

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:	84 (1986)
Heft:	1
Artikel:	Photogrammetrie-Potential und Implikationen eines modernen Messverfahrens
Autor:	Grün, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-233024

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

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

Photogrammetrie-Potential und Implikationen eines modernen Messverfahrens*

A. Grün

Die moderne Analytische Photogrammetrie hat in vielen Bereichen einen hohen Leistungsstand erreicht. Trotzdem geht die Entwicklung stürmisch weiter. Digitale Aufnahme- und Auswerteverfahren erschliessen neue grosse Anwendungsgebiete. Interessante Probleme gilt es dabei in Forschung und Entwicklung zu lösen. Aber selbst die private Praxis muss sich, will sie konkurrenzfähig bleiben, bald mit diesen Techniken auseinandersetzen. Im Zeichen des Übergangs von Analytischer zu Digitaler Photogrammetrie sieht sich somit der Vermessungsingenieur angehalten, neue Wissensgebiete zu betreten. Dieser Vortrag ist darum bemüht, ausgehend vom gegenwärtigen Stand der Photogrammetrie, exemplarisch anhand einiger moderner Entwicklungen den sich schon jetzt abzeichnenden künftigen Weg der Disziplin zu beleuchten.

La photogrammétrie analytique moderne a atteint dans beaucoup de domaines un niveau élevé. Malgré tout, le développement continue rapidement. Des techniques digitales d'acquisition et de restitution ouvrent de nouveaux domaines d'application. D'intéressants problèmes restent à résoudre dans la recherche et le développement. Même la pratique doit, pour rester capable de soutenir la concurrence, s'occuper de ces techniques. Lors du passage de la photogrammétrie analytique à la photogrammétrie digitale l'ingénieur-géomètre est forcé d'étudier de nouveaux domaines. A partir de l'état actuel de la photogrammétrie, cet exposé tente de montrer d'une manière exemplaire au moyen de quelques développements nouveaux la voie future apparaissant dans cette discipline.

Einführung

Eine Einführungsvorlesung wird gerne dazu benutzt, das Fachgebiet als Ganzes darzustellen, einen Überblick über den gegenwärtigen Stand zu geben und zu erwähnende Entwicklungen zu präzisieren. Diese Komponenten liegen auch meinem Vortrag zugrunde. Die Experten unter Ihnen bitte ich um Nachsicht dafür, dass ich gelegentlich die nötige Detailauseinandersetzung mit Problemen vermissen lassen werde. Für diejenigen aber, die der Photogrammetrie nicht so nahe stehen, wünsche ich mir, dass dieser Vortrag einen Eindruck hinterlassen möge von der Vielfalt der Problemstellungen, den fast unbegrenzten Anwendungsmöglichkeiten, von der Faszination und der Herausforderung der Disziplin.

Abbildung 1 steht programmatisch für einen Teil meiner Ausführungen, nämlich für die Verzahnung moderner Photogram-

metrie mit aktuellen «Hightech»-Disziplinen, wie etwa der Computergraphik. Definieren wir zunächst einmal den Begriff «Photogrammetrie». Der Student im ersten Semester lernt bereits, dass Photogrammetrie «Bildmessung» heißt. Schauen wir uns an, was Webster's Dictionary über Bilder sagt. Hier die deutsche Übersetzung: «Ein Bild ist eine Wiedergabe,

Ähnlichkeit oder Imitation eines Objektes oder Dinges; es ist eine lebendige oder graphische Beschreibung, wobei etwas eingeführt wird, um etwas anderes zu beschreiben.» Kurz gefasst: Ein Bild ist eine Wiedergabe von etwas anderem. Somit wird klar, dass der Begriff «Bild» sich nicht nur auf photographische Bilder beschränkt, der Begriff «Bildmessung» damit auch nicht so eng gesehen werden darf.

Die Generierung von Bildern verlangt ein Übertragungselement zwischen Objekt und Bild. Diese Funktion erfüllt der Sensor. «Bildmessung» wird immer dann betrieben, wenn es sich beim Sensor um ein «Abbildendes System» handelt. Ein Sensor, welcher die Laufzeiten elektromagnetischer oder akustischer Wellen misst, kann noch nicht als photogrammetrisches System bezeichnet werden. Dies trifft aber zu, wenn diese Laufzeiten oder Distanzen in eine bildhafte Darstellung transformiert werden, wie dies etwa bei Radar- oder Sonarsystemen der Fall ist.

Die Photogrammetrie beschränkt sich also nicht allein auf die Verarbeitung photographischer Bilder. In diesem Sinne einer der frühesten Photogrammeter war der Schweizer Arzt und Kristallograph M.A. Kappeler, der 1726, also mehr als 100 Jahre vor Erfindung der Photogrammetrie, aus gezeichneten Perspektiven das Pilatusmassiv kartierte.

Photogrammetrie ist eine unter vielen Messtechniken. Hier wird versucht, aus Bildern eines Objektes Informationen über das Objekt selbst abzuleiten. Diese Informationen sind in der Regel metrischer Art, betreffen also Form, Lage, Größe von Objekten; sie können aber auch semantischen Typs sein, sich also auf die Bedeutung von Objekten, Prozessen, Veränderungen beziehen. Als Wissenschaftsdisziplin stellt die Photogrammetrie eine Mischform dar.



Abb. 1: Computergraphik «Road to Point Reyes» (Cook, Lukasfilm Ltd.)

* Dieser Beitrag gibt in gekürzter Form den Text der Einführungsvorlesung von Prof. Dr. A. Grün, gehalten am 15. 2. 1985 im Auditorium Maximum der ETH Zürich, wieder. Von den vielen unterstützenden Abbildungen werden hier nur einige wenige reproduziert.

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Separata Nr. 94

Sie ist grundsätzlich Ingenieurwissenschaft, enthält aber auch viele Elemente aus den Geowissenschaften.

Zu den frühesten Anwendungen zählt die topographische Geländeaufnahme. Auch heute noch widmet sich ein Grossteil photogrammetrischer Arbeiten diesem Problem. Somit ist das Hauptanwendungsbereich nach wie vor die Gewinnung von Informationen über Gestalt und Zusammensetzung der Erdoberfläche und anderer Himmelskörper sowie Veränderungen und Vorgänge auf denselben. Hier wird heute zu einem beachtlichen Teil Photogrammetrie als Satellitenfernerkundung betrieben. Wichtige Anwendungen finden sich dabei in Geologie und Geographie, Land- und Forstwissenschaft, Umweltüberwachung und Umweltschutz, Exploration, Hydrologie, Ozeanographie, Meteorologie usw. Zu den sogenannten «Sonderanwendungen» zählen wir Projekte aus Architektur- und Denkmalpflege, Archäologie, Bauwesen, physikalischem Versuchswesen, Glaziologie und aus vielen anderen Gebieten. Dazu treten heute vermehrt Anwendungen einer modernen Form der «Industriephotogrammetrie», d.h. in der Fertigungs- und Montagekontrolle sowie bei der Steuerungskontrolle automatisierter Prozesse. Letzteres bezeichnet man als «Robot Vision».

Nach etwa 125 Jahren Entwicklung der Photogrammetrie stehen wir heute vor einer Vielfalt von Geräten und Methoden zur Aufnahme und Auswertung. Dem photogrammetrischen Novizen bietet sich allein vom Begriffshaushalt her ein verwirrendes Bild (Abb. 2).

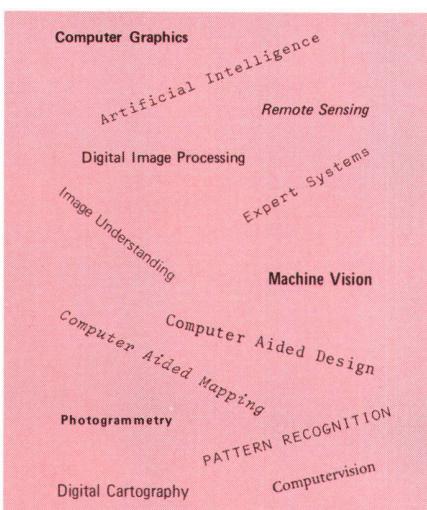


Abb. 2: Vielfalt moderner technischer Begriffe

Was ist der Stellenwert der Photogrammetrie innerhalb dieser Vielzahl moderner Disziplinen? Wo sind Überlappungen, gegenseitige Durchdringungen? Dies umfassend darzustellen, würde den hier vorgegebenen Rahmen sprengen. Mein Vortrag versucht lediglich, einige der modernen Errungenschaften der Photogrammetrie aufzuzeigen. Es geht dabei zunächst da-

rum, den gegenwärtigen Leistungsstand zu beschreiben und die wichtigsten Probleme zu lokalisieren. Daran anschließend sind Perspektiven für eine Fortentwicklung aufzuzeigen. Es fehlt allerdings die Zeit, hier eine vollständige Bestandesaufnahme zu präsentieren. Ich bitte daher, die Lücken zu übersehen oder zumindest zu entschuldigen.

Unter Verwendung eines sehr groben Rasters lässt sich feststellen, dass sich die Photogrammetrie inzwischen von der «Analogen Photogrammetrie» über die «Analytische» hin zur «Digitalen Photogrammetrie» entwickelt hat. Wir befinden uns heute mitten im Übergang zwischen analytischer und digitaler Phase. Die Photogrammetrie erfährt gegenwärtig einen Erneuerungsprozess ohne Beispiel. Die Weiterentwicklung wird sich in einem Rhythmus und mit Konsequenzen vollziehen, wie wir sie in dieser Form und Spontaneität vorher noch nie erlebt haben. Diese Konsequenzen werden alle Bereiche unseres Wirkens einschliessen: Forschung an Hochschulen und anderen Instituten, private und staatliche Praxis, Geräteherstellerfirmen. Aber auch die Lehre an den Hochschulen wird betroffen sein.

Es waren zwei wichtige Entwicklungen in der Mikroelektronik und der Halbleitertechnik, welche den gegenwärtigen Prozess ausgelöst haben: Digitale Sensor-technik und Mikrochiptechnik. Somit sind auch beide Bereiche photogrammetrischer Tätigkeit berührt: Aufnahme und Auswertung. Die Kombination digitaler Sensoren (hier: digitale Kameras) mit leistungsfähigen Mikroprozessoren ermöglicht uns heute zum ersten Mal, «Real-time» Systeme einzusetzen. Der klassische und zeitraubende Prozess von *Aufnahme-photographische Entwicklung-Vorbereitung-Interpretation-Messung-Darstellung der Ergebnisse* kann nun voll automatisiert werden. Vorausgesetzt, unsere Auswertemethoden wären leistungsfähig genug: Ein operatorseitiges Eingreifen wäre nicht mehr nötig. Die Tätigkeit des Menschen würde sich somit auf Systemdesign und gelegentliche Ergebnisüberprüfung beschränken. Robot Vision Systeme sind typische Vertreter dieser Technologie.

Übrigens sind auch unsere unmittelbaren Nachbardisziplinen, Geodäsie und Vermessung, von einer ähnlichen Entwicklung betroffen. Inertiale Trägheitssysteme, aber vor allem hochpräzise Satellitenpositionierungssysteme werden auch hier revolutionäre Auswirkungen zeitigen.

Digitale Kammern

Eine digitale Kamera ist ein Sensor, bei dem in die Bildecke anstelle einer photographischen Schicht opto-elektronische Elemente gebracht werden. Inzwischen hat sich auch hier die Halbleitertechnologie durchgesetzt. CCD Arrays gelten gegenwärtig als die brauchbarsten Sensoren.

Diese Arrays bestehen aus einem regelmässig strukturierten Feld kleinsten Sensorelementen. Der Elementabstand liegt bei ca. 20 µm. Man kann somit leicht zeigen, dass die geometrische Auflösung dieser Sensoren noch deutlich der einer photographischen Schicht nachsteht. Die Technologie ist verfügbar, um wesentlich kleinere Elemente herzustellen. Allerdings besteht bei 10 - 12 µm eine Schranke, bei deren Überschreiten die radiometrischen Charakteristika dieser Sensoren, wie etwa das Signal-Rauschen Verhältnis, sich rapide verschlechtern. Die Einzelemente sind als Linien- oder Flächenarrays angeordnet. Übliche Flächenarrays weisen etwa 500 x 400 Elemente auf. Diese ungleiche Anzahl bezüglich Spalte und Zeile entspricht dem früheren Vidicon-Format. General Electrics hat in einem astronomischen Satelliten bereits einen 1024 x 1024 Array eingebaut. 10000 und mehr Elemente hat man auch schon in Linien geschaltet («Butted TDI CCD» von ITEK/BELL).

Es gibt jetzt schon etwa ein halbes Dutzend kommerzieller Hersteller von Flächenarray Kammern, abgesehen von den vielen Spezialentwicklungen in Instituten. Die klassischen photogrammetrischen Gerätehersteller sind hier nicht mehr im Geschäft.

Diese Sensoren können als eigenständige Kammern für Sonderanwendungen der terrestrischen Photogrammetrie dienen. Rationelle Aufzeichnung auch schnell bewegter Objekte wird damit möglich. Nicht nur das Objekt selbst, sondern auch die Kameraposition oder beide können sich verändern. Hier passiert gerade das, woran Photogrammeter seit Jahrzehnten mit eher mässigem Erfolg gearbeitet haben: Abbildende Sensorsysteme werden in grossem Umfang für Industrievermessungen verschiedenster Art, vor allem aber zur Überwachung industrieller Fertigungsprozesse herangezogen. Mehr als 100 Robot Vision Systeme sind schon kommerziell auf dem Markt verfügbar (Beispiel siehe Abbildung 3). Bisher lag das Schwergewicht klar auf Hardwareentwicklung. Wir werden am Institut versuchen, bei der Entwicklung von Auswerteverfahren einen bescheidenen Beitrag zu leisten.

Weiterhin können solche Kammern als Bildscanner eingesetzt werden, zum Digitalisieren analoger Bilder oder auch Karten. Installiert man diese Kammern an Analytischen Plottern, dann eröffnet sich die Möglichkeit zur automatischen oder zumindest halbautomatischen Verarbeitung konventionellen Photomaterials an diesen Geräten (Abb. 4). Methodische Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich hier auf die DHM-Produktion und auf die automatische Auswahl und Messung von Rahmenmarken, Passpunkten und Übertragungspunkten in der Bildtriangulation. Leistungsfähige Image Matching Verfahren sind hier Voraussetzung für weiteren Fort-

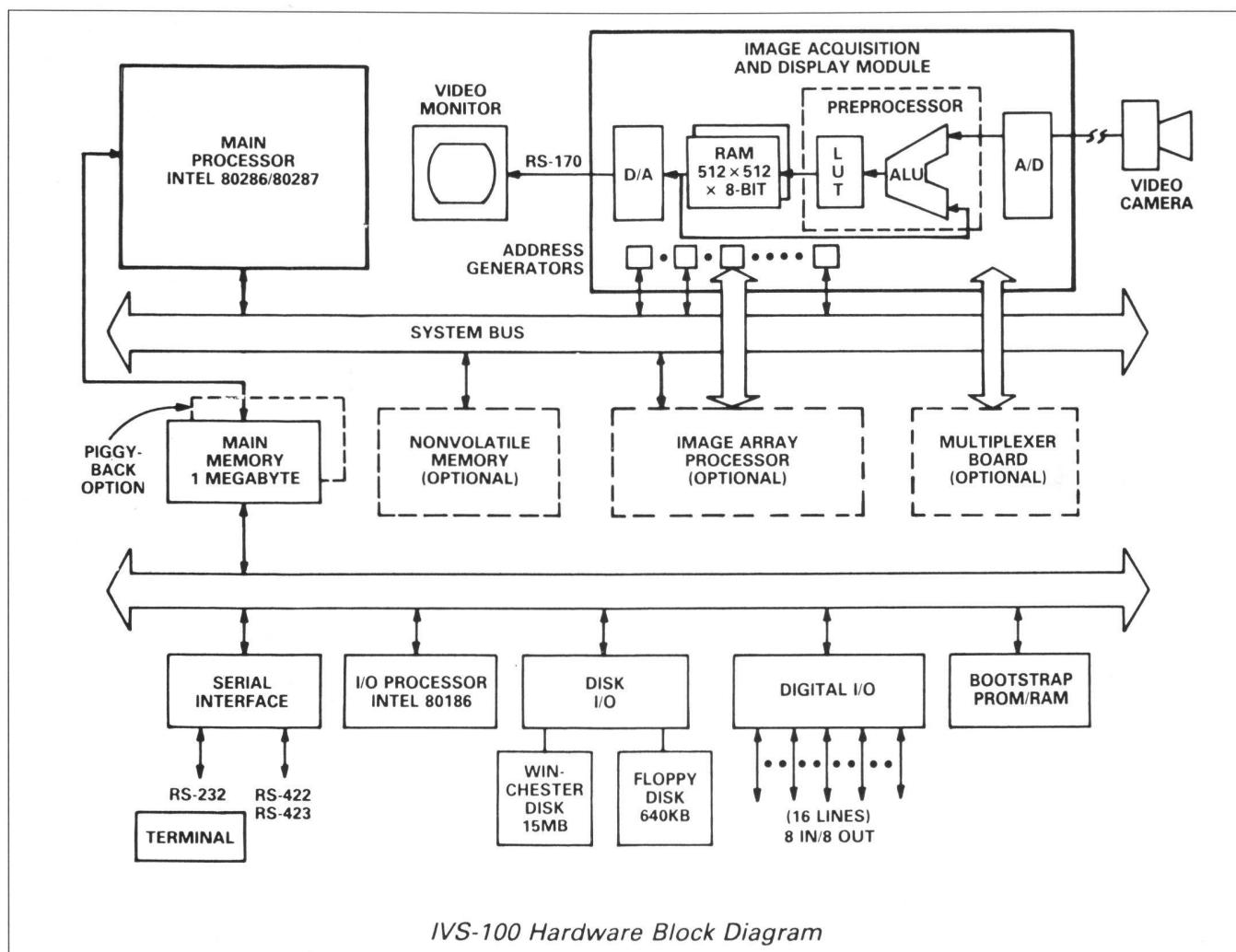


Abb. 3: Real-time System für Robot Vision (System IVS-100 von Analog Devices)

schritt. Auch diesem Gebiet wollen wir am Institut unsere Aufmerksamkeit schenken.

Bevor wir nun aber versuchen, möglichen Neuentwicklungen im Detail nachzuspüren, möchte ich jeweils kurz eine kleine Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Photogrammetrie vorausschicken. Ausgehend vom «Wo stehen wir gerade?» wollen wir dann der Frage «Wohin führt die Entwicklung?» nachgehen.

Punktbestimmung

Wir können mit Stolz und gesundem Selbstbewusstsein auf eine fruchtbare und erfolgreiche Phase photogrammetrischer Entwicklungen in den letzten 20 Jahren zurückblicken. Was die Punktbestimmung betrifft, so hat man die Netzproblematik der Aerophotogrammetrie und bei Sonderanwendungen gut im Griff, Genauigkeits- und Zuverlässigkeitssstrukturen sind weitgehend abgeklärt. Systematische und grobe Fehler können auf operationelle Weise unter Kontrolle gebracht werden. Die Verfahren und Schätzmodelle der Punktbestimmung sind so ausgereift, dass sie mit anderen geodätischen Messverfahren

hinsichtlich Genauigkeit durchaus konkurrieren können, bei oft überlegener Wirtschaftlichkeit. Mancherorts kann es somit nur noch darum gehen, die neueren Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen, moderne Verfahren operationell zu implementieren. Typische Anwendungen finden sich hier vor allem in der Topographischen Kartographie, in Netzverdichtung und Parzelarvermessung sowie bei Ingenieurprojekten.

Entwicklungsmässig sind allerdings die Punktbestimmungsverfahren keinesfalls am Ende. Konkrete Weiterentwicklungen zeichnen sich ab in den Bereichen
 – Verfeinerung des stochastischen Modells der Netzausgleichung
 – On-line Triangulation
 – Einbeziehung von Navigationselementen
 Ziel der On-line Triangulation ist es, den Auswerteprozess zuverlässiger zu gestalten, zu beschleunigen und somit noch kostengünstiger zu machen. Algorithmische und messtechnische Fragen stehen im Vordergrund. Neue Messverfahren bieten sich an durch die Möglichkeiten der Computersteuerung an Analytischen Plottern. Die Markierung und physische Übertragung künstlicher Verknüpfungspunkte wird nicht

mehr nötig sein. Punktmarkierungs- und Übertragungsgeräte werden somit überflüssig. Die Punktübertragung kann durch Computerpositionierung erfolgen. Zur unmittelbaren Kontrolle der Messungen ist der Messprozess rechnerisch zu unterstützen, das heisst die Übereinstimmung der Messungen mit dem gewählten Schätzmodell ist permanent zu überprüfen. Im Bedarfsfall sind Messungen und/oder das Schätzmodell zu korrigieren. Diese «Online» Berechnungen sind besonders rechenzeitkritisch. Der Operateur muss jederzeit und möglichst sofort über den gegenwärtigen Status des Systems informiert werden. Sequentielle Schätzungen, rekursive Algorithmen müssen hier die konventionellen simultanen Lösungen ersetzen. Einiges bleibt noch zu tun hinsichtlich des Entwurfs und der Implementierung solch schneller Algorithmen; auch ist die Behandlung systematischer und grober Fehler in sequentiellen Schätzungen zu diskutieren.

«Navigation» ist ein neues Schlüsselwort im Vermessungswesen. Lehrstühle für Navigation werden eingerichtet, entsprechende Forschungsgruppen konstituieren sich. Neue Präzisionsmethoden zur Bestimmung

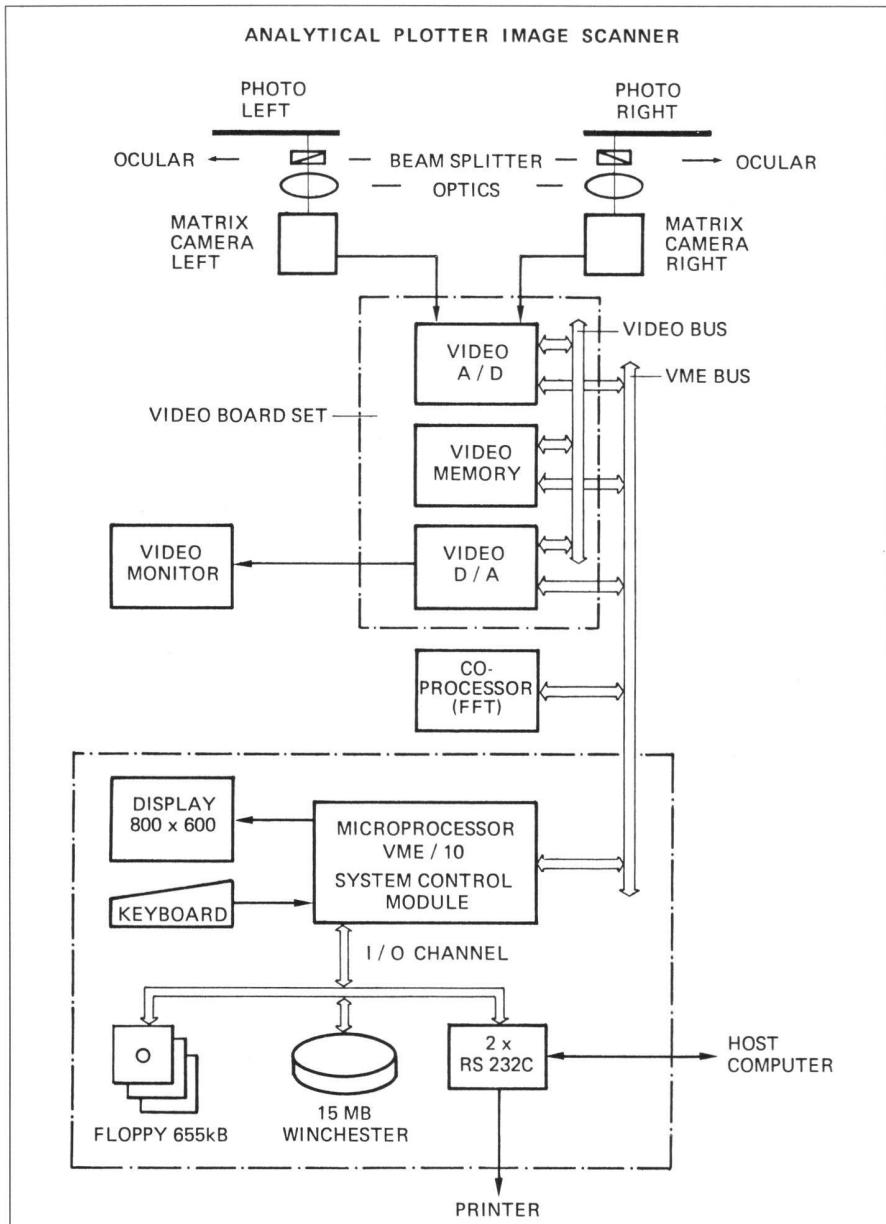


Abb. 4: Zweibild-Digitalisiersystem (verwendbar zur Installation an einem Analytischen Plotter, Wild, Heerbrugg)

von Punktkoordinaten und Drehwinkel in übergeordneten Koordinatensystemen sind praktisch Folgeprodukte der entsprechenden für Navigationsaufgaben entworfenen Messsysteme. Globale Positionierungs-techniken basierend auf Satellitenmes-sungen arbeiten heute bereits operationell auch in für Geodäten interessanten Genauigkeitsbereichen (relative Genauigkeit 10^{-6} bis $5 \cdot 10^{-6}$). Es ist abzusehen, dass diese kostengünstigen Systeme die traditionellen Verfahren der weiträumigen Punktebestimmung bald ablösen werden. Systeme vom GPS-Typus und Photogram-metrie ergänzen sich sehr gut, etwa im Hinblick auf die Notwendigkeit zur Luft-sichtbarkeit der Punkte. Diese Navigations-systeme können in aerophotogrammetri-schen Projekten in zweifacher Weise ein-gesetzt werden: Am Boden zur Passpunkt-bestimmung und an Bord des Bildflugzeu-

ges zur Akquisition der Daten der äusseren Orientierung. Eine simultane Ausgleichung photogram-metrischer und Navigationsdaten führt zu hybriden Systemen, sogenannten «kom-binierten Ausgleichungen». Hier gilt es, die üblichen algorithmischen, geometrischen und stochastischen Netzfragen neu zu be-antworten. Vergessen wir dabei nicht, dass die konventionelle Passpunktbestimmung auch bei photogrammetrischen Sonder-anwendungen, etwa in der Industriephoto-grammetrie, immer mehr durch neuere, schnellere Techniken ersetzt wird, z.B. Ul-traschall-, Laser-, und Mikrowellenmetho-den. Einer der Navigationssensoren ist Radar. In Form des abbildenden Radars wird es direkt als photogrammetrischer Sensor eingesetzt. Radar hat eine Eigen-schaft, die es für photogrammetrische Zwecke besonders interessant macht. Dies

ist die Fähigkeit, selbst eine geschlossene Wolkendecke zu durchdringen. Unge-wöhnlich und auch noch nicht voll erforscht sind allerdings seine speziellen Reflexions- und Abbildungseigenschaften. Radar-anwendung verlangen in verstärktem Ma-se nach der Einbeziehung digitaler Höhen-modelle.

Weitere nicht konventionelle Sensoren, welchen zunehmend Aufmerksamkeit zu-kommt, sind Linear Array Kammern, die insbesondere als Stereo-Satellitensysteme momentan starke Beachtung finden (SPOT, MAPSAT, Stereo MOMS usw.). Der volks-wirtschaftliche Nutzen dieser Systeme ist durchaus strittig. Während sich für die In-dustrieländer wenig Anwendungsmög-lichkeiten abzeichnen, sind Entwicklungsländer auf Grund des Technologiegefälles nicht in der Lage, das digitale Bildmaterial selbst mit der nötigen Genauigkeit und Ef-fizienz auszuwerten. Hier ist das Material, welches durch die metrische Kamera der ESA und durch die Largeformat-Kamera der NASA produziert wird, sicher besser geeignet, allgemeine Verwendung zu fin-den. Selbst an konventionellen Analog-reitäten bzw. Analytischen Plottern können diese Bilder ohne grosse Schwierigkeiten ausgewertet werden.

Für die Wissenschaft allerdings bedeu-ten die digitalen Sensoren und die damit verbundenen Möglichkeiten zur halbauto-matischen oder vollautomatischen Aus-wertung eine echte Herausforderung. Ge-eignete mathematische Modelle zur Mo-dellierung der Geometrie sind zu finden. Die Einbeziehung des digitalen Gelände-modells kann in vielen Fällen auch hier zu entscheidender Verbesserung der Ergeb-nisse führen.

Digitale Oberflächenmodelle

Digitale Oberflächenmodelle werden heute praktisch ausschliesslich mit photo-grammetrischen Methoden selbst oder über photogrammetrische Folgeprodukte, wie etwa das Digitalisieren von Karten und Plänen, gewonnen. Digitale Oberflächenmo-delle lassen sich trennen in Digitale Hö-henmodelle und Digitale Situationsmodelle. Die Digitalen Höhenmodelle haben seit ih-rer ersten Anwendung (Ch. Miller, MIT 1955 - 1960, Strassenbau) viel Aufmerk-samkeit gefunden. Eine Vielzahl von Inter-polationsverfahren steht zur Verfü-gung, auch in Form operationeller Computerpro-gramme. Ein besonders leistungsfähiges Programm wurde teilweise an unserem Institut entwickelt. Es basiert auf Dreiecks-vermaschung und verwendet zur Interpo-lation die Methode der Finiten Elemente (Abb. 5).

Neuerdings hat sich das Interesse mehr in Richtung Datenerhebung, Nachführ-ung und Ableitung von Folgeprodukten ver-schoben. Jeder brauchbare Analytische Plotter bietet heute schon eine Vielzahl von Da-tenerhebungsmodi (Profile, Raster, Hö-

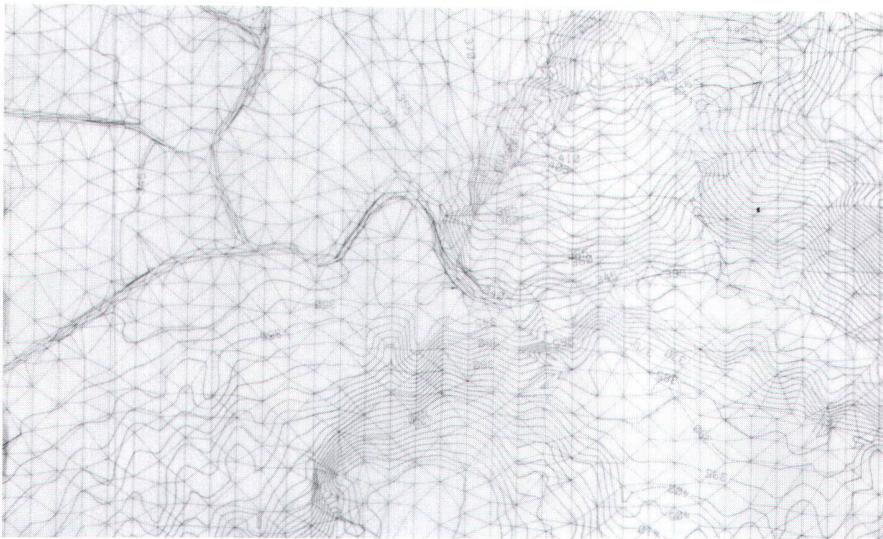


Abb. 5: DHM-Dreiecksvermaschung und Höhenlinieninterpolation (produziert mit dem Programm DTMZ des IGP)

henlinien, Einzelpunkte usw.). Leistungsfähige Linien- und Rasterscanner stehen bereit zum Digitalisieren von Karten und Plänen. Selbst die vollautomatische Erhebung von Höhendaten durch Scannen und Profilieren des photogrammetrischen Stereobildpaars wird heute angeboten, wenn auch nicht immer erfolgreich durchgeführt. Die zunehmende Verfügbarkeit Digitaler Höhenmodelle findet ihre Korrespondenz in immer stärkerer Nachfrage von Seiten der Benutzer. Selten wurde ein geodätisches Produkt von so unterschiedlichen Parteien verlangt wie gegenwärtig das Digitale Höhenmodell. Die Liste potentieller, aber auch tatsächlicher Anwender ist lang. Ein weiterer zu beobachtender Effekt: Einmal auf den Geschmack gekommen, verlangt der Kunde nach mehr, nach höherer Genauigkeit und Zuverlässigkeit. In der Schweiz etwa gibt sich das Militär längst nicht mehr mit einem 250 m Raster zufrieden. An der Landestopographie in Bern hat man ein Scitex-System installiert, um die topographischen Karten 1 : 25'000 der Schweiz zu digitalisieren und für das ganze Land Rasterdaten auf 20 m Basis abzuleiten. Für den Kanton Zürich sammelt man Daten für ein Präzisions-DHM, welches abgestellt ist auf die Ableitung von 1 m-Höhenkurven. DHM-Datenbanken werden in vielen Ländern eingerichtet. Auch verfeinerte Auswerteverfahren von Fernerkundungsdaten verlangen immer mehr nach DHM-Daten (Radar!). Unter anderem ist hier das sogenannte «Monoplotting» aktuell, d.h. die Kombination von DHM mit nur einem Bild oder einer Szene. Dieses Monoplotting ist gerade bei Randbenutzern, wie etwa Planern und Forstleuten, sehr beliebt.

Ganz anders dagegen ist die Lage beim Situationsmodell. Im Gegensatz zur automatischen Höhenauswertung, die man heutzutage schon ganz gut im Griff hat, stehen wir bei der automatischen Situationsauswertung ganz am Anfang. Die

Schwierigkeiten liegen hier weniger in der geometrischen Rekonstruktion, als vielmehr in der Notwendigkeit zur Interpretation von Objekten. Die Herausforderung besteht hier in der automatischen Verarbeitung der Semantik des Bildes. Handelt es sich um einen Parkplatz oder um ein Haus, wie unterscheidet man Strasse, Bahnlinie und Flusslauf? Es gibt eine Unzahl von Konfliktsituationen. Hier müssen wir uns neuen Disziplinen zuwenden. Einige wurden schon genannt: Image Understanding, Computer Vision.

Computer Vision, Computer Graphik

Die Computer Vision, auch Szenen-Analyse genannt, wird immer mehr zu einem relevanten Fachgebiet. Sie gilt als eine der Unterbereiche der künstlichen Intelligenz. Ihre Aufgabenstellungen sind vielfältiger Natur. In der Regel wird sie sich dort besonders bewähren, wo immer Gleichartiges analysiert werden soll, also etwa bei der visuellen Qualitätskontrolle in der Industrie, dem Erstellen von Laborbefunden, der Fernsehüberwachung von Plätzen und Gebäuden. Computer Vision bemüht sich zunächst, den äusserst komplizierten Vorgang des Sehens als biologischen Vorgang zu verstehen und daran anschliessend diesen künstlich mit Maschinen zu realisieren. Fortschritte ergeben sich nur langsam. Wie lässt sich auf Erfahrung beruhendes Wissen mathematisch formulieren, im Rechner repräsentieren und in Computeralgorithmen nutzbringend verwenden? Das Erfassen der Umwelt mit den Augen verläuft so mühelos und unbewusst, dass weitgehend verborgen bleibt, welche Art «Wissen» uns befähigt, eine Szene zu begreifen. Crick, Marr und Poggio beschreiben diesen Tatbestand 1980 folgendermassen: «That we see the world as well as we do is something of a miracle. What seems so direct and effortless turns out, on

close consideration, to involve many rapid and complex processes the details of which we are only beginning to glimpse».

Quantitativ und qualitativ kann der Erkenntnisvorgang gestützt werden durch den Stereoeffekt. Die Betrachtung eines Einzelbildes aus Abbildung 6 erlaubt zum Beispiel keinerlei Hinweis auf das Objekt. Erst der Stereoeffekt vermittelt dessen Art und Struktur.

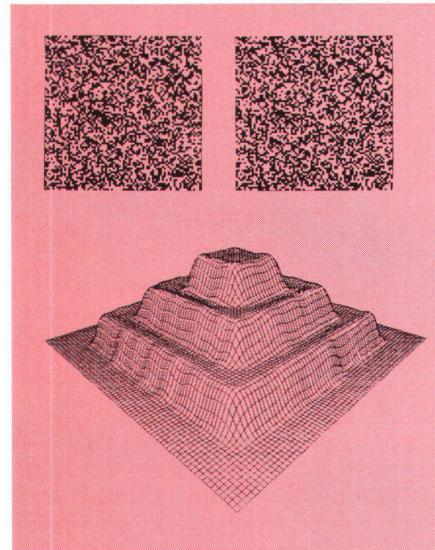


Abb. 6: Random Dot Stereogram «The Wedding Cake» (aus Grimson: From Images to Surfaces, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1981)

Computer Vision und Computer Graphik sind sicherlich verwandte Disziplinen, und beide werden unentbehrlich für die moderne Photogrammetrie. Abbildung 7 zeigt sehr vereinfachend, wie Computer Vision und Computer Graphik zueinander stehen.

Computer Vision kann somit als «Automatisierte Photogrammetrie» bezeichnet werden, zumindest was die Auswerteseite betrifft. Die gegenwärtigen Aufgabenstellungen der Computer Vision finden allerdings ihr Analogon in erster Linie in der «Bildinterpretation». Computer Vision ist gegenwärtig somit «Automatische Bildinterpretation».

Es sollte eine reizvolle Aufgabe für den Photogrammeter von heute sein, die Zielvorstellungen und die Methoden der Computer Vision zu erweitern und die Abbildungsgeometrie stärker und mehr verfeinert als bisher zu integrieren. Um aber übertriebenen Erwartungen vorzubeugen, erscheint es mir hier angemessen, meinen Kollegen Prof. Kübler von der ETHZ, Institut für Kommunikationstechnik, zu zitieren: «Ein Bericht über rechnergestütztes Sehen kann nicht mit Aufsehen erregenden Erfolgen glänzen, sondern muss sich darauf beschränken, die grossartigen Fähigkeiten des natürlichen visuellen Wahrnehmungssystems neu zu würdigen, (und) Verständnis für die Schwierigkeiten beim Umsetzen auf die Maschine zu wecken. . .»

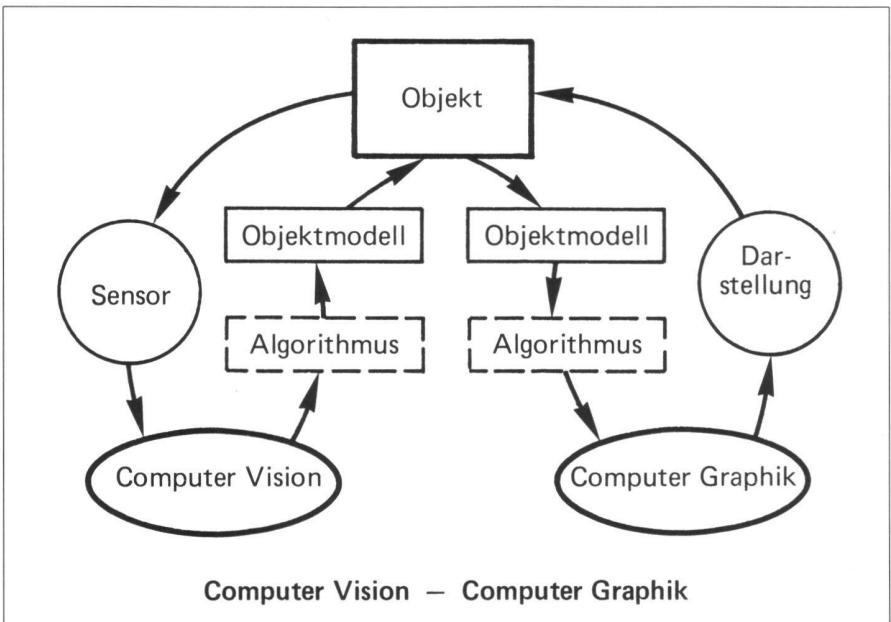


Abb. 7: Prozessablauf Computer Graphik – Computer Vision

Digitaler Plotter

Wenn ich vorher von der Ausstattung bestehender Analytischer Plotter mit digitalen Bildscannern sprach, so ist dieses Konzept nur als Übergangslösung anzusehen. Langfristig wird sich sicher der sogenannte «Softcopy Analytische Plotter» durchsetzen, das «Digitale Photogrammetrische Stereoauswertesystem». Abbildung 8 zeigt das photogrammetrische Auswertegerät der nahen Zukunft. Von der Hardware her entspricht es im Prinzip schon heute verwendeten CAD-Stationen: Ein hochauflösender graphischer Rasterbildschirm mit den nötigen Kontrollelementen und ein modular aufgebauter Computer, bestehend

aus superschnellen Bussen und einer Anzahl von Mikro- und Array-Prozessoren, denen Spezialaufgaben zugewiesen sind. Die digital vorliegenden Bilder werden auf den Bildschirm gebracht und dort vom Operateur oder auch vollautomatisch ausgewertet. Es kann trianguliert und kartiert werden. Das Gerät repräsentiert ein photogrammetrisches Universalgerät in echtem Sinne. Ob terrestrische Bilder oder Luftbilder, ob Punktbestimmung, Digitales Geländemodell oder Kartierung, ob als photogrammetrischer Plotter oder als graphische, kartographische Editierstation benutzt, ob operateurbetrieben, halbautomatisch oder vollautomatisch, vom Prin-

zip der Konstruktion her sind keine Grenzen gesetzt. Stellvertretend für ein derartiges System sind im folgenden die Spezifikationen aufgelistet, welche die Defence Mapping Agency (DMA) für ihre Digital Stereo Comparator/Compiler-Entwicklung zu Grunde gelegt hat:

DMA Spezifikationen für DSCC

- Auswertung Stereopaar; automatisch, operateurgesteuert
- Photometrische Auswertungen
- Pro Photo: $20'000 \times 20'000$ pi
(Pixelgrösse: $12,5 \times 12,5 \mu\text{m}$ bei $23 \times 23 \text{ cm}^2$ Photo)
- Radiometrische Auflösung: 8 bits
- Roam Rate: 2,5 mm/Sek
(200 pi/Sek)
- Schnelle Modelldurchquerung:
Herstellung des Stereomodells 2 Sek
- DHM Datenerfassungsrate: 200 Pkte/Sek
- DHM Korrelationsgenauigkeit: 1 pi/Photo
- Superposition («Video Map»);
planimetrische Elemente, Höhendaten;
Flickermodus
- Generierung von lokalen Bildmustern
(Objekte, Passpunkte, Verknüpfungspunkte)

Probleme ergeben sich aus der Benutzung eines Bildschirms als Ersatz für ein analoges Bild und einer mechanischen Bildbühne. Einige offene Fragen sind noch zu beantworten hinsichtlich geometrische und radiometrische Auflösung des Bildschirmes, geometrische Stabilität des Bildschirmbildes, Roam- oder Scrollrate, d.h. die Geschwindigkeit, mit der eine Messmarke durch ein Bild bewegt oder mit der ein Bild über den Bildschirm geführt werden kann, und der Art der Stereobetrachtung. Gerade die Frage der Stereobetrachtung gilt es neu zu überdenken. Eine Vielzahl von Optionen stehen uns gegenwärtig zur Verfügung:

3-D (Stereo) Video Betrachtung

- Anaglyphen
- Schwingblenden (SIA)
- Stereoskopotechnik (split screen; miniature picture tubes)
- Polarisation (single tube-split screen, twin tubes, LCD flat panel; plane, bicircular polarization)
- Elektrooptische Polarisation
- Zylinderlinsen (lenticular screen)
- Holographie
- Andere (cycloramic display, LC sandwich screen etc.)

Welche Form sich letztlich durchsetzen wird, muss zukünftigen Untersuchungen und Erfahrungen vorbehalten bleiben. Hiermit haben wir die Verbindung zwischen Photogrammetrie und Computergraphik hergestellt. Abbildung 9 demonstriert anschaulich die Leistungsfähigkeit moderner Computergraphik. Generell ist festzustellen: Was bisher in erster Linie als «Kunst» und «Entertainment» benutzt wird, kann sehr wohl auch für technische Aufgaben eingesetzt werden.

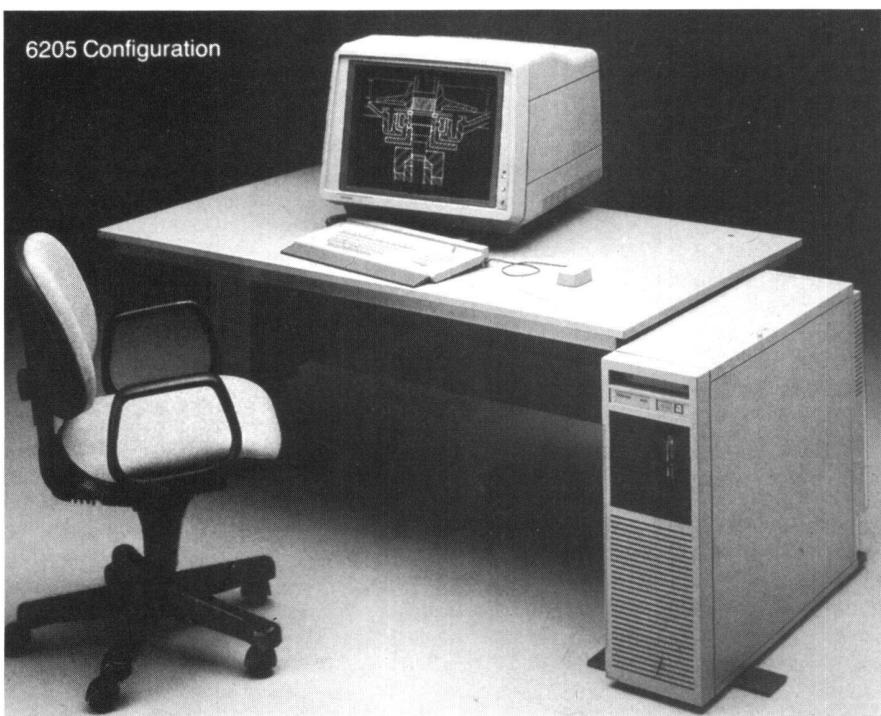


Abb. 8: Tektronix 6205 Konfiguration

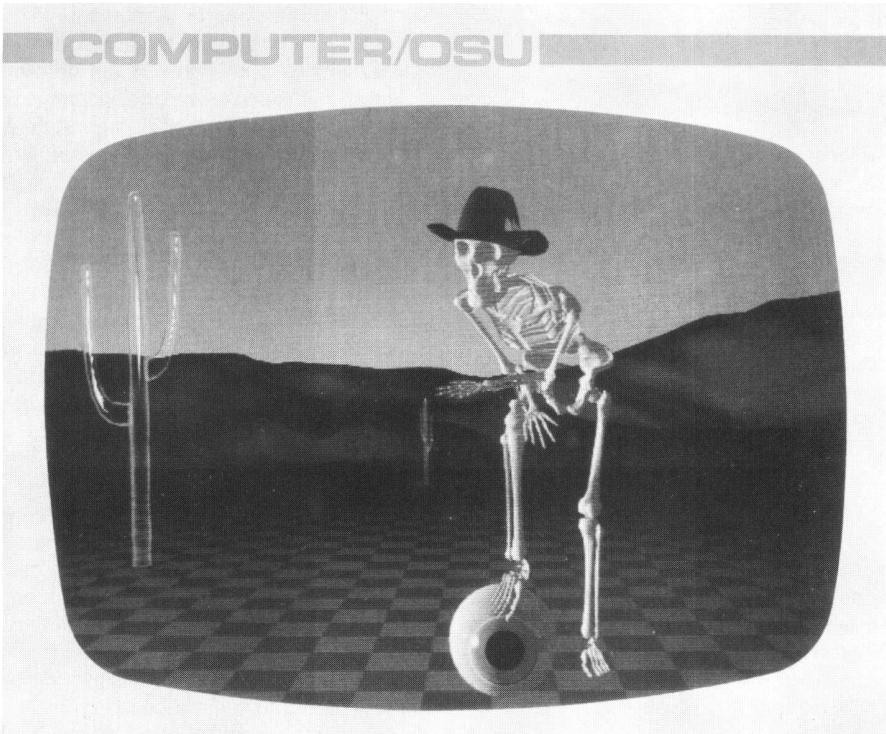
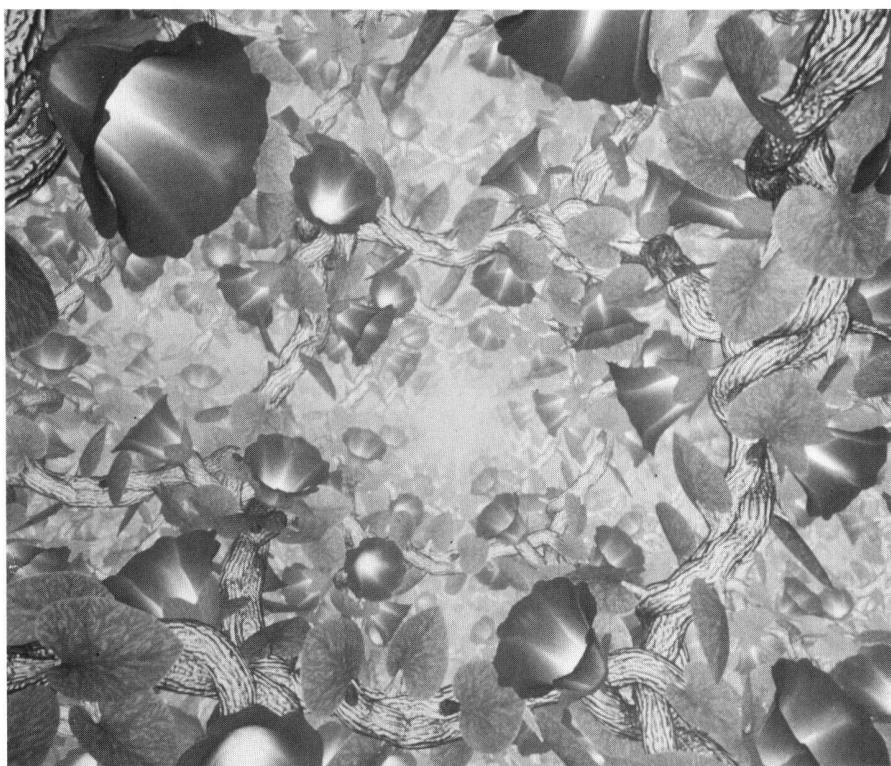


Abb. 9: Ergebnisse moderner Computergraphik
(a) «George Out West» (Cranston/Csuri Production, Columbus, Ohio)



(b) «Inside a Quark» (Greene, New York Institute of Technology)

Weiterhin gibt uns die Computergraphik ein Instrumentarium an die Hand, welches den Lehrbetrieb an den Universitäten lebendiger und wirksamer gestalten könnte. Betrachten wir unser eigenes Umfeld, so stellen wir schnell fest, dass nicht so sehr die Lehrinhalte, aber vielfach der Lehrstil antiquiert ist, ein Relikt aus der guten alten Zeit. Hier klappt oft eine tiefe Lücke zwischen

der Qualität des vermittelten Stoffes und den Kommunikationsformen. Die Computergraphik könnte hier ganz neue Möglichkeiten erschliessen.

Schlussfolgerungen

Für jedermann spürbar befinden wir uns gegenwärtig in einer Phase des Umbruchs.

Computergraphik, Computer Vision und die digitale Sensortechnologie schaffen vollkommen neue Bedingungen für die photogrammetrische Aufnahme und Auswertung. Wir müssen uns diesen neuen Disziplinen stellen. Was sind die Konsequenzen? Viele davon sind letztlich berufständischer Art. Wenn wir selbst uns nicht um die neuen Dinge kümmern, werden es andere tun. Informatiker, Mathematiker, Elektroniker und andere halten bereits jetzt das Feld der Robot Vision besetzt. Noch gibt es Freiräume. Wir sollten sie schnell nutzen.

An unseren Hochschulen müssen wir die Curricula flexibler, individueller gestalten. Wir müssen vom veralteten Konzept der «Normalstudiengänge» zum «Baukastenprinzip» kommen, zum modular aufgebauten Curriculum. Zwar darf das photogrammetrische Basiswissen nicht verloren gehen, aber neue Erkenntnisse müssen schneller als bisher integriert werden. Die Arbeit mit Computern muss für jeden Studenten eine Selbstverständlichkeit werden. Mittelfristig ist anzustreben, jedem Studenten ein Terminal, vorzugsweise ein graphisches, als eigene Arbeitsstation zuzuweisen.

Die klassischen Hersteller photogrammetrischer Geräte spüren als erste die Veränderungen. Um konkurrenzfähig zu bleiben, müssen sie sich umstellen: Vom Hersteller optisch-mechanischer Geräte zum Lieferanten digital aufgebauter Systeme, wobei ein Grossteil der Hardware ausserbetrieblich besorgt werden wird. Die Aufgabe besteht dann in erster Linie darin, die Komponenten zu einem operationellen photogrammetrischen System zu integrieren. Eine wesentliche Tätigkeit wird die Erstellung, Nutzbarmachung und der Unterhalt von Software sein.

Sehen wir aber bei aller Zukunftsorientierung die Situation realistisch. Die konventionellen photogrammetrischen Systeme werden ihren Stellenwert noch für viele Jahre behalten. Die rund 10^{10} bits, welche ein einziges Luftbild an Information beinhaltet, lassen sich nicht so schnell vollautomatisch analysieren und bearbeiten, wie dies der Mensch recht mühelos kann. So mit behält auch das menschliche Individuum auf absehbare Zeit nicht nur seine Bedeutung als der Designer von Systemen, sondern auch als der Auswerter, Bearbeiter der gesammelten Information. Eine tröstliche Situation.

Beachten wir daher bei allem Streben nach Fortschritt was Zarathustra über diesen sagt:

Neues will der Edle schaffen und eine neue Tugend. Altes will der Gute und dass Altes erhalten bleibe (Nietzsche, «Vom Baum am Berge»).

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. A. Grün

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
 ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich