

Automatische äußere Orientierung in der Orthophotoproduktion - ein Erfahrungsbericht

THOMAS LÄBE¹ & MANFRED HENZE²

Zusammenfassung: Eine der notwendigen Voraussetzungen zur Erstellung eines Orthophotos ist die Kenntnis der äußeren Orientierung des zu bearbeitenden Bildes. Hierfür wurde am Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn innerhalb eines Kooperationsprojektes mit dem Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen ein vollautomatisches Verfahren ("AMOR") entwickelt, das auf der Suche von projizierten 3D-Kanten im Bild basiert (SCHICKLER, 1992). Als Datenbasis zur Bestimmung der äußeren Orientierung werden anders als beim konventionellen manuellen Vorgehen keine Paßpunkte sondern sogenannte "Paßpunktmodelle" verwendet. Zur flächendeckenden Orthophotoproduktion wurden in Nordrhein-Westfalen landesweit Drahtgittermodelle von Gebäuden als Paßpunktmodelle erfaßt. AMOR ist in den Produktionsablauf der Orthophotoherstellung beim Landesvermessungsamt integriert worden. Der Aufsatz gibt einen Überblick über AMOR und dessen Integration beim Landesvermessungsamt NRW.

1 Motivation und Historie

Anfang der 90er Jahre wurden im Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen für die Herstellung von Orthophotos und Luftbildkarten erstmals digitale Techniken eingesetzt: Die Orthoentzerrung gescannter Luftbilder erfolgte auf Spezialsystemen (Signalprozessoren, von DEC-MicroVAX gesteuert).

Die Verarbeitungszeiten auf diesen Systemen erwiesen sich für den geforderten Durchsatz von täglich ca. 10 Luftbildkarten als zu hoch, so daß die Batchfähigkeit des Systems zur nächtlichen Bearbeitung herangezogen werden sollte. Hierzu mußten die interaktiven Messungen zur Orientierung der Luftbilder automatisiert werden. Das führte ab 1990 zur Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur Automatischen Modellgestützten Lokalisierung von Paßpunkten in digitalen Luftbildern und bis 1994 zur Entwicklung eines Verfahrensablaufs einer automatischen Orientierung von Einzelbildern ("AMOR") inklusive Einbettung des Verfahrens in den Workflow und in das Bildverarbeitungssystem am Landesvermessungsamt.

AMOR benötigt zur Lokalisierung Paßpunktmodelle. Zur Generierung solcher Modelle sollte das am Landesvermessungsamt vorhandene topographische Paßpunktarchiv, welches aus 3D-Koordinaten, Übersichts- und Detail-Grundrißskizzen besteht, genutzt werden. Aufgrund nicht hinreichend geometrisch genauer Paßpunktskizzen erwies sich die Modellgenerierung als nicht erfolgreich. Ein Feld von Paßpunktmodellen wurde dann in den Jahren 1995 bis 2000 mit jeweils einem Jahr Vorlauf zum Erneuerungsturnus der Orthophotos aus den Luftbildern der jeweils vorangegangenen Bildflüge (i.d.R. 6 Jahre alt) erstellt. Im Jahr 1996 wurde das Verfahren in die am Landesvermessungsamt neu beschaffte Leica-Helava-Software integriert und im Jahr 2002 wurde es um die Verarbeitung farbiger Bilder und um eine Client-Server-Möglichkeit erweitert.

¹ Dipl.-Inform. (FH) Thomas Läbe, Institut für Photogrammetrie, Universität Bonn, Nußallee 15, 53115 Bonn, e-mail: laebe@ipb.uni-bonn.de

² Ing. grad. Manfred Henze, Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Muffendorfer Straße 19-21, 53177 Bonn, e-mail: manfred.henze@lverma.nrw.de

Im weiteren Verlauf wird zunächst das Prinzip erläutert, es wird das Verfahren aufgezeigt und der Aufbau der Modelldatenbank beschrieben, bevor auf die Installation und die Erfahrungen eingegangen und ein abschließender Ausblick gegeben wird.

2 AMOR : Prinzip

Ein Algorithmus, der vollautomatisch die äußere Orientierung eines Luftbildes aufgrund von Messungen im Bild selber berechnen soll, muß, wie auch der Operateur bei einem manuellen Verfahren, eine Zuordnung zwischen Paßinformation und Bildinhalt herstellen. Die Paßinformation sind bei dem klassischen manuellen Verfahren Paßpunkte, wobei der Operateur aber zusätzliche Information z. B. Paßpunktskizzen benötigt, um diese zu identifizieren. Auch ein automatisches Verfahren kann ohne zusätzliche Informationen keine einzelnen Punkte im Bild eindeutig zuordnen. Es werden also Merkmale benötigt, die im Bild automatisch wiederzufinden sind. Mögliche Merkmale sind z.B. signalisierte Punkte, die aber i.a. für jede Befliegung neu im Gelände zu verteilen sind und daher auf lange Sicht einen großen Aufwand und entsprechende Kosten verursachen. Die Idee von AMOR ist daher, Merkmale zu benutzen, die natürlicherweise auf Luftbildern zu finden sind. Hier bieten sich dreidimensionale Kanten an, die sich im Bild als Bildkanten wiederfinden. Eine automatische Kantenextraktion kann Bildkanten bestimmen, die dann den im Objektsystem gegebenen 3D-Kanten zugeordnet werden müssen. Möchte man nun über einen langen Zeitraum mit den selben Paßinformationen in verschiedenen Jahren aufgenommene Luftbilder orientieren, so werden möglichst zeit-invariante 3D-Kanten benötigt. Eine solche Klasse von 3D-Kanten stellen Gebäudekanten dar. In AMOR werden daher 3D-Drahtgittermodelle von Gebäuden, sogenannte *Paßpunktmodelle* (s. Abb. 1) verwendet.

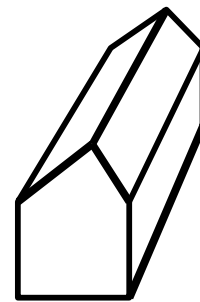


Abb. 1: Ein Paßpunktmodell

2.1 AMOR: Der Algorithmus

AMOR läuft in folgenden Schritten ab (s. Abb. 2):

- **Projektion der Paßpunktmodelle auf das Luftbild.** Hierfür werden Näherungswerte für die äußere Orientierung benötigt. Das Resultat dieses Schrittes ist ein 2D-Drahtgittermodell im Bildsystem.
- **Extraktion von geraden Bildkanten.** Hierfür kann ein beliebiger Kantenoperator verwendet werden. Die Kantenextraktion wird nur auf den Teilbereichen des Luftbildes durchgeführt, in denen die Paßpunktmodelle gesucht werden sollen. Die Größe des Suchbereiches hängt von der Genauigkeit der Näherungswerte der äußeren Orientierung ab.
- **Zuordnung Bildkanten zu Modellkanten.** Jetzt liegen die zuzuordnenden Daten im gleichen Format (2D-Kanten) vor. Also kann ein Matching durchgeführt werden, das in diesem Falle durch ein *Pose Clustering* implementiert ist (s. SESTER & FÖRSTNER (1989)). Hier wird ausschließlich eine Translation eines Paßpunktmodelles im Bild bestimmt. In einem Cluster-Array werden für jede mögliche Zuordnung Bildkante zu

Modellkante Gewichte aufaddiert, so daß der maximale Wert einer Cluster-Zelle die wahrscheinlichste Position des Paßpunktmodelles im Bild darstellt. Dieser Schritt führt auch zu einer Menge von Zuordnungen Bildkante-Modellkante an der gefundenen Position.

- **Eliminierung von Ausreißern durch ein RANSAC-Verfahren.** Da grundsätzlich mehr als die minimal benötigte Anzahl von Paßpunktmodellen vorhanden sein sollte, können Ausreißer detektiert und korrigiert werden. In diesem Schritt wird aus der Position von 4 Paßpunktmodellen eine äußere Orientierung durch einen Räumlichen Rückwärtsschnitt im Gauß-Markoff-Modell bestimmt. Hierfür werden alle möglichen Kombinationen von Modellen verwendet, bei denen aufgrund der geometrischen Konfiguration eine sichere Orientierungsbestimmung möglich ist. Diejenige Lösung wird verwendet, bei der alle anderen Bildpositionen der Paßpunktmodelle die kleinsten Abweichungen zu der aus der berechneten Orientierung resultierenden Position im Bild besitzen. Dieses Verfahren ist sehr robust und korrigiert falsch lokalisierte Paßpunktmodelle, indem die berechnete Orientierung benutzt wird, um die Modelle neu zu projizieren und Bildkanten zuzuordnen.
- **Robuster Räumlicher Rückwärtsschnitt unter Verwendung von Bildkanten als Beobachtungen.** Eine robuste Ausgleichung verwendet jetzt *alle* Paßpunktmodelle und deren Zuordnung zu Bildkanten, um ein globales Optimum für die Parameter der äußeren Orientierung zu berechnen. Als Näherungswert wird das Ergebnis des RANSAC-Verfahrens verwendet. Die Ausgleichung hat durch die Vielzahl von beobachteten Bildkanten eine hohe Redundanz und kann daher falsche oder schlecht zugeordnete Bildkanten eliminieren bzw. heruntergewichten.
- **Selbstdiagnose.** Das Ausgleichungsergebnis wird analysiert um festzustellen, ob das berechnete Ergebnis verworfen oder akzeptiert werden sollte.

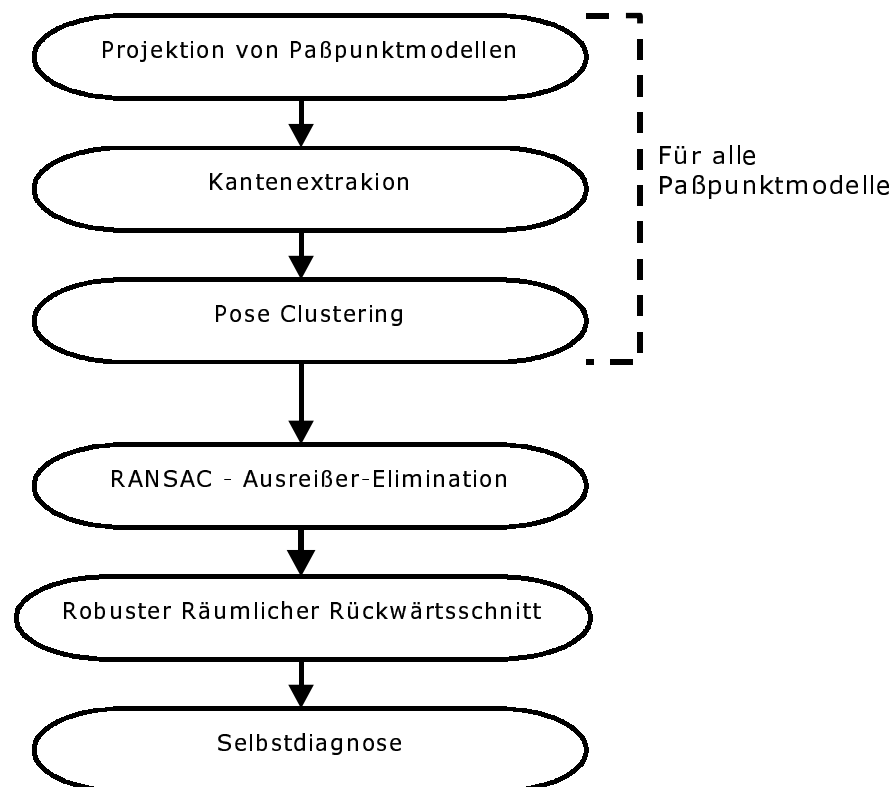


Abb. 2: AMOR-Algorithmus

Die Tab. 1 zeigt die Anteile der einzelnen Rechenschritte an der Gesamtlaufzeit.

Tab. 1 : Anteile an der Rechenzeit von AMOR

| Programmteil | Anteil an Rechenzeit |
|----------------------------------|----------------------|
| Paßpunktmodellssuche | 21 % |
| Projektion | 1 % |
| Kantenextraktion | 34 % |
| Pose-Clustering | 27 % |
| RANSAC – Ausreißer – Elimination | 1 % |
| Robuste Schätzung | 10 % |
| Sonstige Zwischenschritte | 6 % |

3 Die Paßpunktmodelldatenbank

Um für Nordrhein-Westfalen den Einsatz von AMOR in der Orthophotoproduktion zu ermöglichen, müssen für die gesamte Landesfläche Paßpunktmodelle vorhanden sein. Dies ist aufgrund mangelnder Bebauung nur auf ca. 80 % der Landesfläche möglich. Die Luftbilder mit ungenügender Paßpunktdeckung werden wie bisher durch Aerotriangulation orientiert. Für ein Luftbild, das eine Fläche von 2.8x2.8 qkm abdeckt, wurde ein regelmäßiges Raster von insgesamt 9 Paßpunktmodellen angestrebt. Diese relativ hohe Anzahl von Modellen ermöglicht eine sichere Orientierung und Selbstdiagnose. Die Erfassung der Gebäudemodelle ist innerhalb von 5 Jahren am Institut für Photogrammetrie durchgeführt worden. Das folgende photogrammetrische Meßverfahren ist hierfür verwendet worden:

- Orientierung von Luftbildern am Analytischen Plotter P3 mittels manuell gemessenen Paßpunkten. Hierfür wurden die vom Landesvermessungsamt beauftragten Bildflüge für die Orthophotoproduktion verwendet.
- Scannen der Bildausschnitte mit den Paßpunktmodellen durch in den Analytischen Plotter eingebauten CCD-Kameras.
- Blockausgleichung eines Bildverbandes von durchschnittlich ca. 400 Luftbildern.
- Erfassung der Gebäudemodelle auf den orientierten digitalen Bildausschnitten mittels des Gebäudeextraktionsprogrammes inJECT (GÜLCH, 2000) bzw. dessen Vorgängerprogrammen.

Während der Erfassung wurden ca. 18000 Luftbilder bearbeitet. Die Datenbank enthält nun für Nordrhein-Westfalen (34000 qkm Gesamtfläche) ca. 35000 Paßpunktmodelle, die für AMOR verwendet werden können. Abb. 3 zeigt die gesamte Paßpunktmodelldatenbank, wobei die Rasterlinien die Blattgrenzen der topographischen Karten 1:25000 darstellen. Ein Paßpunktmodell kann aus einem oder mehreren Primitiven bestehen, wobei unter Primitiv eine einfache Gebäudeform wie etwa Satteldachhaus oder Flachdachhaus zu verstehen ist. Teilweise werden Gebäudegruppen verwendet, um beispielsweise bei Reihenhäusern eine sichere Lokalisierung zu ermöglichen. Durchschnittlich wurden 1.9 Primitive pro Paßpunktmodell gemessen. Die verwendeten Anteile von Primitivtypen ist der Tab. 2 zu entnehmen.

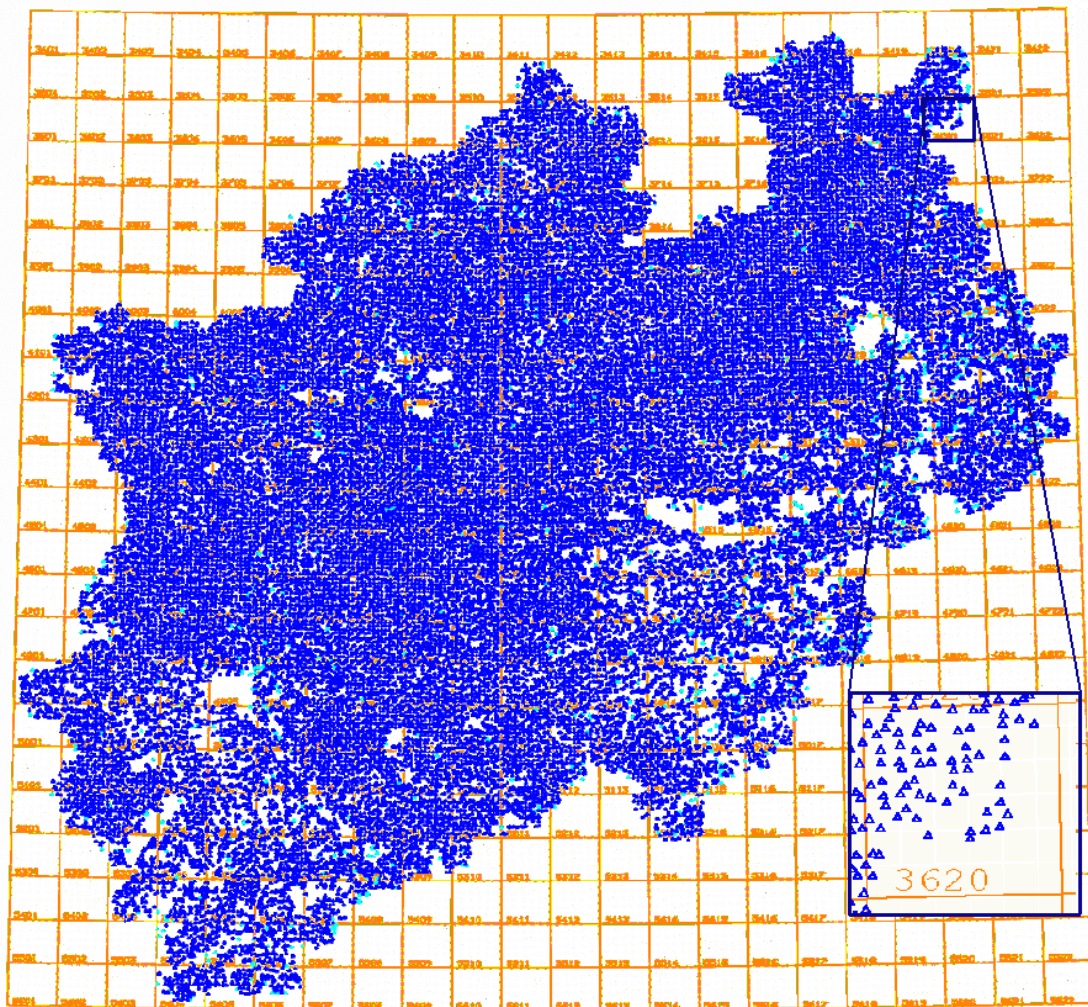


Abb. 3: Paßpunktmodelldatenbank (mit TK 25 Blattschnitt)

Tab. 2: Modelltypen der Paßpunktmodelldatenbank

| Modelltyp | Anteil |
|----------------------------|-------------|
| Satteldach (symmetrisch) | 74 % |
| Satteldach (unsymmetrisch) | 9 % |
| Flachdach | 11 % |
| Walmdach | 5 % |
| Sonstiges | 1 % |

4 Installation am Landesvermessungsamt

Am Landesvermessungsamt werden die gescannten Luftbilder bereits am Scanner mit der inneren Orientierung versehen. Näherungswerte der äußeren Orientierungen werden durch grobe Ausmessung von Luftbildkontaktabzügen auf einem DIN A3-Digitalisieretafelt und anschließendem räumlichen Rückwärtsschnitt bestimmt. Direkt vor der Orthoentzerrung liefert AMOR dann die exakten Orientierungswerte.

Die Installation von AMOR am Landesvermessungsamt erfolgte auf einem SUN-Server Fire280 mit 750MHz Doppelprozessor und 2049 MB Hauptspeicher unter Solaris 8 sowie auf zwei SUN-Workstations Sparc 20/71 mit je 70MHz und 384 MB Hauptspeicher unter Solaris 2.6. AMOR wurde direkt in die Leica Helava Software SocetSet 4.4.0 (vergl. Abb. 4) eingebunden und greift über die C++ Bibliothek ToolkitSocet auf die Bilder und internen Ressourcen von SocetSet zu. AMOR wird über die Standardmenüleiste aufgerufen und ist entweder lokal lauffähig oder remote auf dem Server und zwar jeweils direkt oder im Batchmode.

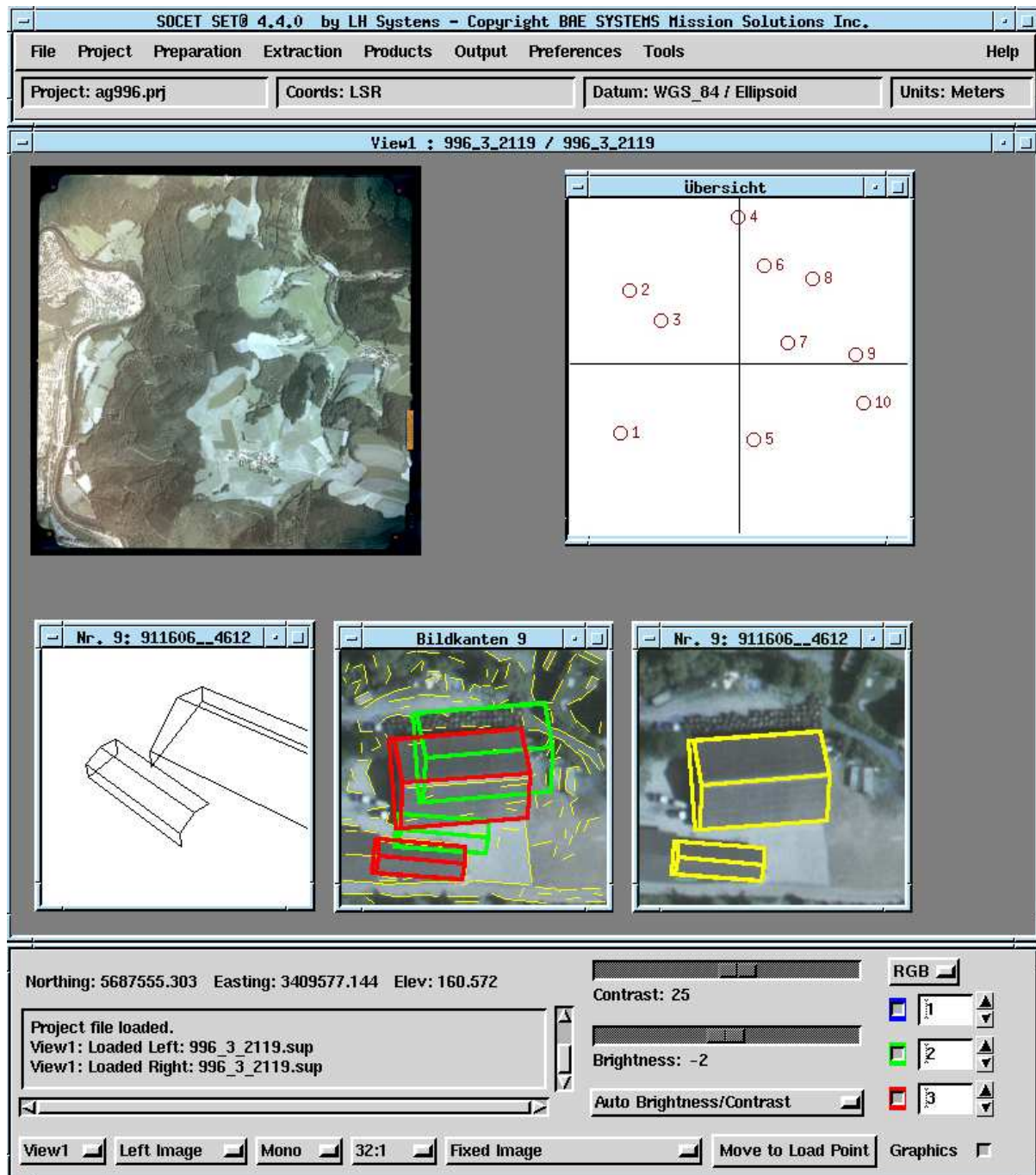


Abb. 4: Screenshot der Leica Helava Umgebung mit AMOR-Visualisierung

5 Ergebnisse

Die Laufzeiten von AMOR für die erfolgreiche Orientierung von TrueColor-Bildern mit einer Scanauflösung von 25 Mikrometern und jeweils 10 Paßpunktmodellen betragen bei einem Suchbereich von 25 m ca. 13 Sekunden auf dem Server und ca. 2 Minuten auf den Workstations. Die Erfolgsrate ist in Tab. 3 dargestellt. Sie zeigt, daß AMOR in ca. 80% von 154 Stichproben eine richtige Orientierung berechnete. Der Anteil der zunächst als unsicher klassifizierten Orientierungen ist mit 36% noch nicht voll zufriedenstellend. Hier werden z.Zt. einige Verbesserungen vorgenommen.

Tab. 3: Erfolgsrate

| AMOR-Meldung / tatsächlich | Anteil |
|-------------------------------|--------------|
| ok / ok | 44,2% |
| ok / fehlerhaft | 0,6% |
| fehlerhaft / fehlerhaft | 14,3% |
| unsicher / ok | 36,4% |
| unsicher / fehlerhaft | 4,5% |

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Modul zur automatischen äußeren Orientierung wird beim Landesvermessungsamt im Produktionsprozeß eingesetzt. Dies zeigt, daß auch spezielle Bildverarbeitungsalgorithmen, die teilweise auf Heuristiken beruhen, und moderne robuste Schätzverfahren auch praktische Relevanz besitzen. AMOR ist als vollautomatisches Verfahren, das im Batch-Modus z.B. in der Nacht ausgeführt werden sollte, konzipiert worden. Der Fortschritt in der Rechenleistung der zur Verfügung stehenden Hardware erlaubt es jetzt, daß das Verfahren direkt während des normalen Arbeitsablaufes erfolgreich eingesetzt wird. Auch ist geplant, GPS-Daten für die Bereitstellung der Näherungswerte zu nutzen, so daß die Vordigitalisierung entfällt und sich der Gesamtprozeß noch effektiver gestalten läßt.

Die für Nordrhein-Westfalen erfaßte Paßpunktmodelldatenbank sollte aktualisiert werden, um einen gleichbleibend erfolgreichen Einsatz von AMOR zu gewährleisten. Die Erfahrung zeigt, daß zum gegenwärtigen Zeitpunkt weniger als 5% der Modelle neu erfaßt werden sollten. Es ist geplant, diese Erfassung auf den vorhandenen Luftbildern der Orthophoto-Befliegungen mittels des Gebäudeextraktionsprogrammes inJECT (GÜLCH, 2000) durchzuführen. Um eine effektive Verwaltung der Paßpunktmodelle zu gewährleisten, wird die zur Zeit als indizierte Datei implementierte Paßpunktmodelldatenbasis durch ein Datenbankmanagementsystem ersetzt werden. Hierzu werden Schnittstellen sowohl zu inJECT als auch zu AMOR implementiert.

Die für AMOR notwendigen Paßinformationen erfordern 3D-Gebäudedaten *innerhalb* von photogrammetrischen Anwendungen. Zum Zeitpunkt der Konzeption waren noch keine digitalen Verfahren zur Gebäudeextraktion entwickelt, so daß am Institut für Photogrammetrie auch durch AMOR die Motivation entstand, möglichst effiziente Verfahren zur Erfassung von Gebäuden zu implementieren. Da in Zukunft immer mehr

dreidimensionale Daten, insbesondere Gebäudedaten, vorhanden sein werden, kann man davon ausgehen, daß Verfahren, die wie AMOR solche Daten benötigen, auch immer weitere Verbreitung finden werden. Dann entfällt u.U. die kostenintensive speziell für nur einen Zweck, beispielsweise Orientierungsbestimmung oder Funknetzplanung, durchgeführte Gebäudeerfassung. Auch ist es möglich, andere 3D-Datentypen, wie z.B. Straßen (LÄBE, 1999) zu verwenden. Jüngste Veröffentlichungen (SCHENK, 2002; HÖHLE, 2001) zeigen, daß die automatische Orientierung, die jeweils auf verschiedenen Typen von Paßinformation basiert, weiterhin Forschungsgegenstand ist.

7 Literaturverzeichnis

GÜLCH, E., 2001: New Features In Semi-Automatic Building Extraction. – Proceedings of ASPRS 2001 Conference, St. Louis, Missouri.

HÖHLE, J. UND POTUCKOVA, M. 2001: Towards the Full Automatic Production of Orthoimages. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2001 (6): 397-404.

LÄBE, T. UND ELLENBECK, K.-H., 1996: 3D-Wireframe Models As Ground Control Points For The Automatic Exterior Orientation. – Proceedings of 18th ISPRS Congress, Wien.

LÄBE, T., 1999: Contribution to the OEEPE-Test on Automatic Orientation of Aerial Images, Task A – Experiences with AMOR. – OEEPE publication No. 36, 119-125.

SCHENK T., 2002: Towards a Feature-Based Photogrammetry. – Bildtechnik/Image Science No. 2002:1, Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Stockholm.

SCHICKLER, W., 1992: Feature Matching for Outer Orientation of Single Images Using 3D-Wireframe Controlpoints. – Proceedings of 17th ISPRS Congress, Washington.

SESTER, M. UND FÖRSTNER, W., 1989: Object Location Based on Uncertain Models. – DAGM Symposium, Hamburg.