Analytische Photogrammetrie als ein Spezialfall der Ikonometrie

Autor(en): **Schmid, H.H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **81 (1983)**

Heft 9

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-231651

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Analytische Photogrammetrie als ein Spezialfall der Ikonometrie*

H. H. Schmid

Aufgrund einiger wortgeschichtlicher Betrachtungen wird mit dem Ausdruck ‹Ikonometrie› eine Messmethode bezeichnet, die sich zur Lösung von messtechnischen Problemen vornehmlich der Abbildungen des zu vermessenden Objekts bedient. Der dafür im deutschen Sprachraum gebräuchliche Ausdruck ‹Bildmessung› soll sich aber nicht von vornherein auf die Auswertung zentralperspektivischer Photographien beschränken, sondern ganz allgemein Abbildungen in Betracht ziehen, deren Entstehungsvorgang lediglich der Einschränkung unterliegt, dass der zum Bild führende Prozess ein mit algebraischen Mitteln formulierbarer physikalischer Vorgang ist.
So betrachtet, kommt man kaum um die Forderung herum, auch die sich auf heutige Technologie stützende photogrammetrische Auswertung gedanklich auf generelle Prinzipien aufzubauen, die ihrerseits auch als Grundlage für die Auswertung im Sinne der Ikonometrie dienen können.
Einige solche allgemein gültigen Auswertegedanken werden erwähnt und an Beispielen aus der Photogrammetrie vorgeführt, wobei sich deren Inhalt sowohl auf den Begriff der eindeutigen Lösung als auch auf die Behandlung von überschüssiger Information bezieht.
Abschliessend werden einige Gedanken geäussert, die aufgrund der heute sich abzeichnenden Entwicklung zum ‹computergestützten Messverfahren›, im Gebiet von Lehre und Forschung nicht unbeachtet bleiben sollten.

Au sens étymologique, le terme ‹iconométrie› désigne une méthode qui utilise essentiellement l'image d'un objet à mesurer pour résoudre un problème de métrologie.
Le mot ‹Bildmessung› couramment utilisé en allemand ne doit donc pas être limité à l'exploitation des perspectives centrales que sont les photographies, mais englober aussi le traitement d'images au sens le plus large du terme; la seule limitation vient du fait que le processus de génération de l'image (opération physique) puisse être exprimé par une formulation algébrique.
Sur cette base, on peut également formuler les exigences de la restitution photogrammétrique basée sur les technologies actuelles en termes de principes généraux qui pourront servir à une exploitation au sens de l'‹iconométrie›.
Quelques concepts généraux de restitution sont cités et présentés à l'aide d'exemples tirés de la photogrammétrie en se référant aussi bien à la notion de solution unique qu'au traitement d'informations surabondantes.
Au vu de l'évolution qui se développe vers des méthodes de mesures assistées par ordinateur, il est souhaitable que les réflexions exprimées en guise de conclusion ne soient pas ignorées dans l'enseignement et la recherche.

Unter dem Wort ‹Ikone› findet man z. B. im Readers Digest Universallexikon, dass dieser Begriff dem griechischen Ausdruck für ‹Bild› entspricht (eikon = das Ebenbild). Das Wort wird heute vornehmlich gebraucht für ein Tafelbild in der griechisch-orthodoxen Kirche, nämlich eine auf Holz gemalte, auch geschnitzte Darstellung von heiligen und biblischen Geschehnissen. Solche Ikonen geniessen als Andachtsbilder grosse Verehrung Es handelt sich dabei ursprünglich um dogmatisch gebundene Bilder aus dem syrisch-palästinischen Raum, die somit auf spätantike Kunst zurückführen. Eine Entfaltung der Ikonen fand im 6. Jahrhundert statt und erreichte in Russland im 14. und 15. Jahrhundert einen Höhepunkt. Die Darstellungsweise blieb jedoch bei der unplastischen, linearen Form der Ikonostasis, womit eine durch Türen unterbrochene mit Bildern verzierte Trennwand bezeichnet wird, die im Mittelalter in der griechisch-orthodoxen Kirche entstand.
Verwandt mit dem Begriff der Ikone ist der Ausdruck Ikonographie, auch ein aus dem Griechischen kommendes Wort, das für ‹Bildbeschreibung› in der Kunstgeschichte angewendet wird, d. h. also in der Wissenschaft, die sich mit den Bildinhalten und deren Bedeutung beschäftigt. Oberst Laussedat, den wir ja als eigentlichen Vater der Photogrammetrie anzusehen haben, gebrauchte für sein Verfahren zunächst den Ausdruck ‹Iconométrie›, und schliesslich bleibt bei diesen einleitenden Sätzen vielleicht erwähnenswert, dass die erste moderne Fernsehaufnahmeröhre, die 1923 patentiert und 1933 produziert wurde, den Namen Ikonoskop trägt.
Für unsere Betrachtung ist sicherlich auch interessant, dass Oberst Laussedat sein Bildmessverfahren umbenannte und den Ausdruck ‹Iconométrie› durch das Wort Métrophotographie ersetzte.
In Hinsicht auf diese wortgeschichtlichen Begriffe kann man also mit ‹Ikonometrie› ganz allgemein diejenige Aktivität bezeichnen, die zur Lösung von metrischen Problemen sich zumindest teilweise der Bilder bzw. der Abbildungen der zu vermessenden Objekte bedient. Somit wäre der im deutschen Sprachraum heute mehr denn je benutzte Ausdruck ‹Bildmessung› recht zutreffend, vorausgesetzt, man interpretiert das Wort ‹Bild› von vornherein nicht beschränkt im Sinne einer zentralperspektivischen Photographie, sondern ganz allgemein als Abbild, wobei man sich als wesentlichstes Merkmal bewusst von einem spezifischen Abbildungsvorgang freimacht. Dabei wollen wir uns jedoch eine im messtechnischen Sinne wohl unvermeidbare Einschränkung auferlegen, derart, dass der zum Bild führende Abbildungsprozess ein mit algebraischen Mitteln formulierbarer physikalischer Vorgang ist.
Unter einer solchen Vorstellung reiht sich natürlich auch die herkömmliche Photogrammetrie ein. Darunter finden aber auch alle jene nicht-klassischen Abbildungsverfahren ihren Platz, die gewisse messtechnischen Anforderungen erfüllen und welche durch moderne Technologie praktisch möglich geworden sind.
Wie so oft wurde auch diese Entwicklung zunächst aus militärischen Interessen gefördert. Mit der Möglichkeit von Aufnahmen aus Satelliten ergab sich der Wunsch, den unvermeidbar kleinen Massstabsfaktor, wie er bei der Verwendung der üblichen Bildmesskammer entstand, zu vergrössern, ohne die für die räumliche Triangulation notwen-

*Vortrag am Geodätischen Kolloquium der geodätischen Lehrstühle der Technischen Universität München und des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Landesverein Bayern e. V., 9. Juni 1983.

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich
Separata Nr. 55

dige Weitwinkligkeit der Aufnahmefiguration zu verlieren. Die Antwort wurde in Ergänzung zur als annähernd statisch funktionierenden sog. Rahmenkammer in der dynamisch arbeitenden panoramischen Kamera gefunden, deren Arbeitsweise bedingt, dass das resultierende Abbild sich aus einzelnen, genügend genau als zentralperspektivisch entstandenen Bildstreifen quer zur Flugrichtung zusammensetzt. Dabei treten den einzelnen Bildstreifen zugeordnete Gruppen von äusseren Orientierungselementen auf, die als Funktion der Zeit von dem Bewegungsablauf des Kameraträgers während der Belichtung einer panoramischen Aufnahme abhängen. Für die zivile Gemeinschaft wurde das Potential dieser Methode mit Apollo 17 demonstriert, hat aber wohl wegen des USA-innenpolitisch bedingten Ausfalls der geplanten Mondflüge 18 bis 20 in photogrammetrischen Kreisen nicht die ihr gebührende Beachtung gefunden.

Aus militärischen Erwägungen geförderte Aktivitäten leiden bisweilen sehr stark an Geheimhaltungsvorschriften. Allein damit ist meiner Meinung nach die Tatsache zu erklären, dass der NASA nunmehr über mehrere Dekaden hinweg die Anwendung einer optimalen photogrammetrischen Technik versagt blieb und auch heute unter der Initiative der europäischen Space Agency sowie im Shuttle-Programm die Verwirklichung optimaler photogrammetrischer Prinzipien nicht gerade auf einem sehr hoffnungsvollen Wege ist. So wird z. B. kein Wort von einer Panoramic-Camera gesprochen.

Selten sind Nachteile nur nachteilig. – Dies gilt auch in diesem Falle: Die NASA vermochte die ihr bei den Aufnahmen von Raumbildern auferlegte Beschränkung im Sinne von Auflösung und geometrischer Genauigkeit durch die Entwicklung von Systemen mit gesteigerter Informationsfülle zu kompensieren. Damit wurde das Tor zum Gebiet des ‹remote Sensing› geöffnet. Wie der verdeutschende Ausdruck ‹Fernerkundung› verdeutlicht, handelt es sich dabei um Abbilder, bei deren Auswertung nicht nötigerweise die Metrik im Vordergrund steht. Bisherige Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass der metrische Aspekt umso bedeutungsvoller wird, je erfolgreicher das Interpretationsproblem bei der Auswertung des Fernerkundungsproduktes gelingt. Die Annahmme erscheint also gerechtfertigt, dass in nicht zu ferner Zukunft die neuen Aufnahmegeräte ihre Fähigkeit der spezifischen Parameterwiedergabe mit einer algebraisch erfassbaren Anordnung ihrer Informationseinheiten vereinen werden. In anderen Worten: Das aufgrund der Sensorfähigkeit wiedergegebene Informationsdetail wird als Ortsfunktion, d. h. in bezug auf seine metrisch interpretierbaren Bildkoordinaten zur Verfügung stehen und die Möglichkeit eröffnen, eine Beziehung zwischen diesen und dem entsprechenden Ort am abgebildeten Objekt in bezug auf ein übergeordnetes Koordinatensystem algebraisch zu formulieren.

Bekannt ist diese sich z. Z. entwickelnde Technologie von der ursprünglichen ‹return beam vidicon camera›, die zu Beginn der siebziger Jahre vom US Geologic Survey im EROS-Programm erstmals im ERTS-1- bzw. im Landsat-1-Flug angewendet wurde, bis zum heutigen Stand, der in dem vor etwa Jahresfrist von Herrn Schröder vorgelegten Artikel über den Stand der Entwicklungen von Erderkundungssatelliten und Shuttle-System vorgestellt wurde. Ausser multispektral bzw. optoelektronischen Scannern und den Thermal Mappern sind es vor allem Abbildungen erzeugende Radarsysteme, die hier als Information sammelnde, also Abbildungen liefernde Systeme zu nennen sind.

Damit möchte ich zum Ausdruck bringen, dass die Zeit sich nähert, wo nicht nur Photographien, d. h. angenäherte Zentralperspektiven, sondern auch Abbildungen, deren physikalische Entstehungsgesetze mit nicht zentralperspektiven Transformationen simuliert werden müssen, sich zur exakten Vermessung eines abgebildeten Gegenstandes anbieten werden. Das heisst aber nichts anderes, als dass bei gleichbleibender Zielfunktion – nämlich Vermessung des abgebildeten Objektes – verschiedenartige Abbildungstechnologien zum Einsatz kommen werden und die Auswertung derartiger Bilder nach möglichst generell anwendbaren Gesichtspunkten geschehen sollte, um im besonderen das Endresultat als eine Kombination der Beiträge einzelner Datenquellen zu ermöglichen, von denen jede einzelne gewisse metrische Information liefert.

Sind diese Informationsquellen vornehmlich Abbildungen, könnte man dann dieses Messverfahren mit dem Namen Ikonometrie bezeichnen und die heutige Photogrammetrie als einen Spezialfall dieser Ikonometrie ansehen.

So betrachtet, kommt man kaum um die Forderung herum, dass man die sich auf heutige Technologie stützende photogrammetrische Auswertung gedanklich auf generelle Prinzipien aufbauen sollte, die ihrerseits auch als Grundlagen zur Auswertung im Sinne der Ikonometrie dienen können.

Zunächst sollte man sich mit der Tatsache abfinden, dass eine sich auf einen übergeordneten Koordinatenrahmen beziehende Vermessung unter keinen Umständen allein aus der metrischen Information von Abbildungen ausgeführt werden kann, solange derartige Bilder invariant in bezug auf ein solches Bezugssystem sind. Immer wird man den aus dieser Tatsache resultierenden Systemdefekt durch die Vorgabe von entsprechender, von aussen einzuführender Stützinformation beseitigen müssen. Diese Sachlage gilt sowohl für die als Messdaten anfallenden Bildkoordinaten der klassischen Photographie als auch im Zusammenhang mit den vorerwähnten Abbildungen unorthodoxer Aufnahmeverfahren. Diese aus informationstechnischen Betrachtungen herrührende Situation ändert sich natürlich auch nicht, wenn überschüssige Information selbst aus verschiedenartigen Abbildungssystemen zur Verfügung steht.

Vielleicht nicht ganz so fundamental wie die Frage nach dem Systemdefekt ist die Bedeutung des Potentials des elektronischen Rechners. Als numerisches Hilfsmittel oder als digital arbeitendes Steuerglied ist diese Technologie jedoch heute selbst auf dem Gebiet der klassischen Bildmessung zusammenfassend als ‹computergestützte Photogrammetrie› bezeichnet, anerkannt und für die Zukunft richtungsweisend. Je komplexer der Abbildungsvorgang, umso mehr dürfte die digitale Methodik eine Voraussetzung für die Auswertung sein. Will man die heute wohl hinreichend bekannten Einschränkungen und Nachteile der photogrammetrischen Analogauswertung, die sowohl methodisch als auch ökonomisch sind, umgehen, bleibt zur Zeit nur der gezielte Einsatz der elektronischen Rechentechnik – eingeschlossen die Echtzeitkapazität – übrig. Als Baustein eines generellen Bildauswertesystems benötigt man also die digitale Technik.

Um klarzustellen: Die digitale Bildverarbeitung ist in der hier behandelten Darstellung nur eine mögliche und zur Zeit wohl in ihrer Bedeutung für die Auswertung noch nicht für die Praxis reife Entwicklung – steht aber vom Grundsätzlichen her in keinem Widerspruch zu dem bisher Gesagten, da einmal diese Methodik sich euklidischen Gegebenheiten nicht entziehen kann, zum anderen in ihrer Arbeitsweise ganz und gar typisch vom elektronischen Rechenpotential abhängig ist.

Diese Bemerkungen gelten auch sinngemäss für die digitale Bildkorrelationstechnik, die sich ja vom Prinzip her in die Problematik der digitalen Bildauswertung einfügt.

Um dem Problem der generellen Grundsätze näher zu kommen, kehren wir zunächst zum eingangs erwähnten Systemdefekt zurück. Aus der unumgänglich nötigen Defektbeseitigung ergibt sich die Forderung nach einem universellen mathematischen Modell, d. h. einer algebraischen Darstellung des Auswerteproblems einer spezifischen Messmethode, in der möglichst

alle überhaupt sich nötig machenden Parameter vorkommen. Damit soll gesagt werden, dass beim Aufstellen des mathematischen Modells tunlichst *keine* – aus welchen Gründen auch immer – algebraische Eliminierung von Systemparametern ausgeführt werden sollte, um eben die Defektbeseitigungsmöglichkeit so uneingeschränkt wie möglich vornehmen zu können.
Als Beispiel möchte ich die Methode der photogrammetrischen Analog-Auswertung versus Digital-Auswertung nennen. Die Eliminierung der Objektkoordinaten im mathematischen Modell der Analog-Methode führt bekanntlich zur Koplanaritätsbedingung. Diese ermöglicht den Einsatz der bekannten Technik mit Hilfe mechanisch-optisch arbeitender Auswertegeräte, welche die räumliche Triangulation auf Grund der Schnittbedingung homologer Strahlen ausführen. Dabei ist die für *jede* Lösung, also auch für die Ausführung der sog. relativen Orientierung notwendige Defektbeseitigung nicht mehr in bezug auf das Objekt möglich, da die Objektpunktkoordinaten und damit auch die entsprechenden Koordinaten der Strahlenschnittpunkte, wie erwähnt, bei der Aufstellung des entsprechenden mathematischen Modells in Form der Koplanaritätsbedingung a priori algebraisch eliminiert wurden und damit für eine direkte Defektbeseitigung nicht mehr zugänglich sind. Nur die verbleibenden Systemparameter – im Grunde genommen die Elemente der äusseren Orientierung – stehen für die Defektbeseitigung zur Verfügung – eine Tatsache, die im zwangsläufig einzuführenden Maschinenkoordinatensystem zum Ausdruck kommt und als Folge zur Tatsache führt, dass das Ergebnis der Auswertung, d. h. also das Objektmodell, zunächst nur in bezug auf das zur Defektbeseitigung eingeführte Bezugssystem, also auf das Maschinenkoordinatensystem, erhalten wird. Der Übergang zum übergeordneten Objektkoordinatensystem, auf das sich ja schlussendlich das Resultat der Vermessung zu beziehen hat, erfordert eine Weiterbehandlung der zunächst erhaltenen Lösung, in diesem Fall durch eine Koordinatentransformation vom Maschinenkoordinatenbezogenen Resultat auf den der Vermessung zu Grunde liegenden Bezugsrahmen, einschliesslich einer Massstabsanpassung; ein Vorgang, der in der Photogrammetrie die sog. Absolut-Orientierung heisst. Im Gegensatz dazu: Die digitale Behandlung der photogrammetrischen Triangulation beruht auf der verallgemeinerten Form der Kolinearitätsbedingung, die sich auf die Geometrie eines einzelnen Sehstrahles im Aufnahmebündel bezieht. Unter den spezifischen Verhältnissen der klassischen Photogrammetrie führt die Summe der einzelnen Strahlen zum Aufnahmebündel gemäss dem Prinzip der Zentralperspektive.
Bezeichnen wir ganz allgemein das mathematische Modell mit $\mathbf{F}(\mathbf{y}) = \mathbf{0}$, so treten im Vektor der Systemparameter $\mathbf{y}$ die folgenden Grössen auf:

$\mathbf{y}^T =$	$(x_o y_o c$	$X_o Y_o Z_o\ \omega\ \varphi\ \kappa$	$X_i Y_i Z_i$	$x_i y_i o$	$\lambda_i)$
	Elemente der inneren Orientierung	Elemente der äusseren Orientierung	Koordinaten eines spezifischen Objektpunktes ‹i›	Bildkoordinaten für die Abbildung eines Objektpunktes ‹i›	ein Massstabsfaktor zugeordnet jedem Abbildungsstrahl ‹i›
	$\mathbf{0}_i$	$\mathbf{0}_{äu}$	$\mathbf{X}_i$	$\mathbf{x}_i$	

Für den einzelnen Abbildungsstrahl ergeben sich drei unabhängige Bestimmungsgleichungen, die bekanntlich die Form haben:

$$\begin{vmatrix} x_i \\ y_i \\ 0 \end{vmatrix} = \mathbf{D} \begin{vmatrix} X_i - X_o \\ Y_i - Y_o \\ Z_i - Z_o \end{vmatrix} \quad \begin{matrix} -1 \\ \lambda_i \end{matrix} + \begin{vmatrix} x_o \\ y_o \\ c \end{vmatrix}$$

wobei für die Drehmatrix gilt:

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{vmatrix} \quad \text{mit } r_{ij} = F_{ij}\,(\omega\ \varphi\ \kappa)$$

Es geht mir hier nicht um die Darstellung der nun über zwanzig Jahre bekannten Kolinearitätsbedingung, den Baustein des heute in der Praxis als Bündelmethode bezeichneten Auswerteverfahrens. Ich möchte jedoch demonstrieren, dass für die natürlich auch hier notwendige Defektbeseitigung alle in einer zentralperspektivisch konzipierten photogrammetrischen Triangulation auftretenden Systemparameter zur Verfügung stehen, u. a. auch die $(X\ Y\ Z)_i$-Koordinaten aller auftretenden Objektpunkte. Und somit kann die Defektbeseitigung sofort in bezug auf einen übergeordneten Bezugsrahmen ausgeführt werden, indem z. B. dazu eine Gruppe der sich auf ein solches Koordinatensystem beziehenden vorgegebenen Passpunktkoordinaten verwendet wird. Dadurch wird natürlich auch das Resultat der Datenauswertung in einer Einschrittmethode in bezug auf den übergeordneten Bezugsrahmen erhalten. Von Interesse mag der Hinweis sein, dass damit auch, unabhängig von den Bildkoordinaten, vorliegende Messgrössen, wie z. B. die Massstabsfaktoren λ_i, wie sie im photogrammetrischen Mondvermessungsprogramm des Apollo-17-Fluges durch Laserentfernungsmessungen erhalten wurden, im Sinne einer – hier allerdings überbestimmten – Defektbeseitigung für die Massstabsbestimmung ohne Schwierigkeit eingeführt werden konnten.

Aus diesen Betrachtungen kann man einige Schlüsse ziehen, die sich in ihrer Bedeutung nicht auf die Auswertung der klassischen, d. h. zentralperspektivischen Photogrammetrie beschränken, sondern auch auf die allgemeine Problematik der Auswertung von Abbildungen im Sinne der Ikonometrie Anwendung finden können.
Einmal sollte man im Hinblick auf den Einsatz des Computers, also digitaler Technik im Auswerteprozess, das der Auswertung zu Grunde liegende mathematische Modell möglichst einfach gestalten, d. h. man sollte die algebraische Simulierung des denkbar einfachsten Bausteines einer spezifischen Messanordnung anstreben. Die optimale Anwendung des Computers ergibt sich bekanntlich dann, wenn die Gesamtheit der auszuführenden Rechenoperationen möglichst einfach bleibt, während die Anzahl der in einem Lösungsalgorithmus auszuführenden Wiederholungen eines spezifischen Rechenvorgangs recht gross sein darf.
Auf der anderen Seite sollte man das Streben nach Einfachheit im mathematischen Modell *nicht* mit minimaler Anzahl der im Modell auftretenden Parameter zu erreichen suchen. Im Gegenteil, im mathematischen Modell eines Auswertealgorithmus sollten, qualitativ gesprochen, möglichst alle grundsätzlich vorkommenden Parameter der unter Betracht stehenden Messmethode auftreten, um die Defektbeseitigung des Systems so universell als möglich vornehmen zu können. Die zweifellos wünschenswerte Reduzierung der Anzahl der zu bestimmenden Grössen, d. h. die Verkleinerung des schlussendlich zu invertierenden Gleichungs- d. h. meistens Normalgleichungssystems, sollte man *nach* der Defektbeseitigung im Einklang mit der Form des zu invertierenden Gleichungssystems durch *numerische* Elimination von geeignet erscheinenden Parametergruppen vornehmen.
Insoweit, als keine zusätzlichen Messungen zwischen den abgebildeten Objektpunkten auftreten, dürfte auch bei der Auswertung von Abbildungen im Sinne der Ikonometrie die die Auswertung der klassischen photogrammetrischen Triangulation kennzeichnende

Situation bestehen, die erlaubt, entweder die Gruppe der sog. Orientierungsparameter oder die Gruppe der aufgenommenen Objektpunkte durch numerische Elimination zunächst aus dem primären Inversionsprozess auszuschalten. Wenn nötig, werden die eliminierten Grössen danach berechnet.

Ehe wir uns in genereller Hinsicht mit dem Problem der stochastischen Datenverarbeitung, auch in bezug der überbestimmten Defektbeseitigung, beschäftigen, wollen wir zunächst eine allgemein anwendbare Methodik betrachten, die gestattet, sich Information über grundsätzlich mögliche Triangulationsfigurationen zu beschaffen, d. h. also in bezug auf den geometrischen Aufbau von verschiedenartigen eindeutigen Lösungen.

Es ist ja wohl bekannt, dass ein lineares Gleichungssystem mit u-Unbekannten einer Lösung zugeführt werden kann, wenn u-unabhängige Bestimmungsgleichungen vorhanden sind, deren Koeffizientendeterminante verschieden von Null ist, d. h. also keine die Lösung verunmöglichende Geometrie in Form einer gefährlichen Fläche bzw. eines gefährlichen Raumes vorliegt.

Auf dieser Grundlage kann man sich eine Vorstellung über die in einer Messmethode möglichen Lösungsvarianten verschaffen.

Eine derartige Zusammenstellung erhält man, wenn man sich einerseits einen Ausdruck für die Anzahl der in einer Triangulation vorkommenden Systemparameter bildet. Nach dem Abzug des Ranges des der Messmethode eigenen Systemdefektes erhält man die Anzahl der im Lösungsalgorithmus auftretenden unabhängigen freien Variablen, also Unbekannten.

Andererseits stellt man einen Ausdruck auf, der im Einklang mit dem algebraischen Aufbau des der Messmethode zu Grunde liegenden mathematischen Modells die Anzahl der unabhängigen Bestimmungsgleichungen angibt.

Eindeutige Lösungen sind nun dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Bestimmungsgleichungen gleich sein muss der Anzahl der Unbekannten. Aus dieser notwendigen Balance zwischen Informationsanforderung (Anzahl der u-Grössen) und Informationsangebot (Anzahl der Bestimmungsgleichungen) erhält man einen Ausdruck, den man nach der grundsätzlichen Möglichkeit des Bestehens von eindeutigen Lösungen analysieren kann.

Dieser Gedanke soll an den Lösungsvarianten der photogrammetrischen Triangulationsmethode demonstriert werden.

Eine sich auf den geometrischen Inhalt von Abbildungen stützende räumliche Triangulation kann man sich mit folgendem Schema vorstellen:

Raum, in dem m-Abbildungen des Objektes aufgenommen wurden

Raum, in dem n-Objektpunkte aus den m-Abbildungen bestimmt werden sollen

Der Pfeil deutet an, dass der grundsätzliche Informationsfluss aus dem Abbildungsraum kommend zum Objektraum führt.

Wir wollen annehmen, dass keine zusätzlichen Messungen zwischen den die m-Abbildungen beschreibenden Parameter ausgeführt wurden. Auch soll angenommen werden, dass keine Messungen zwischen den n-Objektpunkten bestehen.

Im Anklang an die vorher erwähnte Form des mathematischen Modells $\mathbf{F(y) = 0}$ können wir für die Kolinearitätsbedingung den Parametervektor $\mathbf{y}$

aufspalten als $\mathbf{y}^T = (\mathbf{0}^T\mathbf{X}_i^T\mathbf{x}_i^T\lambda_i)$, wobei

- $\mathbf{0}$ ein Vektor aller den orientierten Strahl beschreibenden Grössen ist
- $\mathbf{X}_i$ ein Vektor ist, der sich auf die räumliche Lage eines Objektpunktes im übergeordneten Koordinatensystem bezieht
- $\mathbf{x}_i$ ein Vektor ist, der die einem Objektpunkt i entsprechenden dreidimensionalen Bildkoordinaten enthält und
- λ_i ein einem spezifischen Abbildungsstrahl zugeordneter Massstabsfaktor ist.

Damit treten im Triangulationsmodell an Parametern ohne die Messgrössen auf:

$p = Om + 3n + s$, wobei s = Anzahl der im System vorkommenden Strahlen ist.

Da der Defekt (D) eines sich auf unorientierte räumliche Richtungen beziehenden Triangulationssystems den Rang ‹sieben› hat, ergibt sich für die Anzahl der Unbekannten u

$u = p - D = p - 7 = Om + 3n + s - 7$

Für jeden Aufnahmestrahl haben wir, wie gezeigt, im allgemeinen Fall ‹drei› Bestimmungsgleichungen (B), deren Gesamtzahl sich somit ergibt zu:

$B = 3s$

Da aber wegen der erwünschten Allgemeinheit des Ansatzes nicht angenommen werden kann, dass alle n-Punkte auf allen m-Bildern erscheinen, muss zwischen verschiedenen Punkttypen unterschieden werden.

Bezeichnet man mit t die Anzahl der verschiedenen Punkttypen und drückt mit den diesen Grössen zugeschriebenen Indizes die Anzahl der Strahlen aus, die sich in einem unter Betracht stehenden Punkt schneiden, ist:

$n = (t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_{m-1} + t_m)$

Daraus ergibt sich sofort die Anzahl der Strahlen, die sich in den einzelnen Punkten vereinigen und deren Gesamtanzahl s mit folgendem Ausdruck angebbar ist

$s = (t_1 + 2t_2 + 3t_3 + \ldots + (m-1)t_{m-1} + mt_m)$

m	t_2	t_3	t_4	$n = \Sigma t_i$	Om – 7 Bedingung der Informationsbalance	u Anzahl der Unbekannten	Bemerkungen
2	5	–	–	[5]	5	30	klassische Zweibildtriangulation
3	11	0	–	11	11	66	Albertzsche Lösung klassische Streifentriangulation
	8	1	–	9		57	
	5	2	–	7		48	
	2	3	–	[5]		39	
4	17	0	0	17	17	102	
	14	1	0	15		93	
	11	2	0	13		84	
	8	3	0	11		75	
	5	4	0	9		66	
	2	5	0	7		57	
	12	0	1	13	17	84	
	9	1	1	11		75	
	6	2	1	9		66	
	3	3	1	7		57	
	0	4	1	[5]		48	
	7	0	2	9	17	66	
	4	1	2	7		57	
	1	2	2	[5]		48	
	2	0	3	[5]		48	

Als Gleichung für die Informationsbalance erhält man nun: $u = B$

oder $Om + 3n + s - 7 = 3s$
oder $Om - 7 = 2s - 3n$

und mit $(2s - 3n) = [-t_1 + t_2 + 3t_3 + \ldots + (2m - 5)t_{m-1} + (2m - 3)t_m]$

die Bedingung für eine eindeutige Lösung:

$Om - 7 = [-t_1 + t_2 + 3t_3 + \ldots + (2m - 5)t_{m-1} + (2m - 3)t_m]$

Stellen wir auf Grund dieser Beziehung eine Analyse für die typischen Fälle der heutigen praktischen Photogrammetrie auf, mit der Annahme x_0 y_0 c vorgegeben, also $O = 6$ und Defekt $= 7$ mit $t_1 = O$

Die Liste enthält insofern interessante Information, als sich ergibt, dass die Anzahl der möglichen eindeutigen Triangulationsfigurationen mit der Anzahl der das Objekt erfassenden Abbildungen rasch anwächst. Von Beachtung ist ferner, dass es für jeden Fall $m \geqq 2$ Lösungen gibt, die nur paarweise Strahlenschritte verlangen, allerdings auf Kosten des Anwachsens der auftretenden Anzahl von Unbekannten, d. h. auf Kosten der für die eindeutige Lösung aufzubringenden Arbeitsleistung. Ebenso interessant ist, dass es zumindest für alle betrachteten Fälle eindeutige Triangulationslösungen gibt, die nur Strahlenschnitte in bezug auf 5 Objektpunkte benötigen. Zweifellos gelten diese Erkenntnisse auch für den allgemeinen m-Bild-Fall und sollten damit Anregung geben, die Probleme, wie geometrische Strenge, d. h. innere Genauigkeit des triangulierten Punkthaufens versus Arbeitsaufwand, zu studieren. Ebenso interessant dürfte die quantitative Analyse der entsprechenden **Q**-Matrizen sein, eingeschlossen die geometrisch fundierte Erklärung der den einzelnen Lösungen zugeordneten sog. gefährlichen Räume. Vielleicht ist die Hoffnung nicht zu weit gespannt, dass derartig generelle Betrachtungen, wie sie sich auf Grund der Informationsbalance ergeben, auch für die Beurteilung der Verwendbarkeit von unorthodoxen Aufnahmemethoden von Interesse sind.

Ein weiteres, meiner Meinung nach möglichst generell anzufassendes Problem bezieht sich auf die Behandlung von überschüssig auftretender Information, d. h. also jene Problematik, die sich auf das stochastische Modell bezieht. Dabei ergeben sich in steigender Komplexität angeordnet zunächst die Aufgabe der Behandlung von überzähligen Bestimmungsgleichungen, wie sie sich aus spezifischen Messverfahren ableiten lassen. Diese Aufgabe ist im allgemeinen trivial und führt zu einem meist singulären Normalgleichungssystem, dessen Inhalt sich qualitativ und quantitativ im Sinne des freien Netzes auf die innere Geometrie der Triangulationsfiguration bezieht. Das Überkommen der Singularität dieses Systems, das wir eingangs als Beseitigung des Systemdefektes betrachtet hatten, und – grundsätzlich gesprochen – in den hier zur Diskussion stehenden Fällen nicht anders als die Lagerung des freien Netzes gegenüber einem übergeordneten Bezugsrahmen darstellt, kann natürlich auch auf Grund von überschüssiger Stützinformation erfolgen. Diese Stützinformation hat von Haus aus den Charakter von Zufallsvariablen und muss deshalb mit Varianz – Kovarianzen eingeführt werden, die in bezug auf die der Gesamtauswertung zugeordneten Einheit der Genauigkeit normalisiert sind. Eine derartige Lagerung kann bekanntlich auf zwei Arten erfolgen. Einmal kann die Endlösung als ein gewichtetes Mittel zwischen der Geometrie des freien Netzes und der Geometrie der zur Verfügung gestellten Stützinformation interpretiert werden, im anderen Fall wird die Geometrie des freien Netzes unverändert gelassen und nur in bezug auf ein a priori aufgestelltes Kriterium gegenüber der Stützinformation plaziert, z. B. auf Grund der Forderung, die verbleibenden Spannungsvektoren in bezug auf die gewichtete Summe ihrer Quadrate zu minimalisieren, d. h. die Lagerung wird im Sinne einer Anfelderung ausgeführt.

Verwandt mit der Aufgabe der Defektbeseitigung ist in einer allgemeinen Lösung das Problem zusätzlicher Bedingungsgleichungen, wie solche zwischen gewissen Systemparametern bestehen können. Nur in Ausnahmefällen drücken derartige Bedingungen fehlerfreie Beziehungen aus. In der Regel muss eine Bedingungsgleichung zwischen gewissen Systemparametern, also Zufallsvariablen, als eine verbesserungswürdige Aussage betrachtet werden, d. h. die Aussage der Bedingungsgleichung ist selbst wie eine Zufallsvariable zu behandeln. Im einfachsten Fall bezieht sich eine solche Bedingungsgleichung direkt auf einen spezifischen Systemparameter, womit das Problem mit der Aufgabe der Defektbeseitigung verschmilzt.

Die allgemeine Problematik wird erfasst, wenn man die zusätzlich vorhandene Information in bezug auf die im mathematischen Modell einer spezifischen Messanordnung auftretenden Parameter (p) in die Form $\mathbf{Cp} = \mathbf{O}$ bringt bzw. nach der Linearisierung dieser Bedingungsgleichungen in der Form $\mathbf{C\Delta} = \mathbf{w}_c$ der Lösung zur Verfügung stellt. Dabei ist diesen Gleichungen die Kovarianzmatrix σ_c zuzuordnen. Die Gesamtlösung eines so allgemein konzeptierten Systems ist dann sehr einfach. Bezeichnet man das aus den Bestimmungsgleichungen einer oder mehrerer spezifischer Messanordnungen resultierende Normalgleichungssystem für die Parameterverbesserungen Δ mit $\mathbf{N_\Delta \Delta} = \mathbf{w^*}$, so entspricht dieses Gleichungssystem im Sinne der vorerwähnten Logik dem Begriffe des freien Netzes und ist im allgemeinen singulär. Die Singularität wird nun beseitigt durch das Hinzufügen zusätzlicher Information, die, allgemein ausgedrückt, sich durch entsprechende Bedingungsgleichungen, wie sie in bezug auf die Δ-Parameter des $\mathbf{N_\Delta}$-Systems bestehen, formulieren lässt. Die Form der Endlösung wird dann mit der erwähnten Notation dadurch erhalten, dass das singuläre $\mathbf{N_\Delta \Delta} = \mathbf{w^*}$-System mit den Bedingungsgleichungen $\mathbf{C\Delta} = \mathbf{w}_c$ unter Berücksichtigung der σ_c-Matrix geändert wird. Somit erhält man:

$$\begin{vmatrix} \mathbf{N_\Delta}\ \mathbf{C}^T \\ \mathbf{C} - \sigma_c \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \Delta \\ k_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{w^*} \\ \mathbf{w}_c \end{vmatrix}$$

und nach algebraischer Eliminierung des Korrelatenvektors k_c das zu invertierende endgültige Normalgleichungssystem:

$$(\mathbf{N_\Delta} + \mathbf{C}^T\bar{\sigma}_c^1\,\mathbf{C})\,\Delta = (\mathbf{w^*} + \mathbf{C}^T\bar{\sigma}_c^1\mathbf{w}_c) \text{ oder}$$

$$\Delta = (\mathbf{N_\Delta} + \mathbf{C}^T\bar{\sigma}_c^1\mathbf{C})^{-1}\,(\mathbf{w^*} + \mathbf{C}^T\bar{\sigma}_c^1\mathbf{w}_c)$$

wobei die invertierte Matrix

$(\mathbf{N_\Delta} + \mathbf{C}^T\bar{\sigma}_c^1\mathbf{C})^{-1}$ die $\mathbf{Q_{\Delta\Delta}}$ darstellt.

Ergänzend könnte man noch eine Speziallösung erwähnen, die im Hinblick auf die heutige Entwicklungstendenz von vielseitigen Datenerfassungssystemen wesentliche Bedeutung hat. Man möchte nämlich wegen mangelnder praktischer Erfahrung, vor allem bei neuen unorthodoxen Messmethoden, quantitative Angaben über die innere Genauigkeit derartiger Messsysteme erhalten. Derartige Information entspricht den Resultaten, die klassisch durch eine bedingte Ausgleichung einer spezifischen Datenmenge berechnet wurden. Mit der vorher in ihren Grundzügen vorgetragenen Ausgleichsmethodik wird ein solches Resultat erhalten, wenn man die durch Ränderung eingeführte zusätzliche Information auf die Systemdefektbeseitigung, d. h. auf die eindeutige Lagerung beschränkt. Damit wird beim Vorgang der Beseitigung der Singularität des $\mathbf{N_\Delta}$-Systems keine zusätzliche Spannung in die innere Systemgeometrie gebracht, und die statistischen Angaben, vor allem die Verbesserungen an den Messwerten, werden als rein messsystembedingte Grössen erhalten.

Abhängig ist diese hier vorgestellte numerische Auswertetechnik bekanntlich von der Bereitstellung von guten Annäherungswerten. Diese Forderung

wird bei der Auswertung von Bildern, die aus komplexen Abbildungsvorgängen stammen, an Bedeutung gewinnen. Entweder aus grundsätzlichen euklidischen Gegebenheiten heraus oder wegen mehr algebraisch zu interpretierender schlechter Koorelationseigenschaften der auftretenden Parameter wird zuweilen die innere Stabilität solcher Messanordnungen zu wünschen übrig lassen. Die dadurch auftretenden verschlechterten Konvergenzeigenschaften verlangen möglichst gute Annäherungswerte, damit der sich ergebende Δ-Vektor im differentiellen Sinne annähernd klein bleibt.

Natürlich erscheint die Forderung nach möglichst vom Programm selbständig berechneten Näherungswerten auch aus ökonomischer Sicht wichtig und z. B. für On-line-Auswerteverfahren eine sehr wünschenswerte Voraussetzung.

Der sich zur Zeit auf dem Gebiet der computergestützten Photogrammetrie entwickelnde Trend nach solchen Lösungen wird sich für die zu erwartenden Auswerteaufgaben in bezug auf Probleme der Ikonometrie wohl verstärken. Aus dem heute interessierenden Bereich soll ein Beispiel genannt werden: Es handelt sich um die Möglichkeit, dank des zur Verfügung stehenden Rechenpotentials mit Hilfe des eindeutigen Rückwärtseinschnittes eine strenge Lösung für die Bestimmung der Elemente der äusseren Orientierung zu erhalten. Dabei tritt bekanntlich eine Gleichung vierten Grades auf, deren numerische Lösung heute keine besonderen Schwierigkeiten bereitet und aufgrund der vorhandenen Stellenanzahl bei den Berechnungen zu zuverlässigen Resultaten führt. Dabei stellt sich aber die Tatsache heraus, dass die strenge Lösung nicht eindeutig ist, da es mehrere Gruppen von Elementen der äusseren Orientierung gibt, die für eine *Dreipunktfiguration* zu identischen Bildern führen. Eine eindeutige Lösung verlangt also die Vorgabe eines vierten Punktes. Es dürften auf diesem Gebiet, das ja vor allem in der Zeit der Analogauswertung in der Bildmessung keine Bedeutung hatte, noch einiges zu durchdenken geben, um die heute berechtigt erscheinenden Forderungen in dieser Hinsicht zu erfüllen.

In keiner Weise sind die angesprochenen Probleme vollzählig in bezug auf die zu erwartenden Aufgaben im Bereich moderner Bildverarbeitung und Auswertung. Sie geben aber vielleicht einen Einblick in die sich bereits heute ergebende Forderung nach einer generellen Auswertephilosophie im Bereich der zentral-perspektivisch arbeitenden Bilderfassungssysteme, die vor allem dadurch gekennzeichnet ist, dass das Endresultat sich nicht nur auf den Informationsinhalt einer spezifischen Abbildungsart stützt, sondern im Bereich der überschüssigen Defektbeseitigung verlangt, dass die Information von nicht bildhaft arbeitenden Messsystemen einbezogen werden kann. In dieser Hinsicht stellt bereits heute der Begriff der Ikonometrie einen Spezialfall dar. Die völlig allgemein gehaltene Formulierung für die Aufgabe einer Vermessung muss man meiner Meinung nach in der Forderung sehen, das Endergebnis mit Hilfe einer statistisch strengen Verarbeitung aller Informationspakete zu erhalten, die über quantitativ erfassbare Parameter zur Bestimmung der Zielfunktion einer spezifischen Messaufgabe beitragen.

Unterordnet man die Probleme der Auswertung von Photogrammen derart allgemein gehaltenen Prinzipien, so wird man nicht nur die Aufgabe der heutigen Bildmessung dem bestehenden Potential digitaler Technik anpassen, sondern methodisch gesehen auch eine geeignete Grundlage schaffen, um die auf uns zukommenden Auswerteprobleme der Ikonometrie in einer vom messtechnischen Gesichtspunkt aus zufriedenstellenden und vor allem ökonomischen Weise zu lösen.

Lassen Sie mich zum Abschluss noch einige Gedanken äussern, die sich unwillkürlich aufdrängen.

Es handelt sich dabei nicht um rein technisch ausgerichtete Gesichtspunkte, sondern um Fragen, die bei einer Ingenieurwissenschaft, zu der die Problematik des Messens ja wohl zu rechnen ist, gelöst werden müssen. Aus diesem Gebiet möchte ich hier kurz auf den sich auf ‹Lehre und Ausbildung› beziehenden Komplex eingehen.

Es ist eine Tatsache, dass vornehmlich in den USA auf den Gebieten des computergestützten Zeichnens (im Sinne von Entwurf) des computergestützten Ingenieurwesens (z. B. Maschinenbau oder Elektronik) und der computergestützten Herstellungsverfahren seit mindestens fünf Jahren Spezialkurse in den Ausbildungsgang für Ingenieure integriert sind. Ausserdem werden jährlich mehrere hundert Ingenieurstudenten in der Anwendung von interaktiv-graphischen Methoden ausgebildet. Dabei muss die betont enge Zusammenarbeit mit der Industrie hervorgehoben werden, wobei seitens der Industrie Sponsor-Beiträge an die akademischen Ausbildungsstätten von namhafter Grösse geleistet werden.

Diese Sachlage leitet sich aus der in den USA vorherrschenden Meinung ab, dass bei der Einführung neuer Technologien und Verfahren in industrielle Prozesse den technischen Universitäten eine Führungsrolle zukommt. Mit anderen Worten, es ist die Aufgabe der Lehre und Forschung, an derartigen Ausbildungsstätten das Potential von Neuerungen zu erproben, die Methodik zu optimieren und damit der Industrie neue Wege zu weisen.

Eine vor kurzem abgehaltene Tagung auf diesem Gebiet wurde mit dem Gedanken beendet, dass es die Aufgabe der technischen Universität sei, die technische Geschichte zu formen, anstatt sich ihr nur zu fügen.

Die Zielsetzung einer solchen Einstellung in bezug auf Lehre und Forschung hat natürlich die Aufgabe, die Produktivität der Industrie oder gewisser technisch-industrieller Arbeitsmethoden zu fördern.

Die Ähnlichkeit der Situation zwischen den vorgängig genannten computergestützten Ingenieurtätigkeiten und der Anwendung von computergestützten Messverfahren und deren Auswertung liegt auf der Hand. Man kann wohl sagen, dass die Frage, ob eine derartige Entwicklung nützlich sei oder nicht, kaum noch beantwortet werden muss, sondern man kann von der Annahme ausgehen, dass man sich der Technologie der computergestützten Messtechnik und damit auch der computergestützten Bildmessung nicht mehr entziehen kann. Bereits in bezug auf die heute noch dominante Verwendung von zentralperspektivischen Bildern ist die Zeit vorbei, in der man deren Auswertung in völlig positivem Sinn mit dem Ausdruck ‹Kunst› bezeichnete. Die Zeit ist vorbei – etwas sarkastischer ausgedrückt –, in der man bei der photogrammetrischen Auswertung sein Geld am Analoggerät, d. h. im Handumdrehen verdienen konnte. Mit der computergestützten Auswertung und der Benutzung bzw. Abhängigkeit von diversen in den verschiedensten Arbeitsvorgängen eingeführten Prozessrechnern sind nicht nur die theoretischen Möglichkeiten gewachsen und haben sich die ökonomischen Bedingungen stark verändert, sondern die Anforderungen an den leitenden Messingenieur wie auch an den Techniker, d. h. den von früher bekannten Operateur, haben sich grundlegend nach der Seite grösseren Könnens hin verschoben. Allein die On-line-Beurteilung der Qualität der Messungen und die eventuelle Verwerfung solcher Resultate wie auch z. B. die bei der Modellorientierung auftretende Entscheidung, ob die Lagerung im Sinne einer strengen Ausgleichung oder einer Anfelderung vorgenommen werden soll, kann meiner Meinung nach in absehbarer Zeit nicht aus der Logik eines Softwarepaketes heraus getroffen werden, sondern hängt von den entsprechenden Entscheidungen des oder der Ausführenden ab und verlangt eine vertiefte Einsicht und ein anspruchsvolles Verständnis der gesamten Messanordnung und deren Auswertelogik. Derartiges Wissen kann aber nur durch

entsprechende Ausbildung erworben werden und setzt somit ein entsprechendes Lehrprogramm und Lehrmethodik voraus. Diese Forderung beschränkt sich nicht auf die Lehrtätigkeit an technischen Hochschulen, sondern wird – sicherlich nach der praktischen Seite ausgerichtet – auch an den sog. Technischen Lehranstalten bzw. an Spezialschulen für photogrammetrische Techniker nötig. An die Auszubildenden wird unvermeidlich ein grösseres Wissen, vor allem in den mathematischen und physikalischen Disziplinen, verlangt werden müssen.
Die dieser Situation angepasste Forschung und Entwicklung wird einmal die Erfolgsaussichten der entsprechenden Industrie entscheidend beeinflussen. Es wird dabei nicht darum gehen – um die Terminologie der Marktwirtschaft zu gebrauchen –, bereits abgefahrenen Zügen nachzutrauern, sondern man muss *neue* Züge auf den Perron bringen. Für das ausführende Ingenieurbureau wird diese Entwicklung und die damit zusammenhängende Reformation der Arbeitsweisen der wohl entscheidendste Faktor in bezug auf die Wirtschaftlichkeit eines solchen Unternehmens bedeuten.

Literaturhinweise

Manfred Schröder: Stand der Entwicklungen von Erderkundungssatelliten und Shuttle-System. Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V., November 1981

Hellmut Schmid: Über den Wandel der geometrischen-algebraischen Modellvorstellung in der Photogrammetrie unter dem Einfluss computergestützter Auswerteverfahren. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 7–8/79, Seiten 197–205

- Ein allgemeiner Ausgleichs-Algorithmus für die numerische Auswertung in der Photogrammetrie. Insitut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 22, Juni 1977
- Vom freien zum gelagerten Netz. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 29, Dezember 1980

Adresse des Verfassers:
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Hellmut H. Schmid
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Empfehlungen der SVVK-Automationskommission zur Darstellung logischer Datenstrukturen

B. Sievers*

Zu Beginn der Empfehlungen wird auf die Problematik hingewiesen, die bei der Analyse logischer Datenstrukturen zu bewältigen ist. Anschliessend werden wichtige Begriffe definiert und ihre graphische Darstellung erläutert. Zugleich werden Regeln aufgeführt, die einen logischen Aufbau der Datenstruktur unterstützen. Ein einfaches Beispiel veranschaulicht die Darstellung als Entitätenblockdiagramm. Abschliessend befassen sich die Empfehlungen mit den Vorteilen der vorgestellten Darstellungsform.

1. Einleitung, Gegenstand

Jede Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) beruht auf einem dem Anwendungszweck angepassten Modell der Realität. In diesem Modell wird festgelegt, in welcher Form, durch welche Art von Daten die Objekte dieses Modells beschrieben werden sollen.
Ein immer wichtiger werdendes Postulat verlangt, dass EDV-Datensysteme unabhängig von der Hardware entwikkelt und dokumentiert werden sollten. Man spricht von der logischen Datenstruktur im Gegensatz zur physischen Datenorganisation im Computer.

Um Einblick in ein EDV-Datensystem zu erhalten, ist es wichtig, seine logische Datenstruktur zu kennen. Deshalb ist eine einheitliche Darstellung dieser Datenstrukturen bedeutsam. Eine solche Darstellung kommt aber meist auch der Logik des Systems zugut. Sie zwingt dazu, sich Beziehungen zwischen den Daten bewusst zu machen.
Solange die EDV als sequentielle Abläufe in einzelnen Programmen eingesetzt wurde und diese Programme einfache Strukturen zu bearbeiten hatten, war die Darstellung dieser Datenstrukturen nicht vordringend. Moderne und vor allem zukünftige Systeme werden aber immer grössere und komplexer strukturierte Datenmengen bewältigen müssen. Damit wird die klare Darstellung dieser Strukturen von erstrangiger Bedeutung.

2. Zweck dieser Empfehlung

Eine einheitliche Darstellung der logischen Datenstrukturen soll das einem Datensystem zugrundeliegende Modell aufzeigen und verständlich machen. Ferner sollen die dabei auftretenden Begriffe klargestellt werden. Negativ ausgedrückt: der Zweck dieser Empfehlungen besteht nicht darin, die als *Beispiele* dargestellten Modelle zu empfehlen oder abzulehnen. Das ist eine Aufgabe, mit der sich voraussichtlich andere Gremien befassen werden.

3. Abgrenzungen

Logische Datenstrukturen werden – wie erwähnt – dargestellt, um die Logik eines Datensystems zu beschreiben. In erster Linie geht es also darum, Information über das System zu vermitteln; *die Empfehlungen beziehen sich* primär *auf die Form der Darstellung.*
Wenn im folgenden dennoch Regeln aufgestellt werden, so sind das Empfehlungen, die der Verbesserung des logischen Aufbaus dienen. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass logische Datenstrukturen verbindlichen Formvorschriften unterliegen, sobald sie Grundlage für die Implementierung moderner Datenbanken sind.
Hält man sich nicht daran, so verzichtet man auf Konsistenzbedingungen, was dem Datenbankkonzept zuwiderläuft, welches auch in der Nachführung widerspruchsfreie Daten erzwingen muss.

*B. Sievers hat diese Empfehlungen aufgrund der Aussprachen in der SVVK-Automationskommission ausgearbeitet. Wertvolle Arbeitsgrundlagen waren [Zehnder 83] und [Frank 82].

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich
Separata Nr. 57