

Ein Jahrzehnt Forschung in digitaler Photogrammetrie am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich

Autor(en): **Grün, Armin**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **93 (1995)**

Heft 4: **ETHZ : Departement Geodätische Wissenschaften = EPFZ :
Département des sciences géodésiques**

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-235147>

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 Jahrzehnt Forschung in Digitaler Photogrammetrie am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich

A. Grün

Dieser Artikel beschreibt in kompakter Form die Forschungsarbeiten der Gruppe «Photogrammetrie und Fernerkundung» am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, die während der letzten zehn Jahren geleistet wurden. Diese Periode ist gekennzeichnet durch wesentliche Fortschritte in der Entwicklung der Photogrammetrie von einer analog/analytischen Methode zu halb- und volldigitalen Verfahren. Verbunden damit ist die teilweise oder gar vollständige Automatisierung von Aufnahme- und Auswerteprozessen, die Realisierung von On-line- und Echtzeitverfahren sowie die Anbindung von GIS und CAD-Systemen. Die moderne photogrammetrische Forschung hat sich geöffnet zur Integration einer ganzen Reihe aufstrebender Disziplinen und Techniken (Bildanalyse, Computer Vision, Computer Graphik, Künstliche Intelligenz, Sensortechnik, Mikroelektronik, Elektrooptik, Datenbanktechnologie, etc.). Durch Erhöhung der Flexibilität und Leistungsfähigkeit ihrer Verfahren werden ihr eine Vielzahl neuer Applikationsbereiche eröffnet. Dies gilt für die Nahbereichsphotogrammetrie (Machine Vision, Robot Vision) ebenso wie für die Aerophotogrammetrie und Satellitenfernerkundung (Umweltmonitoring, Stadt- und Landschaftsmodelle, GIS-Unterstützung). Mit Interesse, Engagement und Zuversicht dürfen wir somit dem nächsten Jahrzehnt entgegensehen.

Le présent article décrit brièvement les travaux de recherche menés au cours des dix dernières années par le groupe «Photogrammétrie et Télédétection» de l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie de l'EPF Zurich. Cette période se caractérise par des progrès décisifs dans le développement de la photogrammétrie, celle-ci évoluant d'une méthode analogique/analytique vers des méthodes semi et totalement numériques. L'automatisation partielle voire complète des processus de prise de vues et de restitution, la mise en œuvre de méthodes en temps réel ainsi que la mise en relation de SIG et de systèmes de DAO en sont parties prenantes. La recherche moderne en photogrammétrie s'est ouverte à l'intégration de toute une série de techniques et de disciplines en plein essor (analyse d'images, visualisation et graphisme automatisés, intelligence artificielle, technique des capteurs, microélectronique, électrooptique, technologie des banques de données, etc.). Une multitude de nouveaux champs d'application s'ouvrent à elle par la flexibilité et le potentiel grandissants de ses méthodes. Ceci vaut aussi bien pour la photogrammétrie à courte distance («machine vision», «robot vision») que pour l'aéro-photogrammétrie et la télédétection par satellites (surveillance de l'environnement, modèles urbains et de terrain, aide aux SIG). Nous pouvons ainsi envisager la prochaine décennie avec intérêt, confiance et beaucoup d'engagement de notre part.

Questo articolo descrive in modo succinto i lavori di ricerca realizzati negli ultimi dieci anni dal gruppo «Fotogrammetria e telerilevamento» dell'Istituto di geodesia e fotogrammetria del Politecnico di Zurigo. Questo periodo è caratterizzato da notevoli progressi nello sviluppo della fotogrammetria che sta passando da un metodo analogico/analitico a dei processi semi digitali o completamente digitali. Tutto ciò è collegato all'automazione parziale o totale dei processi di rilevamento e restituzione, all'operatività di metodi online e in tempi reali, come pure al collegamento con sistemi GIS e CAD. La ricerca fotogrammetrica moderna si è aperta all'integrazione di tutta una serie di tecniche e discipline in pieno sviluppo (analisi delle immagini, visualizzazione e grafica automatizzate, intelligenza artificiale, tecnica dei sensori, microelettronica, elettroottica, tecnologia delle banche dati, ecc.) Una miriade di nuovi campi d'applicazione si aprono alla ricerca fotogrammetrica, grazie alla flessibilità e al potenziale in crescendo dei suoi metodi. Questo vale anche per la fotogrammetria dei vicini (machine vision, robot vision) come pure per l'aerofotogrammetria e il telerilevamento (monitoraggio ambientale, modelli urbani e di terreno, appoggio ai GIS). Il prossimo decennio ci riserverà tante sorprese interessanti, richiedendoci impegno e fiducia.

1. Einleitung

Zehn Jahre sind seit der Neubesetzung der Professur «Photogrammetrie» am 1. August 1984 vergangen. Diese Neubesetzung war verbunden mit einer konsequenten Neuausrichtung der Forschungsthemen in Richtung «Digitale Photogrammetrie». Zehn Jahre mögen eine lange Zeit sein für junge, ungeduldige Forscher, für die signifikante Weiterentwicklung einer ganzen Disziplin ist es jedoch eine eher kurze Periode. Dennoch lässt sich feststellen, dass aus einem ursprünglich nur losen Agglomerat von rudimentären Hardwarekomponenten, Auswertemethoden und Softwarepaketen sich bis heute eine Disziplin entwickelt hat, die für viele Anwendungsbereiche operationelle Lösungen und Systeme zur Verfügung stellen kann und deren weitere Entwicklungschancen als ausgesprochen gut beurteilt werden müssen.

Dieser Artikel beschreibt in aller Kürze die Forschungs- und Entwicklungsbeiträge, die unsere Gruppe während des vergangenen Jahrzehnts geleistet hat. Er dient der Rückschau auf eine Periode intensiver und erfolgreicher Forschungsanstrengungen. Er soll aber gleichzeitig - wenn auch nur indirekt über das Studium der Literaturangaben - den aktuellen Stand der Forschungsthemen dokumentieren und daraus klare Trends für die Arbeiten der nächsten Jahre ableiten.

In zwei weiteren Artikeln dieses Hefts berichtet unsere Gruppe mehr detailliert über zwei Projekte der Digitalen Nahbereichsphotogrammetrie (Kersten et al., 1995) und der Aerophotogrammetrie (Sinning, Grün, 1995), die beispielhaft sind für die verfügbaren operationellen Lösungen des ersteren Bereichs und die Schwierigkeiten zur Bewältigung der Aufgaben aus letzterem Gebiet.

2. Digitale Nahbereichsphotogrammetrie

Zwischen 1984 und 1992, d. h. während zweier Zwischenkongressperioden der ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) hatte sich unsere Gruppe schwerpunktmässig mit der Digitalen Nahbereichsphotogrammetrie, gelegentlich auch als «Machine Vision» bezeichnet, beschäftigt. Die Allgemeingültigkeit der dort entwickelten Verfahren und deren Anwendbarkeit in ganz unterschiedlichen Bereichen wird durch die folgende Liste unserer applikationsorientierten Forschungs- und Entwicklungsprojekte verdeutlicht:

- Oberflächenrekonstruktion menschlicher Gesichter (Medizin, Puppenherstellung)
- Zahnvermessung (Zahnmedizin)
- Menschliche Bewegungsstudien (Biomechanik)

- Bestimmung der Trajektorien fliegender Insekten (Biologie, Pharmazie)
- Architekturobjekte (Architektur, Denkmalschutz, CAAD)
- Autovermessung (Industrielles Design, Qualitätskontrolle, Crashversuche)
- Messung von Flugzeugoberflächen- und Flugzeugmotorenteilen (Materialuntersuchung und Industrielle Inspektion)
- Hochauflösende 3-D Teilchenverfolgung in turbulenten Strömungen (Hydromechanik)
- Tischtennisroboter (Robotik)
- Überwachung von Kristallwachstum (Materialwissenschaft)
- 3-D Verfolgung chemischer Reaktionen in turbulenten Strömungen (Chemie, Hydromechanik)
- Selbstorientierung und Selbstpositionierung von sehenden Robotern (Robotik).

Daneben haben wir grundlegende Studien zur Kalibrierung von CCD-Kameras und vollständiger Nahbereichsmesssysteme durchgeführt. Als erste Gruppe weltweit konnten wir detaillierte CCD-Kamera/Framegrabber - Fehleranalysen vorlegen und die hohe erreichbare Genauigkeit von Standard-CCD-Kamera basierenden Messsystemen nachweisen. Diese Methoden wurden derart verfeinert, dass sich heute mit «mittelformatigen» CCD-Kameras (ca. 2 MPixel) Relativgenauigkeiten von bis zu 1:100 000 erreichen lassen. Über die Entwicklung der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie im internationalen Rahmen gibt Grün, 1994 Auskunft.

3. Hochgenaue Messalgorithmen

Voraussetzung guter Messresultate sind neben adäquatem System- und Netzdesign, sowie genauer Modellierung der Geometrie und Radiometrie von Sensoren und nachfolgenden Verarbeitungskomponenten vor allem auch hochentwickelte Messalgorithmen. Unsere Gruppe benutzt seit 1984 für viele unterschiedliche Messaufgaben das Verfahren des Least Squares Template und Image Matchings. Das grundlegende Konzept dieses Verfahrens wurde vom Autor bereits im Jahre 1983 entworfen. Zunächst wurde, und dies geschah gleichzeitig mit der Stuttgarter Gruppe (Ackermann, 1984), die Methode des 2-D Least Squares Images Matching entwickelt und untersucht (Vortrag am 4. März 1983 in einem Seminar an der Ohio State University, Columbus, Ohio und Grün, 1984). Hierbei wurde unmittelbar klar, dass entscheidende Schwächen dieser Methode, wie die Gefahr multipler Lösungen und kleiner Konvergenzradius,

durch das Verfahren des «Geometrically Constrained Least Squares Matching» vermieden werden konnten. Das algorithmische Gerüst dieses Verfahrens wurde zum ersten Mal in Grün, 1985a und b veröffentlicht. Damals bereits wurden die unterschiedlichen Möglichkeiten geometrischer Zusatzbedingungen bis hin zum Multipatch-Verfahren mit Nachbarbeziehungen zwischen den einzelnen Bildmustern behandelt. Neben der Korrelation von Bildmustern wurden auch bereits andere Applikationen angesprochen, wie etwa Merkmalsextraktion, Veränderungsnachweis, Linienverfolgung und sogar das Herstellen von Korrespondenzen zwischen Datensätzen, die nicht bildhafte Daten repräsentieren, wie etwa Digitale Terrain Modelle, Digitale Landschaftsmo- delle und Linienkartenausschnitte. Inzwischen wurde das Verfahren in allen Detailspekten untersucht, (Grün, Baltsavias, 1988a, Baltsavias, 1991) und in verschiedenen Richtungen weiterentwickelt, so zum Beispiel zur hochgenauen Messung von Kanten industrieller Objekte (Grün, Stallmann, 1991) und zur Verfolgung von 3-D Volumenelementen (basierend auf Voxeldaten) zur Analyse des chemischen Reaktionsverhaltens von Flüssigkeiten (Maas et al., 1994). Heute wird der Ansatz des «Geometrically Constrained Least Squares Matching» in verschiedenen Varianten in einer Vielzahl von Projekten eingesetzt. Es ist demnach zu einem Standardverfahren für genaue automatische Bildmessung geworden.

4. Unsere Forschungsprojekte

Wie bereits unter Kapitel 2 erwähnt, dient die digitale Nahbereichsphotogrammetrie zunächst unser Hauptaugenmerk. Von Beginn an hatten wir aber auch Grundlagenforschungsthemen behandelt, sowie uns mit Problemen der Luftbild- und Satellitenphotogrammetrie beschäftigt. Inzwischen hat unserer Einschätzung nach die digitale Nahbereichsphotogrammetrie in vielen Applikationen einen hohen Reifegrad erreicht, sodass heute vielfach mehr Fragen der Systemintegration, Implementierung, Anpassung, Maintenance etc. im Vordergrund stehen. Somit haben wir uns seit einigen Jahren vermehrt Forschungsthemen aus der Luftbild- und Satellitenphotogrammetrie zugewandt.

Die folgende Tabelle zeigt summarisch und chronologisch (nach Projektbeginn) geordnet alle grösseren Forschungsprojekte unserer Gruppe. Neben der Finanzierung aus eigenen Institutsmitteln traten und treten dabei Institutionen und Firmen als Sponsoren auf.

Daneben gebührt vielen weiteren Projektpartnern und den dort erwähnten Sponso-

ren Dank, die im Rahmen kleinerer, hier nicht aufgeführter Projekte Mittel für Forschung und Entwicklung beigetragen haben. Der an Details interessierte Leser sei auf die laufenden Jahresberichte des IGP verwiesen. Dort finden sich neben einer inhaltlichen Beschreibung der jeweils aktiven Forschungsprojekte auch Angaben über Dienstleistungen und Publikationen.

Wenn wir uns nun der problematischen Aufgabe unterziehen, die wesentlichsten Forschungsbeiträge aus unserer eigenen Werkstatt selbst zu benennen, dann könnte eine solche Liste, in chronologischer Reihenfolge, etwa folgendermassen aussehen:

- Algorithmen zur adaptiven Kleinste Quadrate Korrelation (Grün, 1984) und zum «Geometrically Constrained Least Squares Matching» (Grün, 1985a, b, Gruen, Baltsavias 1988a, Baltsavias, 1991)
- Nachweis der Operationalität hochgenauer photogrammetrischer Punktbestimmung (Grün, 1986a, c, Grün, Runge, 1987)
- Einführung des Konzepts und Realisierung der «Digitalen Photogrammetrischen Station» (Grün, 1986b, 1989, Gruen, Beyer, 1991)
- Einführung von Systemkonzepten sowie Fehler- und Genauigkeitsstudien an volldigitalen CCD-Kamera basierenden Nahbereichssystemen (Grün, Beyer, 1987, Beyer, 1987, 1992a, Dähler, 1987, Grün, 1988)
- Einführung des Konzepts einer universell nutzbaren low-cost Workstation zur Herstellung digitaler Orthophotos (Baltsavias et al., 1991)
- Genauigkeitsstudien und Systemtests zur Integration kinematischer GPS-Beobachtungen in photogrammetrische Blöcke (Grün, Runge, 1988, Grün et al., 1994)
- Algorithmische und Software Entwicklungen sowie Systemtests zur On-line Triangulation in der Aerophotogrammetrie und im Nahbereich (Grün, 1985c, Kersten et al., 1992, Grün, Kersten, 1992)
- Erweiterung und Modifikation der Methode des «Geometrically Constrained Least Squares Matching» in verschiedene Richtungen wie zum Beispiel zur Rekonstruktion von menschlichen Gesichtern und Oberflächen industrieller Objekte (Grün, Baltsavias, 1988b, Maas, 1992b)
- Vermessung industrieller Objekte (Grün, Stallmann, 1991, Beyer, 1992b, Maas, Kersten, 1994)
- Generierung von DTMs aus Luftbildern (Grün, Baltsavias, 1986, Baltsavias,

Forschungsprojekte der Professur «Photogrammetrie»

- 1984 – Adaptive kleinste Quadrate Korrelation (ETHZ, WILD)
– Punktübertragung am Analytischen Plotter (IGP)
- 1985 – Photogrammetrische Punktbestimmung im Echtzeitmodus (ETHZ)
– Testfeld zur CCD-Kamerakalibrierung (IGP)
– Untersuchungen von Weltraumaufnahmen (IGP)
- 1986 – On-line Triangulation (DoD)
– Integration von Navigationsdaten in photogrammetrische Blöcke (IGP, ETHZ)
– Automatische Objektverfolgung in Stereovisionssystemen (NF)
– Integration von DTM und Computergraphik (IGP)
- 1988 – Photogrammetrische Bestimmung von Geschwindigkeitsfeldern in turbulenten Strömungen (NF)
– On-line DTM data capture by image matching on the WILD S9-AP (KWF, WILD)
- 1990 – Design and analysis of spatial image sequences (NFP23, KERN)
– Digitale Architekturphotogrammetrie und CAAD (ETHZ)
– Automatisches flexibles Inspektionssystem (NRC, SAL)
– Oberflächenmessung mit strukturiertem Licht (IGP, ESA)
- 1991 – Geodatenverarbeitung zum CAAD-gestützten Analysen und Entwerfen urbaner Entwicklungsräume (NF)
- 1992 – Chemische Reaktionen in turbulenten Strömungen (ETHZ)
– Rasterdatenverarbeitung in GIS durch Monoplotting (KWF, Strässle)
- 1994 – Photogrammetric methods applied to fluid motion visualized by tracers (ESA)
– Digitale Architekturphotogrammetrie in der bauhistorischen Forschung (DAI)

Die Jahreszahl markiert den Beginn der jeweiligen Projekte.

Die Projektsponsoren:

IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETHZ	ETH Zürich
NF	Schweizerischer Nationalfonds
KWF	Kommission zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung
NFP23	Nationales Forschungsprojekt 23
ESA	ESA/ESTEC (European Space Agency)
NRC	National Research Council, Canadian Institute of Industrial Technology, Winnipeg
DAI	Deutsches Archäologisches Institut
DoD	US Department of Defense
WILD	WILD Heerbrugg AG
KERN	KERN & Co. AG, Aarau
Strässle	STI Strässle AG, Glattbrugg
SAL	Standard Aero Limited, Winnipeg, Canada

- 1989) und SPOT-Stereomodellen (Baltsavias, Stallmann, 1992)
Entwicklung neuer Verfahren und Systeme zur 3-D Messung turbulenter Strömungen (Maas, 1992a, Maas et al., 1993) und zur Bestimmung des Ablaufs chemischer Reaktionen von Flüssigkeiten (Maas et al., 1994)
- Automatisches Design photogrammetrischer Netze unter Einsatz von Expertensystemtechnologie (Mason, Kepuska, 1992, Mason, 1994)

- Halbautomatische Extraktion von Strassen und Häusern aus Satelliten- und Luftbildern (Grün, Li, 1994, Gruen et al., 1993)
- Entwicklung neuer Konzepte und Methoden für die digitale Architekturphotogrammetrie (Streilein, 1994, Grün, Streilein, 1994)
- Analyse- und Testverfahren für Bildscanner (Baltsavias, 1994).

5. Ausblick

Ebenso wie Forschungshilfsmittel und Applikationsbereiche von Forschungsergebnissen sind auch relevante Forschungsthemen einem steten Wandel unterworfen. In der Nahbereichsphotogrammetrie ist die Ausmessung natürlicher, nichtsignalisierter Objekte, zum Beispiel natürlicher Objektkanten, ein wichtiges Thema. Auch ergeben sich durch die Integration von GIS und CAD Systemen neue Möglichkeiten und Herausforderungen. Die Notwendigkeit, Daten in strukturierter Form zu erzeugen und die Schwierigkeiten, die bei der Lösung von Aufgaben des automatischen Bildverstehens zu überwinden sind, erfordern den Einsatz von Objektmodellen unterschiedlicher Detaillierungsniveaus. In Abhängigkeit von der Komplexität des Bildinhaltes können vollautomatische Auswerteverfahren oder müssen halbautomatische Methoden eingesetzt werden. Letzteres gilt im Nahbereich insbesondere für Aufgaben aus der Architekturphotogrammetrie, ansonsten für die meisten Aufgaben der Luftbild- und Satellitenphotogrammetrie. Generell ist die Aufgabe der vollständigen Automatisierung aller Auswerteprozesse so anspruchsvoll, dass es für die kommenden Jahrzehnte noch viele Forschungsthemen zu bearbeiten geben wird. Nie zuvor war die Photogrammetrie so interessant und weit offen für Neuentwicklungen.

Literatur:

- Ackermann, F. (1984): Digital image correlation: Performance and potential application in photogrammetry. Photogrammetric Record 11 (64), pp. 429-439
- Baltsavias, E. (1989): Hierarchical multiphoto matching and DTM generation. Beiträge der Professur «Photogrammetrie zum 16. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, 1-10. July 1988, Kyoto, IGP Bericht Nr. 156.
- Baltsavias, E. (1991): Multiphoto Geometrically Constrained Matching. PhD Thesis, Mitteilungen 49, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich.
- Baltsavias, E.P. (1994): Test and calibration procedures for image scanners. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 1, pp.163-170.
- Baltsavias, E., A. Grün, M. Meister (1991): Digitale Orthophoto Workstation (DOW). Ein leistungsfähiges System zur Generierung digitaler Orthophotos aus Luftbildern und SPOT-Szenen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 10, S. 553-559.
- Baltsavias, E., D. Stallmann (1992): Advancement in matching of SPOT images by integration of sensor geometry and treatment of radiometric differences. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.29, Part B5, pp.916-924.

- Beyer, H. (1987): Some aspects of the geometric calibration of CCD-cameras. Proceedings of the Intercommission Conference on «Fast Processing of Photogrammetric Data», Interlaken, Switzerland, June 2-4, 1987, pp. 68-81.
- Beyer, H. (1992a): Geometric and radiometric analysis of a CCD-camera based photogrammetric close-range system. PhD Thesis, Mitteilungen 51, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich.
- Beyer, H. (1992b): Formvermessung von Crashfahrzeugen. AVN - Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 8-9, S. 356-363.
- Dähler, J. (1987): Problems in digital image acquisition with CCD cameras. Proceedings of the Intercommission Conference on «Fast Processing of Photogrammetric Data», Interlaken, Switzerland, June 2-4, 1987, pp. 48-59.
- Grün, A. (1984): Adaptive Least Squares Correlation - concepts and first results. Intermediate Research Project Report to Helava Assoc., Ohio State University, Columbus, Ohio, March.
- Grün, A. (1985a): Adaptive Least Squares Correlation: A powerful image matching technique. S. Afr. J. of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography 14 (3), pp. 175-187.
- Grün, A. (1985b): Adaptive kleinste Quadrate Korrelation und geometrische Zusatzinformationen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 9, S. 309-312.
- Grün, A. (1985c): Algorithmic aspects in online triangulation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.51, No.4, pp.419-436.
- Grün, A. (1986a): Projekt «Uster» - ein Beispiel moderner photogrammetrischer Punktbestimmung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 4, S. 136-142.
- Grün, A. (1986b): The Digital Photogrammetric Station at the ETH Zurich. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 26, Part 2, pp. 76-84.
- Grün, A. (1986c): Photogrammetrische Punktbestimmung mit der Bündelmethode. Leistungssteigerung durch Kompensation systematischer und Elimination grober Fehler. Mitteilungen 40, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.
- Grün, A. (1988): Towards real-time photogrammetry. Photogrammetria, Vol. 42, No. 5/6, pp. 209-244.
- Grün, A. (1989): Digital Photogrammetric Processing Systems: Current status and prospects. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No.5, pp. 581-586.
- Grün, A. (1994): Digital close-range photogrammetry - Progress through automation. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.30, Part 5, pp.122-135.
- Grün, A., E. Baltsavias (1986): High precision image matching for Digital Terrain Model generation. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 26, Part 3/1, pp. 284-296.
- Grün, A., E. Baltsavias (1988a): Geometrically Constrained Multiphoto Matching. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.54, No. 5, pp. 633-641.
- Grün, A., E. Baltsavias (1988b): Automatic 3-D measurement of human faces with CCD-cameras. SPIE Proceedings, Volume 1030, Biostereometrics, 14-17 Nov. 1988, Basel, pp. 106-115.
- Grün, A., H. Beyer (1987): Real-time photogrammetry at the Digital Photogrammetric Station (DIPS) of ETH Zurich. The Canadian Surveyor, Vol.41. No.2, pp. 181-199.
- Grün, A., H. Beyer (1991): DIPS II - Turning a standard computer workstation into a digital photogrammetric station. ZPF- Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr.1, S. 2-10.
- Grün, A., M. Cocard, A. Geiger, H.-G. Kahle, B. Moser (1994): GPS-gestützte hochgenaue Luftbildphotogrammetrie. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 7, S. 333-339.
- Grün, A., Th. Kersten (1992): Sequential estimation in robot vision. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 5, pp. 923-931.
- Grün, A., H. Li (1994): Semi-automatic road extraction by dynamic programming. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 3/1, pp. 324-332.
- Grün, A., A. Runge (1987): Projekt «Heinzenberg» - Präzisionsphotogrammetrie im Gebirge. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr.7, S. 271-276.
- Grün, A., A. Runge (1988): The accuracy potential of self-calibrating aerial triangulation without control. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B3, pp. 245-253.
- Grün, A., D. Stallmann (1991): High accuracy edge matching with an extension of the MPGC-matching algorithm. SPIE Proceedings, Vol. 1526, Industrial Vision Metrology, Winnipeg, pp. 42-55.
- Grün, A., A. Streilein (1994): Videogrammetry, CAAD and semi-automated extraction of architectural features. Proceedings of the First International Colloquium «La Fotogrammetria per il Resturo e la Storia», Bari, Italy, 10-12 November 1994, to be published.
- Grün, A., A. Streilein, D. Stallmann, H. Dan (1993): Automation of house extraction from aerial and terrestrial images. Presented Paper at the Conference AUSIA 93 (Second International Colloquium of LIESMARS), October 19-22, 1993, Wuhan, China.
- Kersten, Th., K. Holm, A. Grün (1992): Online point positioning with single frame camera data. IGP Report No.197, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich.
- Kersten, Th. H.-G. Maas, E. Schmassmann, K. Piezzi (1995): Photogrammetrische Punktbestimmung für die Staumauerüberwachung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 4, S. 216-220.
- Maas, H.-G. (1992a): Digitale Photogrammetrie in der dreidimensionalen Strömungsmesstechnik. PhD Thesis, Mitteilungen 50, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.
- Maas, H.-G. (1992b): Robust automatic surface reconstruction with structured light. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.29, Part B5, pp.709-721.
- Maas, H.-G., A. Grün, D. Papantoniou (1993): Particle tracking velocimetry in three-dimensional flows. Part I: Photogrammetric determination of particle coordinates. Experiments in Fluids, Vol. 15. pp. 133-146.
- Maas, H.-G., Th. Kersten (1994): Digitale Nahbereichsphotogrammetrie bei der Endmontage im Schiffsbau. ZPF- Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 3, S. 96-102.
- Maas, H.-G., A. Stefanidis, A. Grün (1994): From pixels to voxels: Tracking volume elements in sequences of 3-D digital images. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 3/2, pp. 539-546.
- Mason, S. (1994): Expert System based design of photogrammetric networks. PhD Thesis, Mitteilungen 53, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich.
- Mason, S., V. Kepuska (1992): Consens: An expert system for photogrammetric network design. AVN - Allgemeine Vermessungsnachrichten, 8-9, S. 384-394.
- Sinning M., A. Grün (1995): Integrierte 3-D Stadtmodelle für urbane Entwicklung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 4, S. 209-215.
- Streilein, A. (1994): Towards automation in architectural photogrammetry: CAD-based 3D-feature extraction. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 49, No. 5, pp. 4-15.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. Armin Grün
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich