

**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:** 75 (1977)

**Heft:** 7

**Artikel:** Trägheitsnavigationssysteme und Photogrammetrie

**Autor:** Frank, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-228769>

### **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>**

# Trägheitsnavigationssysteme und Photogrammetrie

A. Frank

## Résumé

Le développement de l'électronique permet aujourd'hui de construire des systèmes très précis de navigation à base de l'inertie. Récemment des avions destinés à la photogrammétrie ont été équipés de tels instruments qui permettent d'imprimer sur chaque prise de vue la latitude, la longitude et l'altitude ainsi que les angles de l'orientation de la caméra. Il est présenté un procédé de calcul des erreurs moyennes de ces indications; le système est basé sur les différences de lectures obtenues dans l'avion même d'un part, et au cours de la restitution sur l'autographe d'autre part. Les erreurs moyennes obtenues sur une série de 21 photos sont données.

Ces systèmes de navigation à base de l'inertie sont applicables à la photogrammétrie:

- Possibilité d'introduire les valeurs lues dans l'avion directement dans l'autographe, ce qui a pour conséquence de simplifier et limiter la durée de l'orientation.
- Il permet en particulier pour des pays d'étendue importante non cartographiée la réalisation rapide de cartes suffisamment précises. L'intérêt du système réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire de travailler dans le terrain, mais uniquement sur les photos: à partir des données obtenues dans l'avion on peut dresser et joindre les photos pour une photo-carte.

Im letzten Sommer hatte ich Gelegenheit, beim Photogrammetrischen Departement des Vermessungsdienstes des Rijkswaterstaat (Teil des holländischen Verkehrsministeriums) in Delft ein Praktikum zu absolvieren. Dabei lernte ich eine interessante Entwicklung in der Photogrammetrie kennen, die an dieser Stelle kurz vorgestellt werden soll, auch wenn sie sich wahrscheinlich noch kaum zur direkten Anwendung in der Schweiz eignet.

## Systembeschreibung

Fokker-VFW B. V. verkaufte mehrere Flugzeuge des Typs F 27 «Friendship», die speziell als Vermessungsflugzeuge ausgerüstet wurden. Dabei wurden an den in diesen Flugzeugen üblicherweise eingebauten Trägheitsnavigationssystemen (Litton LTN 51) Änderungen an der Software vorgenommen, die es erlauben, mit Hilfe des automatischen Piloten Bildflugstreifen selbständig zu fliegen. Die Steuerung der Abtrifftkorrektur wird ebenfalls automatisch besorgt. Mit einer Spezialausführung der Messbildkammer RC 10 von Wild wird erreicht, dass die vom Navigationssystem errechneten Angaben digital in die Aufnahmen eingeblendet werden können. Auf jeder einzelnen Foto finden sich Angaben über:

- Zeit der Aufnahme
- geographische Länge und Breite des Kameraortes
- Höhe über Grund (durch ein zusätzliches genaues Höhenradar bestimmt)

- Winkel zwischen Horizontalebene und Flugzeug-Längsachse (pitch:  $\varphi$ )
- Winkel zwischen Horizontalebene und Flugzeug-Querachse (roll:  $\omega$ )
- Winkel zwischen Nordrichtung und Flugzeug-Längsachse (Heading)
- Winkel zwischen momentanem Kurs über Grund und Flugzeug-Längsachse (Drift-angle, Abtrift)

## Ziele

Diese Angaben auf den Fotos sollen in erster Linie zur vereinfachten Erstellung von Fotomosaiken (Bildplänen) dienen. Jede Aufnahme kann mit Hilfe der Winkelangaben entzerrt und mit der Höhe über Grund auf einen einheitlichen Massstab gebracht werden. Da auch die Koordinaten des Nadirpunktes errechnet werden können, lassen sich diese entzerrten Bilder problemlos zu einem Fotomosaik zusammenfügen. Dies ist im Gegensatz zum heutigen Verfahren praktisch ohne geodätisch bestimmte Passpunkte möglich. Es sollten so für grössere Gebiete in kürzester Zeit ausreichend genaue Karten grösseren Massstabes (vielleicht ab 1:25 000) erstellt werden können.

Andererseits können diese Angaben aber auch bei der Auswertung im Stereoautographen zur Wiederherstellung der äusseren Orientierung herangezogen werden.

## Genauigkeitsabklärung

Um die Genauigkeit der Angaben des Trägheitsnavigationssystems zu prüfen, wurde eine Serie von Versuchsflügen unternommen und das dabei gewonnene Bildmaterial mit den Methoden der Photogrammetrie am Stereoautographen ausgewertet; daraus wurden die Elemente der äusseren Orientierung ( $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  und die Koordinaten des Projektionszentrums) bestimmt und mit den Ablesungen des Trägheitsnavigationssystems verglichen und fehlertheoretisch untersucht.

Von einem Küstenstreifen, der signalisierte, bekannte Punkte enthielt, wurde ein Streifen von 21 Bildern aufgenommen ( $f = 15$  cm, Flughöhe über Grund 600 m, Bildmassstab 1:4000). Da kein Monokomparator zur Verfügung stand, wurden in einer ersten Phase mit den Methoden der analogen Photogrammetrie die Bildpaare als unabhängige Modelle im Stereoautographen Wild A 7 relativ zueinander orientiert und die Modellkoordinaten der signalisierten Punkte festgehalten. Für jedes Bild wurden die Orientierungselemente  $\varphi$ ,  $\omega$  und  $\kappa$  abgelesen und die Koordinaten des Projektionszentrum bestimmt.

Die absolute Orientierung wurde nun analytisch auf einem Tischrechner Hewlett-Packard 9830 berechnet: Es wurde die Transformation zwischen den Modellkoordinaten und den bekannten Landeskoordinaten errechnet (räumliche Translation, räumliche Rotation und Massstabsfaktor). Dazu wurde ein Verfahren von M. Tienstra verwendet, das erlaubt, eine dreidimensionale Rotationsmatrix nach der Methode der kleinsten Quadrate ohne Linearisierung oder Iteration zu berechnen (1). Der gleichen Transformation wurden die be-

rechneten Modellkoordinaten der Projektionszentren unterworfen, so dass deren Lage im Landessystem bekannt war. Aus den Rotationsmatrizen konnten die Winkel der Drehungen entnommen und zu den am Stereoaufgraphen abgelesenen addiert werden; auf die exakte Berechnung mittels Matrix-Multiplikation wurde wegen der Kleinheit der dabei auftretenden Winkel verzichtet. Damit standen für jede der 21 Aufnahmen die Elemente der äusseren Orientierung (Lage des Projektionszentrums  $X_0, Y_0, Z_0$  und die Drehgrössen  $\varphi, \omega, \kappa$ ) zur Verfügung, und zwar je zwei Mal: einmal aus der Verwendung der Aufnahme als rechtes Bild des Bildpaares und einmal aus der Verwendung als linkes Bild des folgenden Paares. Obgleich die Annahme, dass es sich dabei um unabhängige Beobachtungen handle, nicht streng zutrifft, wurden die Ergebnisse gemittelt und folgende mittlere Fehler an den Mitteln errechnet:

$$\begin{array}{ll} m_X = 16.5 \text{ cm} & m_\varphi = 1.6 \text{ c} \\ m_Y = 20 \text{ cm} & m_\omega = 1.6 \text{ c} \\ m_Z = 12 \text{ cm} & m_\kappa = 0.7 \text{ c} \end{array}$$

Damit war eine genügende Abschätzung der Genauigkeit der photogrammetrischen Methode gegeben; die mittleren Fehler an den Mitteln waren auch klein genug, dass die gemittelten Elemente der äusseren Orientierung, wie sie am Autographen bestimmt wurden, beim Vergleich mit den Angaben des Trägheitsnavigationssystems als fehlerfrei angenommen werden konnten.

Zu diesem Vergleich mussten einerseits die geographischen Längen und Breiten ins holländische Landessystem übertragen werden, andererseits mussten additive Konstanten zur Korrektur der Neigung zwischen Aufnahmekammer und Flugzeugachse bzw. die akkumulierten Positionsfehler nach anderthalb Stunden Flugzeit eingeführt werden. Es ergaben sich damit folgende mittlere Fehler an den Angaben des Navigationssystems verglichen mit den photogrammetrischen Auswertungen:

$$\begin{array}{ll} m_X = 6.1 \text{ m} & m_\varphi = 5.5 \text{ c} \\ m_Y = 13.7 \text{ m} & m_\omega = 7.6 \text{ c} \\ m_Z = 3.3 \text{ m} & m_\kappa = 7.7 \text{ c} \end{array}$$

Die Höhen über Grund liessen sich im gegebenen Fall den Höhen über Meer gleichsetzen. Der errechnete mittlere Fehler entspricht etwa  $1/2\%$  der Flughöhe.

Dazu kommt bei längeren Flügen eine ungefähr linear von der Navigationszeit abhängige Abweichung der Positionsangabe, für die mit ca. 1200 m pro Stunde Navigationszeit gerechnet werden muss. Im untersuchten Beispiel erreichte sie nach anderthalb Stunden Flugzeit in X-Richtung 101 m und in Y-Richtung 860 m. Durch die «Update»-Operation können während des Überfliegens eines bekannten Punktes dessen Koordinaten eingegeben und so die aufgelaufenen Positionsfehler eliminiert werden. Auch ohne bekannte Koordinaten eines Punktes lässt sich diese Operation bei Fotoflügen einsetzen: beim ersten Überfliegen eines markanten Punktes werden die Koordinaten gespeichert und bei jedem späteren Überfliegen wieder aufgenommen, so dass auch

bei längeren Fotoflügen die zeitabhängige Abweichung der Positionsangabe nicht entscheidend in Erscheinung tritt.

Diese Ergebnisse können mit jenen des amerikanischen Tests von 1972 (2) verglichen werden, wo folgende mittlere Fehler erreicht wurden:

$$\begin{array}{ll} m_{\text{Position}} = 4.6 \text{ m} & m_\varphi = 1 \text{ c} \\ m_{\text{Höhe}} = 4.5 \text{ m} & m_\omega = 1 \text{ c} \end{array}$$

Bei diesen Versuchen des US-Verteidigungsdepartements wurde für die Positionsbestimmung ein Shiran-System eingesetzt, das eine aktive Bodenstation erfordert. Für die Höhenmessung wurde wie in Delft ein Radarsystem eingesetzt. Diese Versuche wurden meines Wissens nicht weiterverfolgt, da es sich dabei wahrscheinlich um ein zu aufwendiges und kompliziertes Verfahren gehandelt hat (3).

Die erzielte Genauigkeit scheint ausreichend für die Erstellung von Bildkarten. Daneben kann dieses System im Rahmen seiner Genauigkeit auch bei andern Aufgaben der Luftphotogrammetrie angewendet werden, in Fällen beispielsweise, bei denen die Rekonstruktion der äusseren Orientierung mit den traditionellen Methoden nicht gelingen kann. In den Niederlanden wurde damit zum Beispiel ein langer, unbegebarter Seedamm vermessen. Auf den Aufnahmen war ca. 95 % der Fläche Meeresspiegel, so dass eine Orientierung im Autographen ausgeschlossen war; hier konnten die Angaben des Navigationssystems einspringen.

### Ausblick

Eine weitere Steigerung der Genauigkeit scheint durchaus möglich, insbesondere durch eine Weiterentwicklung der im Navigationssystem eingesetzten Computerteile. Man vergleiche beispielsweise die Ergebnisse, die J. M. Rieger in dieser Zeitschrift veröffentlicht hat. Er berichtet von einem Trägheitsnavigationssystem, das in ein Strassenfahrzeug eingebaut war, und mit dem mittlere Fehler an den Koordinaten von 0.4 m innerhalb von einmal gemessenen, gezwängten Zügen von 30 km Länge erreicht wurden (4).

Aussichtsreich und für die Photogrammetrie besonders interessant wird die direkte Bestimmung der Höhen über Meer. Kurzzeitig sind solche Angaben schon heute möglich; die Konstanz der Angaben in Flugzeugen scheint aber noch nicht erreicht (im Gegensatz zum System im Strassenfahrzeug, das auch die Höhen bestimmt). Damit könnte die Anzahl der Passpunkte in grossen photogrammetrischen Blöcken wesentlich herabgesetzt werden (5). Es ist dabei zu beachten, dass die Fehlerfortpflanzung bei einem Trägheitsnavigationssystem grundsätzlich anders (im wesentlichen linear) verläuft als in einem freien photogrammetrischen Streifen, so dass erwartet werden kann, dass durch eine hybride Ausgleichung unter Verwendung angemessener Gewichte für die zusätzlichen Angaben gewisse Aufgaben der Streifen- und Blockausgleichung besser gelöst werden könnten.

#### Literatur

- (1) M. Tienstra: A Method for the Calculation of Orthogonal Transformation Matrices, Delft 1969.
- (2) R. W. Powell: AN/USQ-28 Verticality Verification Test presented to XIIth International Congress of Photogrammetry, Ottawa 1972.
- (3) Schwidofsky/Ackermann: Photogrammetrie, Stuttgart 1976, S. 220.
- (4) J. M. Rüeger: Trägheitsmesssystem für die Vermessung, in «Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik», Mai 1976, S. 125 ff.
- (5) Schwidofsky/Ackermann: Photogrammetrie, Stuttgart 1976, S. 261 f.

Adresse des Verfassers:

André Frank, cand. Kult. Ing. ETH, Bergstrasse 16, 8044 Zürich

**Schweizerischer Verein für Vermessungswesen  
und Kulturtechnik (SVVK)**

**Société suisse des mensurations et améliorations foncières  
(SSMAF)**

## Jahresbericht des Zentralvorstandes des SVVK für das Jahr 1976

### 1. Allgemeines

Aus der Sicht unseres Berufsstandes gesehen, hinterlässt das Berichtsjahr 1976 zweifellos unterschiedliche Eindrücke. In der konjunkturellen Situation ist noch keine grundsätzliche Änderung zu verzeichnen, und vielen Betrieben macht die Unsicherheit in der Beschäftigungslage, vor allem im Bau- und Planungswesen, zu schaffen, wobei allerdings grosse, zum Teil regional bedingte Unterschiede bestehen. Sorge bereitet in diesem Zusammenhang der Umstand, dass der öffentlichen Hand, also unserem wichtigsten Auftraggeber, immer mehr der «Spar-Schwarzpeter» zugeschoben wird und Kredite für Infrastrukturinvestitionen zurückgestellt oder von Gemeindeversammlungen, Parlamenten usw. abgelehnt werden.

Auf der positiven Seite der Bilanz steht demgegenüber die erfreuliche Tatsache, dass offenbar der Wert der Grundbuchvermessung und die Notwendigkeit, diese beschleunigt fertigzustellen, doch immer mehr Anerkennung finden. So können wir mit Genugtuung feststellen, dass es der Vermessungsdirektion, im Berichtsjahr erstmals unter Leitung von Direktor W. Bregenzer, gelungen ist, die Kredite für die Grundbuchvermessung nicht nur von den Kürzungen im Rahmen der allgemeinen Sparmassnahmen des Bundes auszuklammern, sondern sie sogar noch zu erhöhen. Diese Anerkennung und Anstrengung muss uns andererseits Verpflichtung sein, alles daran zu setzen, die uns übertragene Aufgabe ordnungsgemäss und einwandfrei zu erfüllen. 1976 hätte gemäss dem seinerzeitigen Programm das Werk der Grundbuchvermessung über das zu vermessende Gebiet der ganzen Schweiz fertiggestellt sein sollen. Aus verschiedenen Gründen ist dieses Ziel nicht erreicht worden. Die Vermessungsdirektion hat nun mit umfangreichen Erhebungen als Basis für die Erarbeitung eines neuen Programms für die Fertigstellung (Programm 2000) begonnen.

Erfreulich ist auch die Einmütigkeit, mit der an der Hauptversammlung 1976 der vom Zentralvorstand beantragte zusätzliche Obolus für die Finanzierung der für die Zeit von 1978 bis 1981 voraussichtlich der Schweiz übertragenen Führung des FIG-Büros beschlossen wurde. Der vorbereitende Ausschuss für die Durchfüh-

## Rapport d'activité du Comité central de la SSMAF pour l'année 1976

### 1. Généralités

Du point de vue de notre profession, nous conserverons de l'exercice 1976 des impressions pour le moins variées. Aucun changement fondamental n'est à signaler dans la situation conjoncturelle et l'insécurité de l'occupation du personnel donne à faire à beaucoup de bureaux, en particulier dans les domaines de la construction et de l'aménagement, avec toutefois des différences sensibles de région à région. Il est préoccupant de constater que l'on attribue toujours plus volontiers le rôle de «l'homme noir» économique aux pouvoirs publics, notre principal mandant, et que les crédits d'équipement sont reportés ou rejetés par les assemblées de commune, parlements, etc.

Dans les aspects positifs du bilan, on peut faire la constatation réjouissante que la valeur de la mensuration et la nécessité de son rapide achèvement sont de plus en plus généralement reconnues. Relevons avec satisfaction que la Direction fédérale des mensurations, dont c'est le premier exercice sous la direction de M. W. Bregenzer, est parvenue non seulement à sauver les crédits pour la mensuration des réductions décidées par la Confédération dans le cadre des mesures générales d'économie, mais, mieux que cela, à les augmenter. Cette constatation nous oblige à tout entreprendre pour exécuter correctement les tâches qui nous sont confiées. L'année 1976 aurait dû marquer la fin de l'œuvre de la mensuration à travers tous les territoires à mesurer de la Suisse, conformément au programme établi en son temps. Pour diverses raisons, ce but n'a pas été atteint. La Direction des mensurations a dès lors fait une enquête approfondie qui servira de base pour l'élaboration d'un nouveau programme (programme 2000) pour son achèvement.

L'unanimité avec laquelle l'assemblée générale 1976 a décidé un versement supplémentaire proposé par le Comité central pour le financement du bureau de la FIG, qui sera pris en charge par la Suisse de 1978 à 1981, est également réjouissante. Le comité d'organisation du congrès de la FIG à Montreux en 1981 (prof. Dr H. Matthias, prof. A. Jaquet et ing. H.-R. Dütschler) a commencé ses travaux. Des bases financières saines sont nécessaires pour permettre au bureau de la FIG de rem-