufgetragenen Netzes wurden diese Aufnahmen auf die unter 1. genannte Kartierung eingepaßt. Das geschah mit Hilfe affin eingeführter Kammerkonstanten in  $x$  und  $y$ .
3. Schließlich wurden die MES-Aufnahmen eingelegt, die in ihren geometrischen Verhältnissen den EICH-Aufnahmen nach B entsprechen. Es erfolgte die Auswertung der Kontur der Blase im Aufriß und die Kartierung der Blasenoberfläche in den erwähnten Profilen als Grundrißprojektion.

Die unter 1. - 3. genannten Arbeitsstufen wurden für jede Zustandsstufe d.h. für jede Flügelstellung vorgenommen, wobei selbstverständlich stets die sich jeweils entsprechenden Stereobildpaare ausgewertet wurden. (Z.B. MES-Nr. 133, Flügelstellung  $1/2 12^h$ ):

- 1) Eichaufnahme A für  $1/2 12^h$ ;
- 2) Eichaufnahme B für  $1/2 12^h$ ;
- 3) MES-Aufnahme für  $1/2 12^h$  und weiter:  
MES-Aufnahme Nr. 134 für  $1/2 12^h$ ;  
MES-Aufnahme Nr. 137 für  $1/2 12^h$ ; usw. bis  
MES-Aufnahme Nr. 157 für  $1/2 12^h$ ;

#### IV Darstellung der Ergebnisse

Die nach der unter III beschriebenen stereophotogrammetrischen Auswertungen sind in den beigegebenen Plänen im Maßstab 2 : 1 kartiert. Sie sind entsprechend beschriftet bezüglich der MES-Nr., der Flügelstellung und hinsichtlich Flügelnetz und Profil-Nr. bezeichnet. Auf den einzelnen Blättern (im Maßstab 2 : 1) sind für die einzelnen Uhrzeitstellungen zunächst (links) das Propellerblatt jeweils mit seinen be-

zeichneten Netzlinien gezeichnet. Darin sind eingezeichnet die Konturengrenzen der Blasen. Im Bereich der Blase sind wie eingezeichnet die ausgewerteten Profile verdichtet. Dabei sind die ursprünglichen Netzmaschen auf der D-D-Achse jeweils fünfmal unterteilt. Man muß beachten, daß die sich dabei ergebenden Abstände von Profilmasche zu Profilmasche unterschiedlich sind. Das ist bedingt durch die Orthogonalprojektion des Flügels auf die durch die Aufnahme festgelegte Projektionsebene. Diese ist in dem beigefügten, ebenfalls ausgewerteten Grundrißplan grün eingezeichnet. Sie ist für alle Uhrzeitstellungen des Propellerflügels gleich (natürlich auch für alle Meßnummern). Wegen der unterschiedlichen Lage des Flügels in den einzelnen Uhrzeitstellungen zur Projektionsebene ist auch die Größe und Form des links in der Auswertung gezeichneten Flügels unterschiedlich. Die bereits erwähnten, die Netzmaschen unterteilenden Profile sind Parallelen der X-Y-Ebene des Geräteachssystems. Solche Profile sind nicht frei wählbar, sondern sind durch das Achssystem des Auswertegerätes festgelegt. Am unteren Rand ist die Bezeichnung der Profile angegeben.

Im rechten Teil der Zeichnungen sind die in die X-Y-Ebene projizierten Profile dargestellt, und zwar stets die Profile der Flügeloberfläche mit den darüberliegenden kontinuierlich eingezeichneten Blasenoberflächen (Dicken). Der Abstand der Profile entlang der D-D-Achse ist frei gewählt (hat also keinen Maßbezug), damit die Blasenprofile einigermaßen getrennt erscheinen.

Die Projektionsebene ist für alle Flügelstellungen, auch von MES Nr. zu MES Nr. gleich, sie ist identisch mit der Lage der Bildebene und entspricht der im Grundriß eingezeichneten X-Achse des Gerätesystems. Die Profile sind senkrecht auf dieser Projektionsebene stehende parallele Horizontalschnitte im X-Y-Geräteachssystem.

Als Beispiel für die Entnahme von Profildicken sind im Blatt MESS Nr. 133 für  $1/2 \cdot 12^h$  3 Punkte angegeben.

1. Roter Punkt

Dieser Punkt ist ein Schnitt des Profiles 11.3 mit der Netzlinie E-E. Die zugehörige Höhe (Normale zur Flächenprofillinie) ist im rechten Teil rot eingezeichnet.

2. Grüner Punkt

Dieser Punkt ist ein Netzkpunkt zwischen C-C und 12-12. Er liegt etwa in der Mitte zwischen den Profilschnitten 11.3 und 11.4 deren beiden Blasenhöhen im rechten Teil der Zeichnung grün eingezeichnet sind. Die Höhe des grünen Punktes ist durch Interpolation zu ermitteln.

3. Blauer Punkt

Dieser Punkt liegt auf der Profillinie 12.3 zwischen den Netzlinien E-E und F-F. Sein Abstand von der D-D-Achse gemessen im linken Bildteil (blau eingezeichnet) ist von der D-D-Achse im rechten Bildteil abzusetzen und mit der Linie 12.3 zum Schnitt zu bringen. Im gefundenen Punkt ist die Dicke der Blase blau eingezeichnet.

Entsprechend den gegebenen Beispielen für den roten und den blauen Punkt können die Blasendicken für eine hinreichende Zahl von Punkten im rechten Bildteil entnommen werden. Aus diesem digitalen Punkthaufen ist die Blasenoberfläche mathematisch beschreibbar. Auf diese Weise läßt sich die Blasenoberfläche von Flügelstellung zu Flügelstellung auch in ihrer Dicke beschreiben, ohne daß ein in allen Flügelstellungen identischer Punkthaufen erforderlich ist.

16. Juni 1977

gez. Dr. Döhler

F. d. R.:

Anlage

