

## ANWENDUNGSBEISPIELE DER NUMERISCHEN PHOTOGRAMMETRIE IN DER INDUSTRIE

H. Fuchs, Köln

Geht man der Definition des Begriffes Photogrammetrie nach, so trifft man auch heute noch sehr häufig die Auskunft an, sie sei ein Verfahren zur kartennmäßigen Herstellung von Geländeausschnitten. Die Photogrammetrie wird eben schlechthin als ein Verfahren zur Kartenherstellung und somit ausschließlich als ein Teilgebiet der Geodäsie betrachtet. Zugegeben, daß auch heute noch auf diesem Gebiet tatsächlich die breiteste und populärste Anwendungsart dieser Methode liegt, so tut man ihr doch andererseits unrecht, wenn man sie nur und ausschließlich auf dieses Gebiet beschränkt.

Indem der Geodät, der offenbar sehr frühzeitig den Wert dieses Verfahrens für seine Belange erkannte und auch folgerichtig dafür einsetzte, mittels der Photogrammetrie die Erdoberfläche vermißt und damit einen mathematisch nicht definierbaren Körper in Form und Größe beschreibt, weist er bereits den Weg, daß das, was man auf geodätischem Gebiet tut, auch überall dort eingeführt werden kann, wo man mathematisch nicht definierte Objekte im nachhinein beschreiben will. Umfassend ausgedrückt: Es gibt im allgemeinen Meßwesen Gelegenheiten, die den Einsatz der Photogrammetrie sinnvoll erscheinen lassen.

Ich möchte es hier nochmals klar zum Ausdruck bringen, daß die Photogrammetrie eben weit mehr kann als nur Landkarten herstellen, daß sie als ein allgemeines physikalisches Meßverfahren anzusprechen ist.

Wir als Photogrammeter haben tagtäglich die Aufgabe, anderen Fachdisziplinen gegenüber der Photogrammetrie eine solche Definition zu geben, die dem wahren Wesen dieses Verfahrens gerecht wird; müssen also versuchen, das von Wissenschaft und Forschung erarbeitete Gut als praktikable Ware zu verkaufen.

Noch ist dieses Meßverfahren breiten Kreisen der Industrie nicht oder nur sehr oberflächlich bekannt, und noch wird Photogrammetrie ausschließlich im Rahmen der Ausbildung der Geodäten gelehrt.

Seitens der Instrumenten-Industrie ist bislang relativ wenig getan worden, was der außertopographischen Photogrammetrie dienlich war, wodurch wir oft in der Praxis gezwungen werden zu manipulieren.

Gemeinsame Diskussionen zwischen Wissenschaftlern und Ingenieuren verschiedener Fachdisziplinen sollten künftig eine breitere Anwendung photogrammetrischer Verfahren motivieren. Dies gilt nicht zuletzt für die numerische Photogrammetrie, die vielerorts noch in den Kinderschuhen steckt.

Anhand einiger, aus einer breiten Palette herausgegriffener praktischer Beispiele sollen Sie, meine Damen und Herren, erkennen, daß das photogrammetrische Meßverfahren jeweils den Aufgabenstellungen angepaßt werden kann, daß es sich um ein automationsfreundliches Verfahren handelt, das in einigen Fällen durch keine andere Meßmethode ersetzt werden kann.

Bei der Rheinischen Braunkohlenwerke Aktiengesellschaft in Köln, die im rheinischen Braunkohlenrevier im Gebietsdreieck Köln - Aachen - Düsseldorf im Jahr 1976 ca. 118 Mio. Tonnen Kohle, ca. 288 Mio. cbm Abraum und ca. 1.19 Mrd. cbm Wasser förderte, ist die Photogrammetrie seit 1960 fest integrierter Bestandteil des Vermessungswesens. Die stark angestiegenen Tagesleistungen der Gewinnungs- und Verkipplungsgeräte - derzeit max. 240 000 m<sup>3</sup>/Tag und Gerät - verlangen für Planung und Betriebsführung stets kürzere Aufmaßintervalle. Die im Zusammenhang mit dem Tagebaubetrieb durchzuführenden photogrammetrischen Arbeiten dienen im wesentlichen der ständigen Aktualisierung des Betriebskartenwerkes sowie der Ermittlung der bewegten Massen an Abraum und Kohle.

Da über die photogrammetrische Technik in Verbindung mit elektronischer Datenverarbeitung bereits zahlreiche Vorträge gehalten wurden und Veröffentlichungen vorliegen, kann hier auf die Beschreibung der technischen Arbeitsabläufe verzichtet werden.

Erwähnt werden soll lediglich, daß eine photogrammetrische Tagebaubearbeitung vom Flug angefangen über numerische Messung von durchschnittlich 6 bis 7 Modellen mit einigen tausend Meßwerten, räumliche Block- und Transformationsberechnungen bis hin zur automatischen Plottzeichnung 2 bis 2,5 Tage Zeit in Anspruch nimmt. Nicht ganz so zeitkritisch sind die photogrammetrischen Arbeiten vor dem Aufschluß neuer Tagebaue und für die Planung der damit verbundenen Verlegung von Verkehrswegen, Wasserläufen und Ortschaften.

Da über die Funktionstüchtigkeit unseres digitalen Oberflächen- bzw. Gebirgsmodells bereits ebenfalls diskutiert und geschrieben wurde, sollen lediglich die nächsten Bilder<sup>1)</sup> sowie die Darstellungen in den weiteren Beispielen die Güte des digitalen Modelles demonstrieren.

Ab 1960 war es eine ständige Entwicklung bis zum heutigen Stand, nicht zuletzt durch die Entwicklungen in der Computer-Technik bis hin zu den graphischen Datenverarbeitungssystemen.

Ab 1962 wurden photogrammetrische Verfahren in unserem Konzern bei Standortwahl, Planung und Bauüberwachung von Wasser-, Wärme- und Kernkraftwerken angewandt.

Betrachtet man einmal die nachfolgenden erforderlichen Aktivitäten, so ist ersichtlich, daß der Bau und Betrieb eines Kraftwerkes einem Einsatz der Photogrammetrie zahlreiche Möglichkeiten bietet.

1. Standortsuche (einschl. Immission)  
Standortuntersuchung
2. Herstellung von endgültigen Planunterlagen
3. Massenberechnungen  
Kontrollmessungen Bau- und Maschinenbau  
Baubestandspläne (in bestimmten Zeitintervallen)  
Trassierungen von Verkehrswegen und Leitungen  
Bestandspläne einschl. Kataster
4. Deformationsmessungen
5. Immissionsschutznachweis
6. Schadens Erfassung

Drei Beispiele aus dem Kraftwerksbereich, die nun kurz geschildert werden, sind unter Punkt 3 und 4 der Gliederung einzuordnen, nämlich unter Kontroll- und Deformationsmessungen, ohne daß dabei auf Lösungsalgorithmen oder Arbeitsweise eingegangen werden kann.

#### 1. Beispiel:

Da von der exakten Ausführung und Montage einzelner Bauteile, z.B. des Druckgefäßes, die Funktionstüchtigkeit des Reaktors im Kernkraftwerk stark beeinflusst werden kann, erlangt die meßtechnische Oberprüfung ständig mehr Bedeutung. Im vorliegenden Falle sollten bereits in der Fertigungshalle des Herstellerwerkes, d.h. nachdem das Druckgefäß die überdimensionale Drehbank verlassen hatte und bevor der schwierige Transport zur Baustelle begann, die Formabweichungen der Innenkante des oberen Flansches gegen den ideellen Schmiegunskreis ermittelt werden.

Die Abweichung der Flanschinnenkante von der Idealform schwankt zwischen ca. -1 mm und +1 mm und reiht sich damit bezüglich ihrer Größenordnung in die Ergebnisse der bereits seit einigen Jahren geprüften Druckgefäße ein.

<sup>1)</sup> hier nicht reproduziert

## 2. Beispiel:

Bei diesem Beispiel soll auf die Möglichkeit hingewiesen werden, die Abnahme von Turbinenfundamenten photogrammetrisch durchführen zu können. Das Meßbild<sup>1)</sup> zeigt einen Ausschnitt davon mit einigen Aussparungen, deren Lage und Form, koordinativ bezogen auf die Fundament-Hauptachsen, jeweils zu überprüfen ist.

Das Turbinenfundament, welches noch im Freien der Abnahme unterzogen wird, kann mit zwei Aufnahmen, die ein einziges Stereomodell bilden, erfaßt werden. Die Meßkammer wird dabei auf einer kleinen Plattform oder in einem Personenkorb installiert und mit dem Schwenkkran auf eine Höhe von ca. 30 m angehoben. Für diese örtliche Aufnahme wurde von uns eine Reihenmeßkammer RMK 15/23 modifiziert und eingesetzt.

Bei dem Turbinenfundament, über dem bereits die Halle fertiggestellt ist, wird eine Reihe von Stereomodellen benötigt, da hierbei die Aufnahmekamera in einem Kranbahnträger angebracht werden muß.

Die örtliche Aufnahme beansprucht jeweils nur kurze Zeit, und der Baustellenbetrieb wird nur unwesentlich beeinflusst. Auf die Darstellung der zahlreichen Meßergebnisse möchte ich hier verzichten und lediglich bemerken, daß bei der Messung eines jeden Punktes am Turbinenfundament mit seinen Koordinaten X, Y und wenn erforderlich auch Z eine Genauigkeit von ca. 2 mm erreicht werden kann.

## 3. Beispiel:

In diesem Falle soll das Ergebnis der photogrammetrischen Auswertung und Berechnung darin bestehen, die radialen Verschiebungen am Druckgefäß im Kernkraftwerk und die eingetretenen Schief lagen an den Führungsstäben der Brennelementzufuhr festzustellen, die während der Anheizperiode und anschließender Belastung im stationären Bereich stattgefunden haben, und zwar bei aufgesetztem Betonriegel.

Die Aufnahmekammer wird dabei unterhalb des Betonriegels fest angebracht, da die Belastungsprobe und damit auch die Beobachtungen sich auf einige Tage erstrecken. In unterschiedlichen Zeitintervallen, bedingt durch Druck- und Temperaturanstieg, werden Meßaufnahmen hergestellt und damit auf engstem Raum Augenblickszustände für das Verhalten von ca. 30 Druckrohren festgehalten.

Hierfür scheidet jedes konventionelle Meßverfahren aus.

Die bislang erreichte Genauigkeit beträgt ca. 0.3 mm, und die Ergebnisse zeigt das nächste Bild<sup>1)</sup>. Dazu ist noch zu bemerken, daß die Punkte 13 bis 16, die unmittelbar am Druckgefäß sich befinden, lediglich eine Radialausdehnung erfahren haben, während alle anderen Punkte ca. 3.5 m über dem Druckbehälterdeckel diesen Betrag zuzüglich der Schief lage aufweisen.

Das im Bereich der Photogrammetrie bei Rheinbraun entwickelte "Know-how" wird seit geraumer Zeit auch für eine Vielzahl von Aufgaben außerhalb des Konzerns eingesetzt, wobei die technische und personelle Kapazität nach und nach angepaßt werden mußte. Bei diesen Aufgaben wurden vielfach Erfahrungen und Erkenntnisse gesammelt, die rückwirkend auch die Arbeiten im Bereich von Rheinbraun befruchteten. Nicht immer sind diese Aufgaben so spektakulär wie seinerzeit das Abrechnungsaufmaß für das Olympia-Zeltdach in München oder 1974 die Projektbearbeitung Großflughafen München, bei dem unseres Wissens numerische Photogrammetrie und digitale Kartographie bis zum Schluß zum ersten Mal konsequent durchgeführt wurden, dafür aber vielfach schwieriger und interessanter.

Als ein weiteres kleines Anwendungsbeispiel im Nahbereich seien die Bauwerksbeobachtungen in Bergschadensgebieten erwähnt. Hierbei kommt es dem Baustatiker nicht auf die Beobachtung einiger Höhenpunkte an, sondern vielmehr auf die Auswertung und Darstellung von am Bauwerk angebrachten oder vorhandenen Linien. Die gefährlichen Scherwerte können damit in kleinsten Abszissenintervallen ermittelt werden. Da diese Linien jedoch an fast allen Bauwerken gewisse Rauigkeiten aufweisen, müssen die photogrammetrischen Meßwerte einem Filterprozeß unterworfen werden.

<sup>1)</sup> hier nicht reproduziert

Das erste Bild<sup>1)</sup> zeigt die Darstellung einer Beobachtungslinie nach der numerischen photogrammetrischen Auswertung. Die nächsten 3 Darstellungen<sup>1)</sup> zeigen die gleichen Meßwerte nach Einsatz eines rekursiven numerischen Filters mit 3 unterschiedlichen Filterparametern. Linien dieser Art können bei Wiederholungsmessungen leicht miteinander auf unterschiedliche Absenkungen hin untersucht werden.

In vielen Fällen ist es so, daß die Photogrammetrie die Funktion der Feuerwehr übernehmen muß, wenn sich plötzlich auf einer Baustelle Probleme ergeben. So auch in vorliegendem Falle. Eine Stahl- und Kesselfirma hatte SOS gefunkt, da die Baufirma die Eisenbewehrungen mit immerhin 3 - 4 cm starken Eisenstäben nicht nach Plan verlegt hatte oder verlegen konnte. Da die Stahlfirma mit Fertigteilen auf der Baustelle - es handelt sich um ein Atomkraftwerk - anrücken mußte und an ca. 24 000 Stellen nicht mit der Eisenbewehrung kollidieren durfte, war eine Istaufnahme sofort erforderlich.

Den beteiligten Firmen kam der Umstand zugute, daß einer der leitenden Herren des Bauherrn von der Existenz der Photogrammetrie bei Rheinbraun wußte und darauf aufmerksam machen konnte. Innerhalb von 8 Tagen war die Photogrammetrie und Weiterverarbeitung fest integriert im Netzplan. Es mußten an bestimmten Tagen die 29 Felder der Kondensationskammern im Reaktorgebäude örtlich aufgenommen werden. Jedes Feld hat die Ausdehnung von max. 6 x 3 m. Die örtlichen Vorbereitungen einschließlich Bau der Aufnahmebühne war eine Sache von 1 - 2 Tagen. Für die Weiterverarbeitung war ein Stundenplan festgelegt, und selbst der Transport der einzelnen Zwischenprodukte bis hin zum Endprodukt war bezüglich der Verantwortung vertraglich festgelegt.

Zunächst wurde der Istzustand photogrammetrisch ausgewertet und eine Zeichnung im Maßstab 1:5 erstellt aufgrund von 4 auf ca. 1 mm genau bestimmten Punkten pro Feld.

Diese 1:5 Plottzeichnungen wurden mit ständig abrufbarem Kurier zur Stahlfirma entsendet. Dort wurde in diese Vorlage, die eine Toleranz von 0.5 mm haben durfte, die Planung der Eisen eingetragen. Pro Tag entstanden am Reißbrett 2 Feldbearbeitungen und wurden uns unmittelbar überbracht. Nun wurde ausschließlich der Entwurf digitalisiert, berechnet und transformiert in 1:1 Koordinaten.

Der Plotter konnte dann seine "full speed" ausfahren, indem er pro Tag ebenfalls 2 Felder 1:1 auszeichnen mußte, d.h. ca. 35 m<sup>2</sup> Pläne anfertigen, wobei jedes Feld in 4 Rahmen à 6 m Länge dargestellt wurde.

Diese 1:1 Schablonen gingen wieder täglich per Kurier zur Stahlfirma, und die Produktion der Fertigteile konnte beginnen. Die Stücke, die dann auf der Baustelle eintrafen, mußten passen und durften mit Toleranzen von  $\pm 5$  mm behaftet sein.

Verlassen wir nun den Nahbereich und betrachten uns noch zwei Beispiele aus der Vogelperspektive, die erst vor einigen Wochen in unserem Hause zum Abschluß gekommen sind.

Bei dem ersten handelt es sich um ein Tagebauprojekt in Kanada am Fuße der Rocky Mountains. Hierbei mußte eine Fläche von über 5000 ha in einigen Wochen numerisch bearbeitet werden. Es handelte sich hierbei um einen photogrammetrischen Block von ca. 50 Modellen und ca. 100 000 Meßpunkten. Diese 100 000 Meßdaten, nach drei verschiedenen Höhengenaugigkeitsstufen gewichtet, bildeten die Grundlage zur Erzeugung des digitalen Oberflächenmodells. Die Oberfläche bildet zu einem späteren Zeitpunkt in der Projektbearbeitung nur eine von über hundert Grenzflächen. Aus den 100 000 Meßdaten wurden außerdem ca. 200 Karten 1:1000, 1:2000, 1:5000 und 1:10 000 gefertigt.

Die Formatierung eines einzelnen Datensatzes ist aus dem nächsten Bild<sup>1)</sup> ersichtlich. Der Code-Katalog ist variabel und wird bei uns jeweils dem Objekt angepaßt. So kann ohne weiteres die Code-Nummer X in Kanada den Biberdamm und im nächsten und letzten Beispiel den Palmenwald bezeichnen.

<sup>1)</sup> hier nicht reproduziert

Bei dieser Arbeit in Nigeria ging es darum, innerhalb kürzester Zeit örtliche Paßpunktbestimmung und Signalisierung, Befliegung, numerische Auswertung, Berechnung eines Blockes von ca. 150 Stereomodellen einschl. der Verarbeitung von ca. 250 000 Meßdaten, Erzeugung des digitalen Geländemodelles und Anfertigung eines Kartenwerkes in den Maßstäben 1:2500, 1:5000 und 1:10 000 für eine Fläche von ca. 19 000 ha durchzuführen.

Als Grundlage für den Block wurden in der Örtlichkeit ca. 40 Lage- und 100 Höhenpaßpunkte in 5 - 6 Wochen signalisiert und bestimmt. Nach erfolgtem Bildflug und Eintreffen des Bildmaterials in Deutschland standen uns für die numerischen Auswertearbeiten einschließlich aller Berechnungen, Erzeugung des digitalen Modells und die Kartenproduktion in den oben bereits angeführten Maßstäben ca. 10 Wochen zur Verfügung.

Die numerische Auswertung, die aus Termingründen zeitweise an 3 Auswertegeräten mit Magnetbandregistrierung ausgeführt wurde, stellte, wie bei anderen Projekten zuvor, hohe Anforderungen an die beteiligten Auswerter. Die im Zusammenhang mit der Digitalisierung anfallenden Kroki müssen bereits aufeinander abgestimmt werden, damit an den Modellrändern keine unterschiedlichen Darstellungen einzelner Auswerter aufeinanderstoßen und außerdem die zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführenden interaktiven Bildschirmarbeiten aufwandmäßig im Rahmen bleiben.

Glücklich ist bei jedem Projekt, so auch in diesem Falle, der Datenverarbeitungssachbearbeiter, wenn er Blockberechnung mit den 1/4 Mio. Meßdaten, und noch unterteilt nach zahlreichen Strukturen, aus dem Großrechner auf Band ausgelagert hat. Alle möglichen Plausibilitätskontrollen helfen in diesem Augenblick mit, die erste geruhsame Nacht zu verbringen.

Bei dem Nigeria-Block erreichten wir beim erflogenen Bildmaßstab 1:10 000 ein Sigmanull für Z in der Blockberechnung von ca. 16 cm. Das aus den 250 000 Daten erzeugte digitale Modell bildet die Basis für die bald beginnenden Planungsarbeiten für eine Stadt von 250 000 Einwohnern in Form von Straßen- und Autobahnplanungen, Be- und Entwässerung sowie Neuparzellierung, das entstehende Kartenwerk dient dabei als Grundlage für die vorab notwendigen graphischen Entwurfsarbeiten.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß bei den vorgenannten Beispielen die Bildschirmkorrekturen, die Erzeugung des digitalen Oberflächenmodells sowie die automatische Kartenherstellung auf der interaktiven graphischen Datenverarbeitungsanlage einer uns befreundeten Ingenieurgesellschaft durchgeführt worden sind.

Meine Damen und Herren, die Kette unterhaltsamer Beispiele ließe sich fortsetzen, jedoch hoffe ich, daß es mir gelungen ist, mit den kurz angerissenen Beispielen Ihnen gezeigt zu haben, daß sich den photogrammetrischen Meßverfahren interessante Anwendungsgebiete auch in anderen Fachbereichen bieten.

Über ein sehr interessantes Projekt im Stahl- und Brückenbau, was an Problemstellungen vieles der bisher durchgeführten Arbeiten in den Schatten stellt, kann heute noch nicht wie vorgesehen gesprochen werden, da es sich zeitlich verschoben hat.

Mit der Hard- und Software bei der Weiterverarbeitung photogrammetrischer Meßaufnahmen kann man heute fast alle Aufgabenstellungen lösen, jedoch der Wunsch an die gerätebauenden Firmen nach einer Universal-Meßkammer für die Industrie möge die zuständigen Herren auf Ihrem Heimweg von Stuttgart in östlicher und südlicher Richtung mit begleiten.

### Zusammenfassung

Die Photogrammetrie als allgemeines physikalisches Meßverfahren kann weit mehr als nur topographische Karten in verschiedenen Maßstäben herstellen, jedoch ist dieses Meßverfahren breiten Kreisen der Industrie nicht oder nur sehr oberflächlich bekannt. Dies gilt insbesondere für die numerische Photogrammetrie. Wir als Photogrammeter und Geodäten sind stets bemüht, bei anderen Fachdisziplinen bezüglich photogrammetrischer Meßverfahren Interesse und Vertrauen zu wecken. An verschiedenen Beispielen soll gezeigt werden, daß dies bereits an einigen Stellen praktiziert wird. Es wird berichtet über Einsatz photogrammetrischer Meßverfahren im Industriebau und über das quantitative und qualitative Leistungspotential der numerischen Photogrammetrie als Grundlage für die Erzeugung digitaler Oberflächenmodelle.

### Abstract

Photogrammetry as a general physical measurement technique has a far greater capability than that of merely producing topographic maps at different scales. However, this measurement technique still is unknown or only superficially known in industrial circles. This is true, above all, for numerical photogrammetry. As photogrammetrists and geodesists it is one of our principal goals to arouse interest and generate confidence in photogrammetric techniques in other technical fields. A number of examples will be given to prove that these techniques are already being used for a number of non-geodetic applications. The paper will discuss the use of photogrammetric methods in industrial construction as well as the quantitative and qualitative potential of numerical photogrammetry as a basis for the generation of digital surface models.

### Résumé

A titre de méthode de mesure physique, la photogrammétrie a des domaines d'application qui dépassent largement la confection de cartes topographiques à différentes échelles. Toutefois, de nombreux secteurs de l'industrie connaissent insuffisamment ou ignorent complètement ses possibilités. Les photogrammètres et les géodésiens s'efforcent sans relâche d'éveiller l'intérêt et la confiance des autres milieux professionnels à l'égard des méthodes de mesure photogramétrique. Plusieurs exemples montrent p. ex. de quelle façon de telles méthodes sont mises en oeuvre pour la construction des bâtiments industriels. Ils précisent en outre le rendement quantitatif et qualitatif de la photogrammétrie numérique pour la production de modèles de surfaces digitaux.

### Resumen

La fotogrametría como método de medición físico, de carácter general, puede hacer mucho más que obtener únicamente mapas topográficos a diferentes escalas, pero este método de medición no es conocido o sólo muy superficialmente por amplios sectores de la industria. Esto vale ante todo para la fotogrametría numérica. Como fotogrametristas y geodestas, siempre nos esforzamos en despertar interés y confianza en los métodos fotogramétricos entre otros sectores de la técnica. Mediante varios ejemplos se mostrará que esto ya se practica en algunas organizaciones. Se informa sobre la aplicación de métodos fotogramétricos en obras industriales, así como sobre el potencial cuantitativo y cualitativo de la fotogrametría numérica como base para generar modelos digitales de superficies.

---

Verm.-Ing. H. Fuchs,  
Rheinische Braunkohlenwerke Aktiengesellschaft  
Stüttgenweg 2, 5 Köln 41