

ÜBER DAS ZEITPROBLEM BEI DER OBERFLÄCHENREKONSTRUKTION MIT BILDVERBÄNDEN

Martin Schlüter, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11, D-60598 Frankfurt am Main, E-mail: martin.schlueter@ifag.de

Bernhard P. Wrobel, Institut für Photogrammetrie and Kartographie, Technische Universität Darmstadt
Petersenstr. 13, D-64287 Darmstadt, E-mail: wrobel@gauss.phgr.verm.tu-darmstadt.de

STICHWÖRTER: Digitale Photogrammetrie, Mehrbildzuordnung, multitemporale Bilder, automatische Oberflächenrekonstruktion, Facetten-Stereosehen

KURZFASSUNG

Der Übergang von der digitalen Zweibild- zur simultanen Mehrbildzuordnung kann die Qualität automatisch berechneter, geometrischer Oberflächenmodelle erheblich steigern, wie aktuelle Untersuchungen aufzeigen, siehe z.B. (Maas und Kersten 1997), (Schlüter und Wrobel 1998). Bei der simultanen Verwendung von mehr als zwei Bildern kann aber die Gleichzeitigkeit der Aufnahmen nicht immer vorausgesetzt werden. Für den Luftbildfall erhält man als typische Konstellation neben den extrem kurzen Aufnahmeintervallen innerhalb eines Flugstreifens die je nach Befliegungsanordnung erheblich größeren Zeitabstände zu den Bildern aus weiteren Flugstreifen. Wir zeigen auf, wie der Ansatz des Facetten-Stereosehens auf einfache Weise die explizite Einbeziehung der jeweils vorliegenden Aufnahmeintervalle für die automatische Oberflächenrekonstruktion möglich macht. Exemplarische Untersuchungen weisen nach, daß die explizite Berücksichtigung der Aufnahmeepochen mitunter vernachlässigt werden darf, daß sie im Einzelfall aber auch zu einer erheblichen Vereinfachung des automatischen Rekonstruktionsablaufes und einer deutlichen, qualitativen Verbesserung des Rekonstruktionsergebnisses beitragen kann.

1 EINFÜHRUNG

Bei der bildpaarweisen, stereoskopischen Auswertung liegen die Aufnahmezeitpunkte der Bilder eines Stereomodells in der Regel sehr dicht beieinander. Im Befliegungsfall ist dies durch die Abfolge innerhalb eines Bildstreifens bedingt. Deshalb ist typischerweise eine Zeitepoche pro Flugstreifen anzusetzen. Mit steigender Anzahl an simultan auszuwertenden Bildern wachsen aber in der Regel auch die Zeitabstände zwischen den Flugstreifen, so daß die aus einem veränderten Sonnen- und Schattenstand resultierenden Änderungen der reflektierten Oberflächengrauwerte die Korrespondenzfindung für die Rekonstruktion erschweren können. Für derlei Aufnahmeconfigurationen – der Objektraum wird stets mit mindestens zwei Bildern pro Aufnahmeepoche abgedeckt, die gesuchte Objektraumgeometrie bleibt unverändert – bietet das Facetten-Stereosehen eine faszinierend einfache Lösungsstrategie für die Aufgabe der Oberflächenrekonstruktion durch multitemporale Bildzuordnung. Diese Strategie wird in Abschnitt 3 eingeführt und in 3.1 und 3.2 anhand praktischer Beispiele vertieft. Abschnitt 2 widmet sich zunächst der Frage, ob nicht die multitemporalen Bilder eines Projektgebietes auf einen einzigen gemeinsamen Zeitpunkt radiometrisch umtransformiert werden könnten, um so das Zeitproblem zu beseitigen.

2 BESEITIGUNG DES ZEITPROBLEMS DURCH RADIOMETRISCHE TRANSFORMATION ALLER BILDER AUF EINEN EINZIGEN ZEITPUNKT?

Es gibt an sich sehr gute und detaillierte physikalisch-mathematische Modelle der Bildentstehung (Horn 1986, Wiemker 1998), die zur Grundlage eines Korrekturweges genommen werden müßten. Die Modelle zeigen, daß zur genauen Erklärung der Bildgrauwerte eine leider beträchtliche Anzahl von Modellparametern (Material der Objektoberfläche, Zustandsparameter der Atmosphäre und des Objekts, Kameradaten) berücksichtigt werden müßten. Aus der Sicht eines Photogrammetrie-Ingenieurs hat man derartige Modelle stets sehr vereinfachen müssen im Kompromiß zwischen Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit (Weissenberg 1992, Piechullek et al. 1998). Andererseits wäre man heute durchaus bereit, mit mehr Bildern und aufwendigen mathematischen Ansätzen Modellverbesserungen anzustreben, wenn sie nur ohne zusätzliche physikalische Messungen vor Ort erreichbar wären.

Der Zusammenhang zwischen ankommender und reflektierter Sonnenstrahlung eines Oberflächenelementes wird durch die bidirektionale Reflexionsverteilungsfunktion (im Englischen BRDF) beschrieben.

Sie ist bei einem konkreten Objekt eigentlich immer unbekannt. Benötigt werden für die BRDF zwei Richtungsvektoren: Zur Sonne (möglichst bei wolkenlosem Himmel) und zur Kamera (beide unproblematisch) in Bezug auf die lokale Flächennormale des Oberflächenelementes (sie erhält man erst während der Oberflächenrekonstruktion). Falls der Zusammenhang der BRDF zum Richtungsvektor zur Sonne funktional bekannt wäre, könnte man an sich die zeitlichen Sonnenstandsänderungen zur radiometrischen Umtransformation multitemporaler Bilder auf einen gemeinsamen Zeitpunkt berücksichtigen. Dies muß heute als eine Idealsituation angesehen werden, die nur unter Laborbedingungen erreichbar erscheint. Bei bewegten Oberflächenformen hat man wegen der Änderungen der Flächennormalen auch in gleichem Maße davon abhängige Relativänderungen der beiden anderen Vektoren. Bei natürlichen Materialien ändert sich dabei die BRDF in der Regel sehr stark. Hinzu kommt, daß selbstverständlich die BRDF von Oberflächenelement zu Oberflächenelement Änderungen erfährt, wenn dabei das Material ein anderes wird oder auch nur seine physikalische Beschaffenheit wechselt (z.B. die Feuchte, die Rauheit). Dies sind insgesamt gesehen zu viele Variationsmöglichkeiten und ohne in-situ-Messungen nicht zu erfassen.

Nach Sichtung neuerer Arbeiten zur Modellierung des Reflexionsverhaltens natürlicher Oberflächenmaterialien (Piechullek et al. 1998, Wiemker 1998) scheint es noch keinen Durchbruch zu einem effizienteren Korrekturweg zu geben; die bisher benutzten linearen Radiometrieansätze in den Zuordnungsaufgaben der Photogrammetrie wird man z.Zt. nach wie vor beibehalten müssen. Sie haben sich im praktischen Einsatz durchaus bewährt (Tsay 1996), in manchen Fällen sind aber Modellverbesserungen wünschenswert.

Weitere Klarheit über die Chancen von Korrekturmodellen beim Zeitproblem von Bildverbänden sollen die beiden nachfolgenden Anwendungsbeispiele erbringen. Beim ersten Beispiel mit großmaßstäbigen Luftbildern hat man es neben dem Zeitproblem noch mit Störungen durch Bäume, Büsche, Masten udgl. zu tun. Beim zweiten Beispiel mit kleinmaßstäbigen Luftbildern der Antarktis könnte man in der Tat noch am ehesten Chancen für den radiometrischen Korrekturweg sehen, weil dort der Materialumfang gering zu sein scheint, im wesentlichen bestehend aus Gletscher, Schnee, Felsen. Schon ein Blick auf die Reflexionsdaten von Schnee und Eis zeigt eine große Bandbreite in Abhängigkeit von der Blickrichtung sowie vom Wassergehalt, der Körnigkeit (Alter), Rauheit u.a. (Paterson 1994, Kuittinen 1997), d.h. auch hier wäre die Erfassung von genaueren Reflexionsda-

ten recht aufwendig. Wir haben daher bei den nun zu diskutierenden Beispielen einen einfachen, aber ganz pragmatischen Weg bevorzugt.

3 MULTITEMPORALE BILDZUORDNUNG MIT DEM FACETTEN-STEREOSEHEN

Das Facetten-Stereosehen löst die Aufgabe der Bildzuordnung, indem jeder einzelne Pixelgrauwert als Beobachtung im Sinne der Parameterschätzung nach Kleinsten Quadraten aufgefaßt und direkt zu den unbekanntem Oberflächengrauwert- und Geometrieparametern im Objektraum in Beziehung gesetzt wird, vgl. (Weisensee 1992). Die Residuen der Beobachtungen liegen also in den Bildern. Die Integration mehrerer Aufnahmezeitepochen gelingt daher ähnlich wie die von (Wrobel und Kaiser 1996) vorgestellte Einbeziehung mehrerer spektraler Farbkanäle im Bild- und Objektraum, indem für einzelne, abgegrenzte Aufnahmezeitepochen jeweils ein separates Grauwertmodell im Objektraum angesetzt wird, vgl. Abb. 1. Die Parameter des geometrischen Modells können weiterhin simultan aus allen Bildern bestimmt werden. Bedingungen für den Einsatz dieser multitemporalen Variante des Facetten-Stereosehens sind, daß von einer im Aufnahmezeitraum unveränderten Objekt Oberfläche ausgegangen werden darf, und daß pro Aufnahmezeitepoche mindestens zwei stereoskopisch nutzbare Bilder vorliegen.

Im folgenden wird die multitemporale Rekonstruktion exemplarisch anhand der resultierenden Residuen- und Orthobilder von zwei Szenen mit ausgeprägten Schattenbildern veranschaulicht. Es wird auf das großmaßstäbige Luftbildmaterial der Kreuzbefliegung *Walddorfhäslach* zurückgegriffen, vgl. (Schlüter 1999). Das zweite Beispiel *Marguerite Bay* basiert auf einem in der Antarktis durchgeführten Bildflug. Hier erweist sich die multitemporale Vorgehensweise als ausschlaggebend für eine erfolgreiche und qualitativ hochwertige, automatische Geometrierekonstruktion in diesem schwierigen Gebiet (Wrobel und Schlüter 1997, Wrobel et al. 1999).

3.1 Rekonstruktionsbeispiel *Walddorfhäslach*

Abb. 2 vermittelt einen Überblick über die der Rekonstruktion *Walddorfhäslach* entnommenen Szenen. Je zwei der insgesamt vier großmaßstäbigen Bilder mit $M_b \approx 1 : 4000$ fallen in eine Zeitepoche, der Zeitunterschied zwischen beiden Epochen beträgt ca. 22 Minuten. Neben dem eine Agrarlandschaft durchquerenden Fahrweg erkennt man einen Telegraphenmast und einen Baum bzw. deren Schatten, vgl. auch Abb. 3 und 4. Sowohl der Mast als auch die Hauptäste

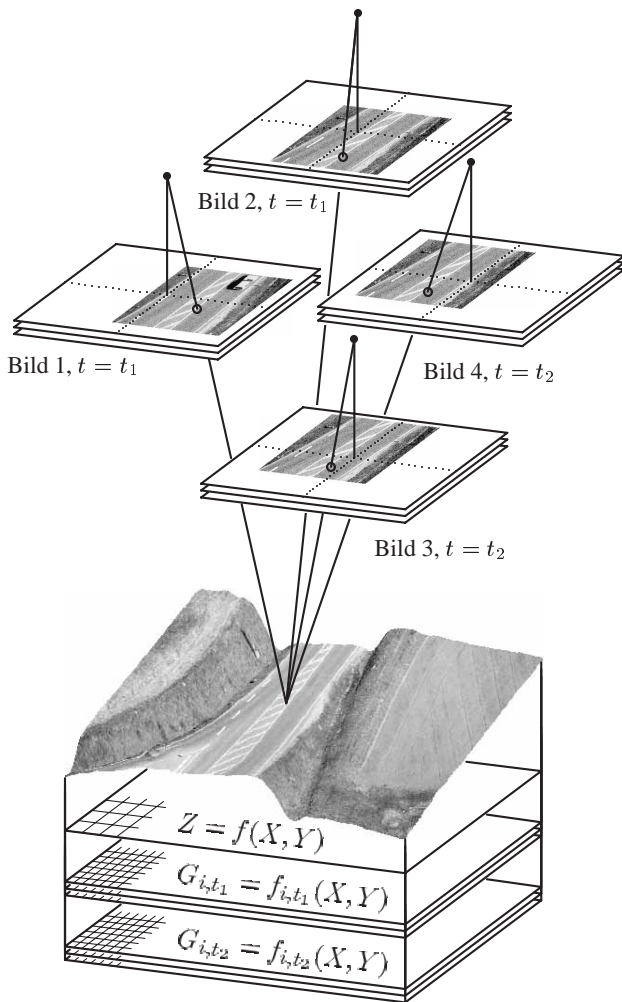


Abbildung 1: Multitemporale Bildzuordnung im Objektraum. Für einen Punkt im Objektraum sind die jeweiligen Abbildungsstrahlen in die Bilder skizziert, pro Bild sind $i = 3$ Farbkanäle angedeutet. Je zwei Bilder fallen in die beiden Zeitepochen $t_j, j \in [1, 2]$. Es werden ein Oberflächenmodell $Z = f(X, Y)$ und pro Zeitepoche j ein Orthobild G_{t_j} mit je i Farbkanälen rekonstruiert. Ferner ist die typischerweise geringere Stützpunktdichte der Oberflächengeometrie gegenüber den Oberflächengrauwerten angedeutet.

des Baumes stellen keine einheitliche Oberfläche dar, welche mit der für die Rekonstruktion verwendeten Geometriefacettierung von $50 \times 50 \text{ cm}^2$ aufgelöst werden könnte. Sie sind daher als Störungen bzw. als grobe Fehler im Sinne der Ausgleichsrechnung zu klassifizieren, denn über ein flächenhaftes Geometriemodell kann für die Abbilder des Mastes sowie des Baumes keine Korrespondenz im Objektraum erzielt werden. Auf der anderen Seite bildet der jeweilige Schatten dieser Objekte eine stark ausgeprägte Grauwerttextur am Boden, was eine optimale Voraussetzung für ein überdurchschnittlich genaues Rekonstruktionsergebnis der Ackeroberfläche darstellt. Die wiederum mit einer extrem geringen Äquidistanz dar-

gestellten Isolinien in Abb. 2 zeigen, daß die rekonstruierte Geländeoberfläche weitgehend eben verläuft und auch in der Umgebung von Mast und Baum kaum gestört ist.

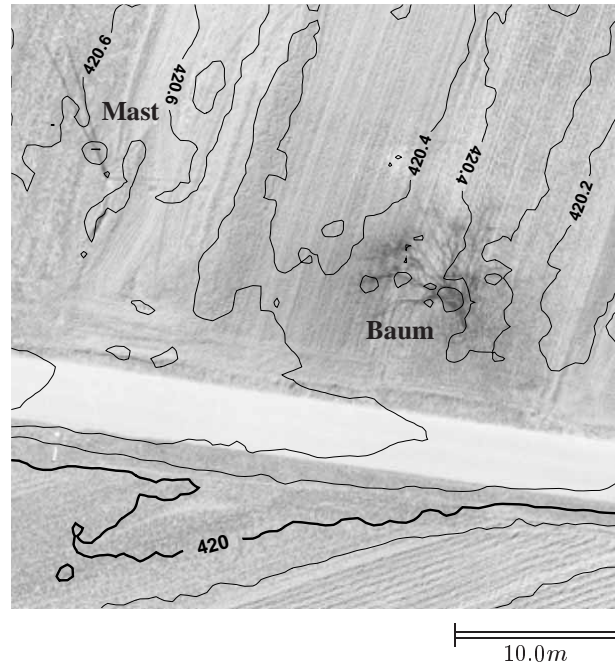
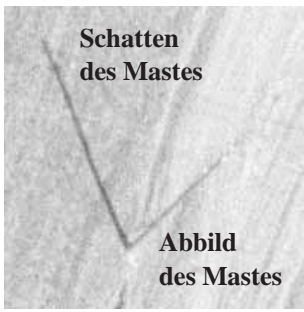


Abbildung 2: Ergebnis der unitemporalen Oberflächenrekonstruktion für die Szenen Mast und Baum (Walddorfhäslach) auf der Basis von 4 Bildern (= Orthobild plus DHM). Die Äquidistanz der Isolinien von 20 cm gibt die nur geringfügigen Variationen der automatisch rekonstruierten Oberflächengeometrie des Objektraumausschnittes wieder.

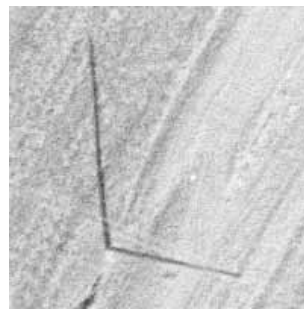
Abb. 3 erlaubt einen Ergebnisvergleich sowohl der unitemporalen als auch der multitemporalen Vorgehensweise bezüglich einer sehr einfach strukturierten Störung im Objektraum: einem Telegraphenmasten. In den Ausschnitten aus den für die Rekonstruktion verwendeten Luftbildern erkennt man einerseits den Schatten des Mastes an seiner annähernd konstanten Ausrichtung sowie das vom jeweiligen Aufnahmeort abhängige Bild des Mastes selbst, vgl. Abb. 3(a.1) bis (a.4). In dem aus der unitemporalen Auswertung resultierenden Orthobild (Abb. 3(b.5)) sind die beiden zeitabhängig unterschiedlichen Schattenpositionen noch gut ablesbar. Auf die Darstellung der Isolinien wurde verzichtet, da die rekonstruierten Höhenunterschiede über den gesamten Ausschnitt nur jeweils zwei bis drei Dezimeter betragen. Bei den Residuenbildern stehen schwarze und weiße Elemente für hohe Residuenbeträge unterschiedlichen Vorzeichens. Die Residuenbilder der unitemporalen Auswertung geben wieder, daß das Abbild des Mastes im Sinne der Minimierung einer Störung im Einzelbild in seiner Wirkung für die Zuordnung stark abgeschwächt wird. Der in jeweils zwei Bildern auftretende Schatten stellt einerseits eine wichtige Textur für



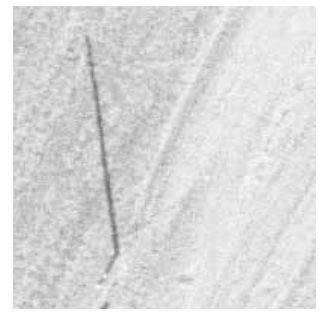
(a.1): Bild 133



(a.2): Bild 135



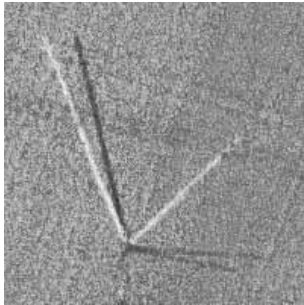
(a.3): Bild 268



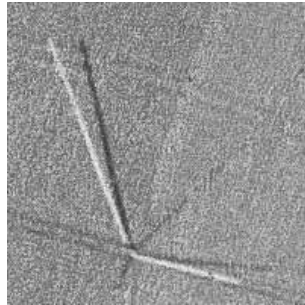
(a.4): Bild 270

Aufnahmezeit: 12¹⁵

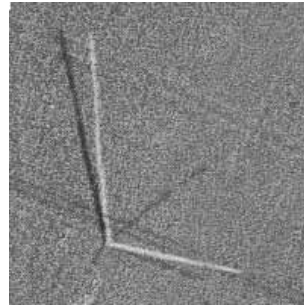
Aufnahmezeit: 12³⁷



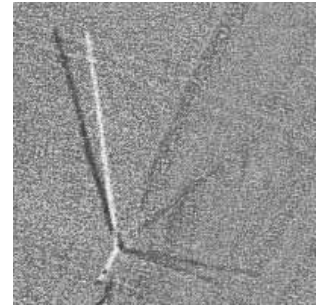
(b.1): Residuen zu Bild 133



(b.2): Residuen zu Bild 135

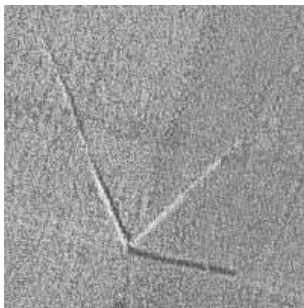


(b.3): Residuen zu Bild 268

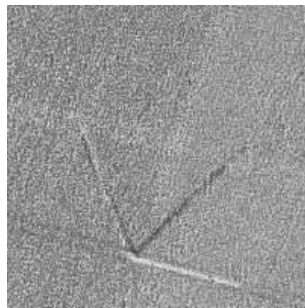


(b.4): Residuen zu Bild 270

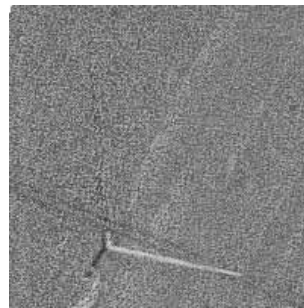
Unitemporale Rekonstruktion



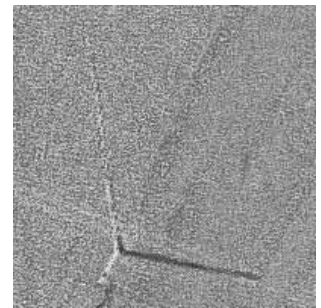
(c.1): Residuen zu Bild 133



(c.2): Residuen zu Bild 135

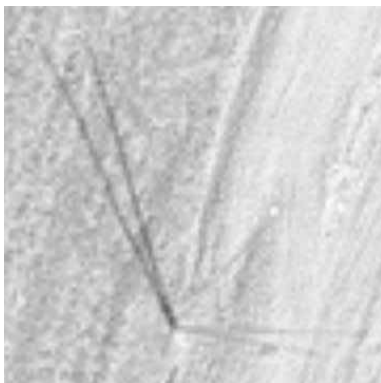


(c.3): Residuen zu Bild 268



(c.4): Residuen zu Bild 270

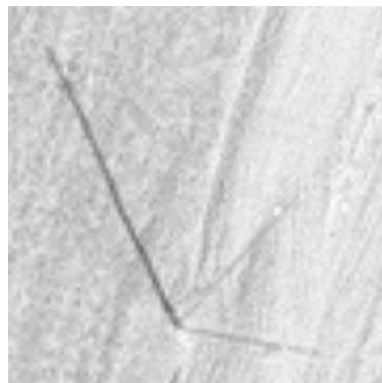
Multitemporale Rekonstruktion



5.0m

(b.5): Orthobild

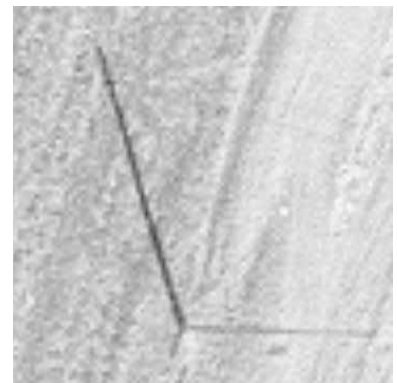
Unitemporale Rekonstruktion



5.0m

(c.5): Orthobild (12¹⁵)

Multitemporale Rekonstruktion



5.0m

(c.6): Orthobild (12³⁷)

Abbildung 3: Multitemporale Rekonstruktion: Beispiel Mast (Walddorfhäslach). (a.1) bis (a.4): Luftbildauschnitte, (b.1) bis (b.5): Ergebnisse der unitemporalen Rekonstruktion, (c.1) bis (c.6): Ergebnisse der multitemporalen Rekonstruktion mit zwei separaten Zeitepochen.

die Grauwertzuordnung dar, die lokal hohen Residuenbeträge in allen vier Bildern signalisieren andererseits ein Modellierungsdefizit der Oberflächengrauwerte, hervorgerufen durch eine nicht ausreichende Stützpunktauflösung bzw. eine lokal inadäquate Interpolationsvorschrift.

Bei der multitemporalen Auswertung wurde für die beiden unterschiedlichen Aufnahmeepochen je eine separate Grauwertbeschreibung im Objektraum angesetzt. Die beiden resultierenden Orthobilder in Abb. 3(c.5) und (c.6) gehen also nur noch auf die Bilder der entsprechenden Aufnahmeepoche zurück, während die Oberflächengeometrie durch die simultane Auswertung nach wie vor aus allen Bilddaten bestimmt wird. Damit taucht der Schatten des Mastes nicht mehr als starke Störung in den zugehörigen Residuenbildern auf, vgl. Abb. 3(c.1) bis (c.4). Auf der anderen Seite nehmen die Residuenbeträge bezüglich des Abbildes des Mastes gegenüber der unitemporalen Rekonstruktion zu. Dies liegt daran, daß zur Beseitigung der Störungen der Grauwerte im Einzelbild im Sinne der obigen Argumentation nicht mehr vier, sondern nur noch jeweils zwei Bilder zur Verfügung stehen. Theoretisch wäre also der simultane Einsatz von mindestens drei Bildern pro Zeitepoche optimal.

Der in Abb. 2 erkennbare Baum stellt einen etwas komplexeren Fall einer Störung im Objektraum gegenüber dem eben behandelten Telegraphenmasten dar, die einzelnen Effekte sind hier nicht mehr ganz so scharf trennbar, vgl. Abb. 4. Insgesamt wird aber deutlich, daß nur die multitemporale Vorgehensweise eine korrekte Rekonstruktion der Grauwerte des Schattenbereiches am Boden ermöglicht. Man erkennt dies an den Residuen, wo bei der multitemporalen im Gegensatz zur unitemporalen Vorgehensweise nur noch das jeweilige Abbild des Baumkronenbereiches systematische Störungen bewirkt, vgl. Abb. 4(b.1) bis (b.4) gegenüber Abb. 4(c.1) bis (c.4). Daraus resultiert die bessere Ausdifferenzierung der Texturdetails der Schattenbereiche in den multitemporal bestimmten Orthobildern Abb. 4(c.5) und (c.6).

Weitere Störungen bzw. grobe Fehler im Sinne der Ausgleichsrechnung liegen mit den Leitungsdrähten zum Telegraphenmast, vgl. Abb. 3(a.1) bis (a.4) und Abb. 4(a.1) bis (a.4), und dem Staubknäuel in Abb. 4(a.2), vor. Die Ursachen dieser Phänomene weisen keinen Bezug zur rekonstruierten Oberfläche auf, entsprechend schlagen sich diese Störungen nach den beschriebenen Mustern in den Residuen- und Orthobildern nieder.

Zusammenfassend zeigen die in (Lehn 1997) durchgeführten vergleichenden Experimente bezüglich uni- und multitemporaler Auswertung der Bilddaten *Walddorfhäslach* bei Aufnahmezeitdifferenzen von nur 22

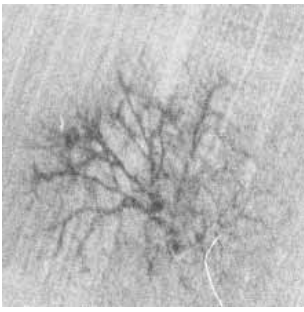
Minuten, daß ihre Wirkung zwar feststellbar, daß die geometrische Qualität der Rekonstruktion durch den multitemporalen Ansatz aber nur selten signifikant verbessert werden kann. Für einen praxisorientierten Einsatz der multitemporalen Vorgehensweise spricht damit in diesem konkreten Fall nur die höhere Qualität der resultierenden Fehlermaße wie der Residuen und in der Folge auch der Standardabweichungen der Geometrieunbekannten. Je nachdem, welche Rolle die bestimmmbaren Qualitätsmaße in der Weiterverarbeitung der rekonstruierten Oberflächendaten spielen, ob sie beispielsweise zur Ergebnisbewertung und Steuerung eventueller manuell-interaktiver Nachbearbeitungen eingesetzt werden sollen, ist damit die Wahl des Auswertansatzes zu treffen.

3.2 Rekonstruktionsbeispiel *Marguerite Bay*

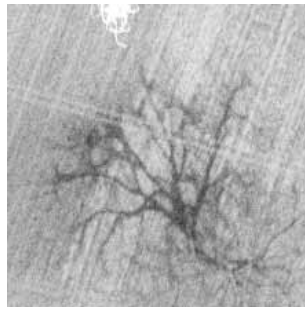
Im Rahmen des vom *Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie* geförderten Forschungsvorhabens *Dynamische Prozesse antarktischer Geosysteme (=DYPAG)* wird das Facetten-Stereosehen für die Oberflächenrekonstruktion auf der antarktischen Halbinsel eingesetzt. Auf die Rekonstruktionsergebnisse soll an dieser Stelle verwiesen werden, da hier im Gegensatz zu den eben vorgestellten Beispielen des Bildflugs *Walddorfhäslach* mit Hilfe des multitemporalen Ansatzes eine signifikante Qualitätsverbesserung bezüglich der Rekonstruktion des geometrischen Oberflächenverlaufes erzielt werden konnte (Wrobel und Schlüter 1997).

Dabei haben die in Abb. 5(a) wiedergegebenen Überweitwinkelaufnahmen ($c_a = 85mm$) mit einem Bildmaßstab von $M_b \approx 1 : 70\,000$ einen erkennbar unterschiedlichen Charakter im Vergleich zu den bisher vorgestellten Beispielen. Die ausgedehnten texturarmer Gebiete stellen grundsätzlich einen Prüfstein für alle methodischen Varianten der Bildzuordnung dar. Die hohe Längs- (80%) und Querüberdeckung (60%) bieten sehr gute Voraussetzungen, die anspruchsvolle Aufgabenstellung mittels der Mehrbildzuordnung im Objektraum zu lösen. Allerdings erwies sich bereits im Zuge der Orientierungsbestimmung die Definition homologer Punkte zwischen den Bildstreifen als schwierig, da diese an zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit einem Versatz in der Tageszeit von ca. sechs Stunden aufgenommen wurden. Der durch die Polnähe bedingte niedrige Sonnenstand bewirkt extrem unterschiedliche Beleuchtungs- und Reflexionsverhältnisse für die beiden Bildstreifen, die große Variation des Schattenstandes ist sogar noch in den stark verkleinerten Abb. 5(a) zu erkennen.

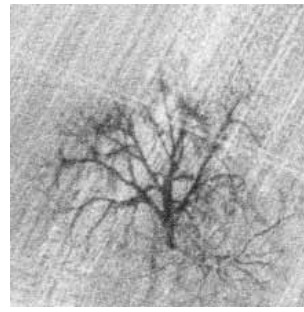
Bedingt durch den einerseits begrenzten Dynamikbereich des verwendeten Photoscanners ZEISS PS1 und der andererseits recht hohen Dynamik der auftreten-



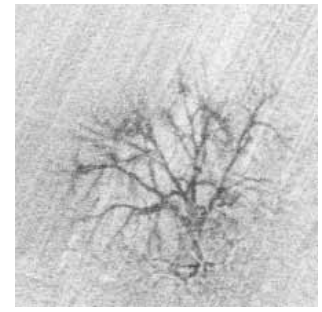
(a.1): Bild 133



(a.2): Bild 135



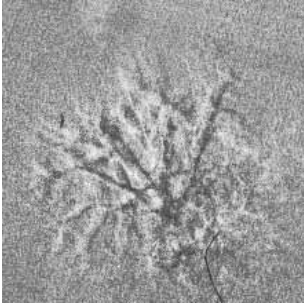
(a.3): Bild 268



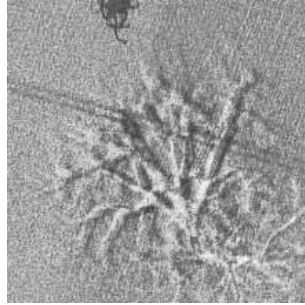
(a.4): Bild 270

Aufnahmezeit: 12¹⁵

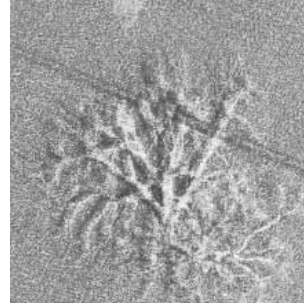
Aufnahmezeit: 12³⁷



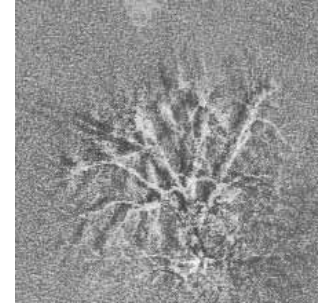
(b.1): Residuen zu Bild 133



(b.2): Residuen zu Bild 135

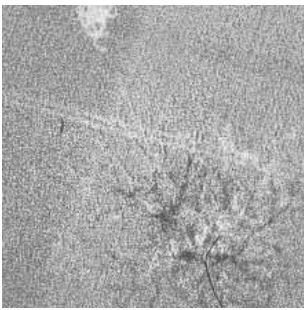


(b.3): Residuen zu Bild 268

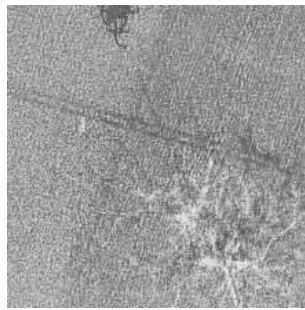


(b.4): Residuen zu Bild 270

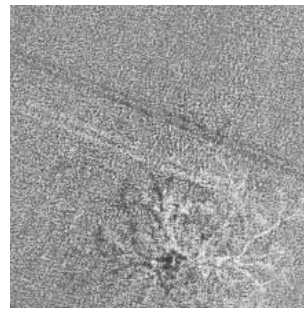
Unitemporale Rekonstruktion



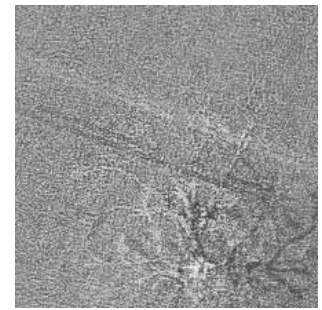
(c.1): Residuen zu Bild 133



(c.2): Residuen zu Bild 135

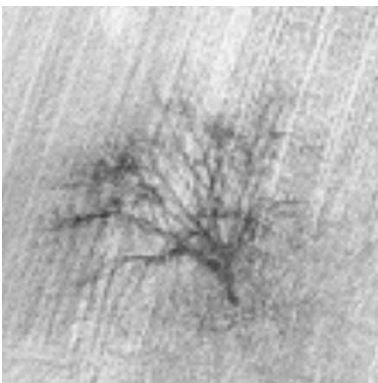


(c.3): Residuen zu Bild 268



(c.4): Residuen zu Bild 270

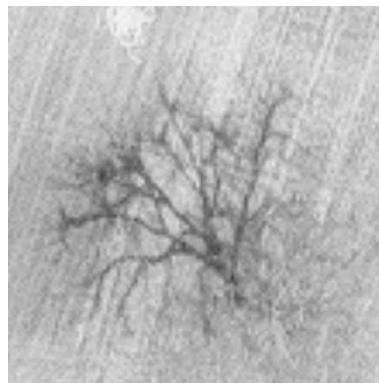
Multitemporale Rekonstruktion



5.0m

(b.5): Orthobild

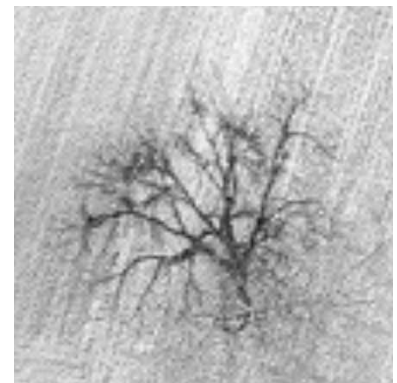
Unitemporale Rekonstruktion



5.0m

(c.5): Orthobild (12¹⁵)

Multitemporale Rekonstruktion



5.0m

(c.6): Orthobild (12³⁷)

Abbildung 4: Multitemporale Rekonstruktion: Beispiel *Baum (Walddorfhäslach)*. (a.1) bis (a.4): Luftbildauschnitte, (b.1) bis (b.5): Ergebnisse der unitemporalen Rekonstruktion, (c.1) bis (c.6): Ergebnisse der multitemporalen Rekonstruktion mit zwei separaten Zeitepochen.

den optischen Dichten von $0.25 - 2.58D$ der Originalnegative ergab sich die zusätzliche Schwierigkeit, daß der Informationsgehalt der analogen Bilder nur unzureichend in die digitalen Bilder übertragen werden konnte. Da insbesondere die Rekonstruktion der Gletscheroberflächen im Vordergrund des Interesses steht, wurden beim Scannen bewußt Defizite hinsichtlich der dunklen Bildbereiche zugelassen. Als Folge enthalten weite Teile einiger Schatten- und Felsbereiche in den digitalen Bildern keinerlei Grauwerttextur mehr und können so für die Bildzuordnung auch keine Information mehr liefern. Aus diesem Grund tritt bei der Rekonstruktion des in Abb. 5(a) dargestellten Ausschnittes des Auswertgebietes bei Verwendung nur des einen Bildstreifens mit $t_1 = 22^{05}$ GMT ein grober Fehler auf, vgl. die Markierung in Abb. 5(b). Durch die stark unterschiedlichen Schattenstände in den vorliegenden Bildstreifen konnte demgegenüber mit dem multitemporalen Ansatz ein wesentlich verbessertes Rekonstruktionsergebnis erzielt werden, vgl. Abb. 5(c) und (d).

Die Abb. 5(c) und (d) geben die grundsätzliche morphologische Plausibilität des multitemporalen Rekonstruktionsergebnisses wieder, welche sich durch lokale, manuell-interaktive Vergleichsmessungen am analytischen Stereoplotter LEICA AC3 bestätigen ließ.

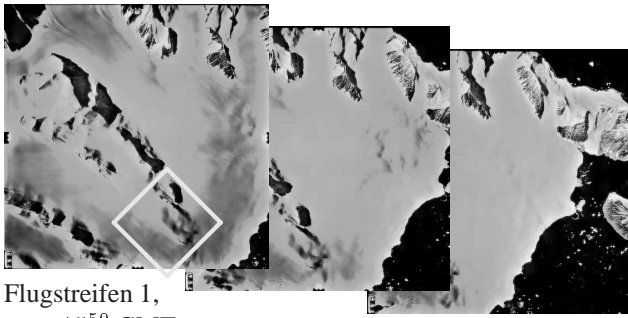
4 WERTUNG UND AUSBLICK

Die diskutierten Beispiele zeigen auf, daß die multitemporale Bildzuordnung eine interessante Variante der simultanen Mehrbildzuordnung darstellt. Im Einzelfall *Marguerite Bay* wurden praxisrelevante Ergebnisverbesserungen und auch gewisse Erleichterungen für den gesamten Arbeitsablauf erzielt. Die allgemeine mathematische Formulierung des Lösungsansatzes im Objektraum ermöglicht eine flexible und problemangepaßte Wahl projektbezogener Lösungswege.

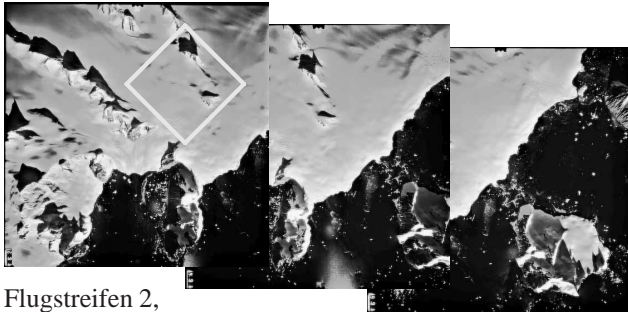
Das Einsatzspektrum der digitalen Mehrbildphotogrammetrie wird durch die Möglichkeit der multitemporalen Bildzuordnung deutlich aufgeweitet. Die in (Schlüter und Wrobel 1998) dargestellten grundsätzlichen Vorzüge der automatischen Mehrbildzuordnung – gegenüber der digitalen Bildzuordnung auf der Grundlage der klassischen Zweibildauswertung – lassen sich also auch bei extrem unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen einzelner Bildsequenzen gewinnbringend einsetzen. Ferner ermöglichen die erzielten Ergebnisse gerade bei relativ kurzzeitig aufeinander folgenden Aufnahmeepochen aufschlußreiche Einblicke in die lokale Schattenwanderung. Diese Ergebnisse liefern für Aufgaben der Objekterkennung und -detektion, z.B. im Vegetationsbereich, hilfreiche Basisinformationen.

LITERATUR

- Horn, B. K. P., 1986. Robot Vision. MIT Press, Cambridge Mass., USA.
- Kuittinen, R., 1997. Optical and thermal sensors in snow cover monitoring. In: S. Wunderle (ed.), Proceedings of the EARSeL Workshop: 'Remote Sensing of Land Ice and Snow', Freiburg, S. 7–20.
- Lehn, M., 1997. Oberflächenrekonstruktion mit dem Facetten-Stereosehen unter Verwendung multitemporaler Luftbilder. Diplomarbeit, TH Darmstadt, Institut für Photogrammetrie und Kartographie.
- Maas, H.-G. und Kersten, T., 1997. Aerotriangulation and DEM/orthophoto generation from high-resolution still-video imagery. PE&RS 63(9), S. 1079–1084.
- Paterson, W. S. B., 1994. The Physics of Glaciers. 3rd edn, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK.
- Piechullek, C., Heipke, C. und Ebner, H., 1998. Multi image shape from shading – results using real aerial imagery. In: ISPRS Comm. III Symposium 'Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels', Vol. IAPRS 32(3/1), Columbus, Ohio, USA, S. 160–167.
- Schlüter, M., 1999. Von der $2\frac{1}{2}D$ -zur 3D-Flächenmodellierung für die photogrammetrische Rekonstruktion im Objektraum. Dissertation, TU Darmstadt, DGK C 506, München.
- Schlüter, M. und Wrobel, B. P., 1998. Das Dezimeter-DGM durch photogrammetrische Oberflächenrekonstruktion mit dem Facetten-Stereosehen. AVN 105(8/9), S. 295–303.
- Tsay, J.-R., 1996. Wavelets für das Facetten-Stereosehen. Dissertation, TH Darmstadt, DGK C 454, München.
- Weisensee, M., 1992. Modelle und Algorithmen für das Facetten-Stereosehen. Dissertation, TH Darmstadt, DGK C 374, München.
- Wiemker, R., 1998. The Color Constancy Problem in Multispectral Remote Sensing – On the Impact of Surface Orientation on Spectral Signatures. Logos Verlag, Berlin.
- Wrobel, B. P. und Kaiser, B., 1996. Facets Stereo Vision (FAST Vision) applied to digital colour images. In: ISPRS 18th Congress, Vol. IAPRS 31(B3) Comm. III, Wien, S. 960–964.
- Wrobel, B. P. und Schlüter, M., 1997. Digital terrain model generation in the Antarctic – a challenging task for digital photogrammetry. In: M. O. Altan und L. Gründig (eds), Proc. Second Turkish-German Joint Geodetic Days, Berlin, S. 407–416.
- Wrobel, B. P., Walter, H., Friehl, M., Hoppe, U., Schlüter, M. und Steineck, D., 1999. A topographical data set of the glacier region at San Martín, Marguerite Bay, Antarctic Peninsula, generated by digital photogrammetry. Erscheint in: Polarforschung.



Flugstreifen 1,
 $t_1 = 15^{50}$ GMT



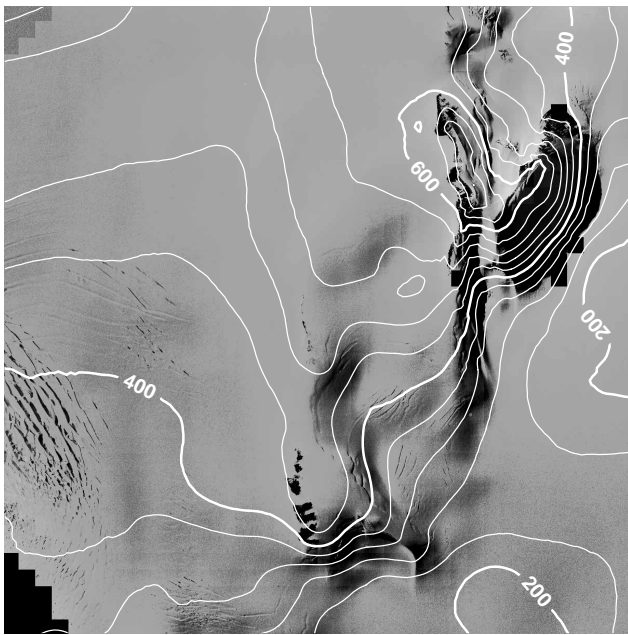
Flugstreifen 2,
 $t_2 = 22^{05}$ GMT



1km

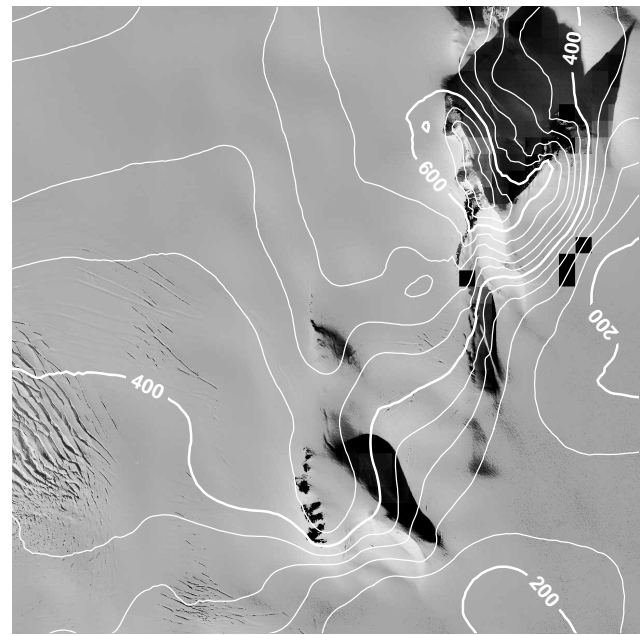
(a): Die verwendeten Bilddaten (Bildflug: IfAG, Ffm). Die beiden Flugstreifen wurden an aufeinanderfolgenden Tagen zu den angegebenen Zeiten aufgenommen. Das in (b)-(d) dargestellte Rekonstruktionsgebiet ist markiert.

(b): Unitemporales Rekonstruktionsergebnis mit den Bilddaten der Epoche $t_2 = 22^{05}$ GMT. Die Oberflächenrekonstruktion im oberen Schattenbereich ist grob fehlerhaft. Äquidistanz der Isolinien: 40m



1km

(c): Orthobild der Epoche $t_1 = 15^{50}$ GMT, überlagert mit den Isolinien des multitemporalen Rekonstruktionsergebnisses. Äquidistanz der Isolinien: 40m



1km

(d): Orthobild der Epoche $t_2 = 22^{05}$ GMT, überlagert mit den Isolinien des multitemporalen Rekonstruktionsergebnisses. Äquidistanz der Isolinien: 40m

Abbildung 5: Multitemporale Rekonstruktion: Beispiel *Marguerite Bay* (Antarktische Halbinsel).