

Publikationen der Deutschen
Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation e.V.



Band 15

2006



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Vorträge
26. Wissenschaftlich-Technische
Jahrestagung der DGPF

11. – 13. September 2006
in Berlin

Geoinformatik
und Erdbeobachtung

ISSN 0942-2870

Eckhardt Seyfert, Hrsg.

Konzept zur Automatischen Texturierung von Gebäudemodellen mit Thermographiebildern

LUDWIG HOEGNER¹, HOLGER KUMKE², LIQIU MENG³ & UWE STILLA⁴

Zusammenfassung: Die vorgestellte Arbeit zeigt ein Konzept, mit dem basierend auf einem vorhandenen 3D-Gebäudemodell Thermographiebilder ausgewertet werden. Dabei werden die Oberflächen des Modells mit den Thermographiebildern texturiert. Dazu müssen die äußere Orientierung des Kamerasystems genau bestimmt und Kombinationen von niedrig aufgelösten Teiltexturen zu vollständigen Fassadentexturen zusammengesetzt werden. Die so aufbereiteten objektbezogenen 3D-Thermographie-daten sollen in einer weiteren Stufe in einer Datenbank unter thermischen Gesichtspunkten ausgewertet werden.

1 Einleitung

Thermale Bilddaten werden heute in unterschiedlichen Maßstäben und für die verschiedensten Anwendungszwecke eingesetzt. Satellitenbilder dienen z. B. zur Erkennung von Brandherden (STEGERT et al., 2004), Vegetation (QUATTROCHI & LUVALL., 1999) oder zur Detektion von urbanen Wärmeinseln (LO & QUATTROCHI, 2003). Luftgetragene Infrarot-Systeme werden z.B. zur Detektion von Fahrzeugen (STILLA & MICHAELSEN, 2002; HINZ & STILLA, 2005) und zur Untersuchung von Leckagen in Fernwärmeleitungsnetzen (GEBNER & KRICKAU, 2005) eingesetzt. Thermale Kameras am Boden nehmen z.B. die Fassadenabstrahlung von Bauwerken auf (KLINGERT, 2005), um mit ihnen das Wärmeverhalten von Gebäuden für Wärmepässe bestimmen zu können.

IR-Gebäudedaten werden zumeist zeitaufwändig von einzelnen Standorten aufgenommen und visuell ausgewertet, ohne, dass dabei direkt einen Raumbezug hergestellt wird. Infrarotkameras haben jedoch eine relativ geringe Auflösung und einen kleinen Öffnungswinkel, wodurch das Sichtfeld einer Aufnahme sehr begrenzt ist. Größere Objekte müssen daher in mehreren Einzelbildern ausgewertet werden. Ziel der Arbeit ist es, die Flächen von vorhandenen 3D-Gebäudemodellen automatisch mit den aus Infrarot-Kameras gewonnenen Daten zu texturieren.

2 Konzeption

Eine Übersicht zum Konzept der automatischen Texturierung von Gebäudemodellen ist in Abb. 1 dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass als Eingangsdaten Thermographiebilder, die äußere Kameraorientierung und ein 3D-Gebäudemodell zu Verfügung stehen.

¹ Ludwig Hoegner, Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München, e-mail: Ludwig.Hoegner@bv.tum.de

² Holger Kumke, Lehrstuhl für Kartographie, Technische Universität München, Arcisstr. 21 80333 München, e-mail: Holger.Kumke@bv.tum.de

³ Prof.Dr.-Ing. Liqiu Meng, Lehrstuhl für Kartographie, Technische Universität München, Arcisstr. 21 80333 München, e-mail: liqiu.meng@bv.tum.de

⁴ Prof.Dr.-Ing. Uwe Stilla, Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München, e-mail: stilla@bv.tum.de

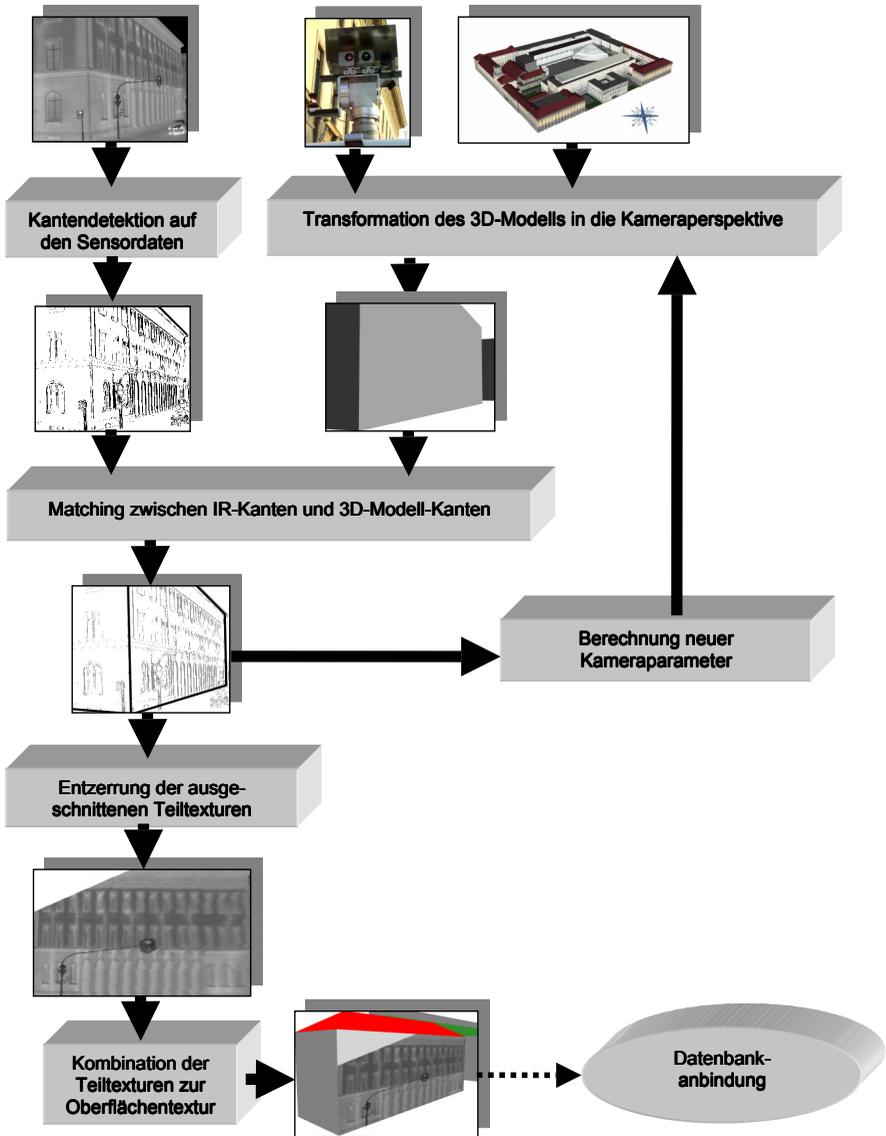


Abb. 1: Schema zur automatischen Texturierung von Gebäudemodellen mit Thermographiebildern

Für die Verarbeitung ist zunächst ein 3D-Modell des zu texturierenden Gebäudes notwendig. Vorteilhaft ist es, wenn die Modelle in Landeskoordinaten, wie z.B. Gauss-Krüger-Koordinaten vorliegen. Aus den Parametern der Kamera kann eine virtuelle Kamera konstruiert werden, die das Gittermodell des Gebäudes aus Sicht der Aufnahme zeigt. Dabei sind Oberflächenverdeckungen zu berücksichtigen, z.B. durch Z-Puffer- oder Hidden-Surface-

Verfahren.

Auf jeder Aufnahme ist eine Kantendetektion durchzuführen. Das Gittermodell wird in das Bildkoordinatensystem projiziert. Anschließend findet ein Matching zwischen den Kanten des IR-Bildes und des projizierten Gittermodell statt. Es wird davon ausgegangen, dass durch die gemessenen Kameraparameter (Position) der Suchraum für das Matching klein gehalten werden kann. Aus dem Matching sind die neuen Kameraparameter zu bestimmen, die für eine genauere Projektion des Gittermodells in den Bildraum verwendet werden.

Nachdem die zu einer sichtbaren Oberfläche zugehörige Textur ausgeschnitten ist, kann sie entzerrt werden. Dazu werden die Pixelkoordinaten der Aufnahmen in Texturkoordinaten der Oberflächen umgewandelt und als Liste gespeichert. Zusätzlich kann nun aus den Texturkoordinaten und dem Gebäudemodell die Auflösung für jede Texturcoordinate in Pixel pro Meter bestimmt werden. Die Schrägsicht der Aufnahme führt jetzt dazu, dass der Nahbereich zwar eine relativ gute Auflösung aufweist jedoch nur einen kleinen Teil des Objektes zeigt. Der Fernbereich ist niedriger aufgelöst und zeigt dafür einen größeren Objektausschnitt.

Durch die Umwandlung der Pixelkoordinaten in Texturkoordinaten können nun Teilt Texturen einer Oberfläche aus verschiedenen Bildern zu einer einzigen Oberflächentextur kombiniert werden. Die gewonnenen Texturen werden anschließend zusammen mit dem 3D-Modell einer Datenbank übergeben und von dort aus für eine weitere Auswertung zur Verfügung gestellt werden zu können.

3 Vorstellung des Testgebietes

Beim praktischen Einsatz in besiedelten Gebieten treten Einschränkungen bei der Aufnahme auf. Diese betreffen die durch die enge Bebauung in Stadtgebieten eingeschränkten Sichtfelder und auftretenden Verdeckungen und die Problematik einer ausreichend genauen Positions- und Orientierungsbestimmung. In Straßenschluchten sind häufig nicht ausreichend viele GPS-Satelliten für eine korrekte Positionsbestimmung sichtbar.

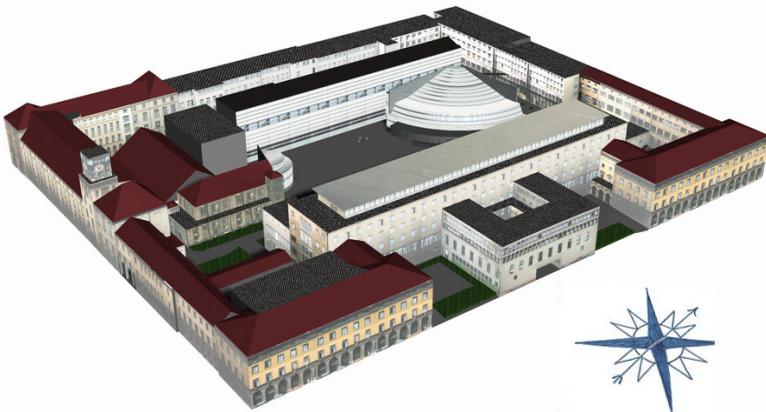


Abb. 2: 3D-Modell des TUM-Hauptgebäudes

Als Testgebiet haben wir das Quartier um das Hauptgebäude der Technischen Universität München (TUM) gewählt. Das TUM Hauptgebäude besteht aus verschiedenen Bauabschnitten aus lang gezogenen geraden Fassaden und verwinkelten Fassaden mit zwei zurückversetzten Gebäudeteilen an der Ostseite. Abb. 2 zeigt einen Teil des Testgebietes als 3D-Modell. Die an drei Seiten enge Bebauung erlaubt nur einen geringen Abstand zur Aufnahme der Fassade. Solch eine Situation ist typisch für innerstädtische Bereiche.

4 Erfassung von Thermographiebildern



Abb. 3: Messaufbau: v.l.: Prisma, SC3000 Thermal IR Kamera, MerlinMID Mittel IR Kamera, Videokamera

Die im Vergleich zum sichtbaren Licht größeren Wellenlängen erfordern den Einsatz anderer Optiken und Sensoren. Baulich bedingt erreichen die IR-Kameras nicht die Auflösung von photogrammetrischen Digitalkameras, noch von normalen Digitalkameras. So besitzen z.B. die beiden eingesetzten IR-Kamerasysteme (Abb. 3) eine Auflösung von 320x240 Pixel (FLIR SC3000) bzw. 320x256 Pixel (MerlinMID) und einen Öffnungswinkel von nur 20°. Die SC3000 nimmt im thermalen Infrarot (8 - 12 μm) auf, die MerlinMID nimmt im mittleren Infrarot (3 - 5 μm) auf. Abb. 3 zeigt den Messaufbau auf einem Fahrzeug mit den beiden IR Kameras, sowie einer Videokamera und einem Prisma für die Positionsbestimmung. Der Messaufbau ist auf einem Schwenkneigekopf angebracht, der einen Wechsel der Blickrichtung erlaubt.

Ähnlich wie im sichtbaren Bereich hat die Sonne auch einen Einfluss auf Infrarotaufnahmen. Aufnahmen im mittleren Infrarotbereich werden direkt vom Sonnenlicht beeinflusst. Wir sehen auf den Fassaden neben ihrer Eigenstrahlung auch die Reflexion des Sonnenlichts. Im thermalen (langwelligeren) Infrarot äußert sich der Einfluss der Sonne nur indirekt, da sie in diesem Bereich selber keine Strahlung aussendet. Da sie jedoch die Oberflächen, die sie beleuchtet erwärmt, strahlen die von der Sonne beschienenen Flächen stärker als jene im Schatten. Auch die Umgebungstemperatur beeinflusst das Erscheinungsbild von Fassaden.

Günstige Zeitpunkte für Aufnahmen liegen nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang um den direkten Einfluss der Sonne zu eliminieren. Zur Verminderung der Verdeckung von Fassaden durch Bäume wurde die Zeit vor der Belaubung im Frühjahr gewählt.

Auf Grund des geringen Sichtfelds der Kameras und des geringen Abstands zum Gebäude mussten die Aufnahmen in Schrägsicht durchgeführt werden, um die Fassaden in voller Höhe aufnehmen zu können. Die Aufnahmen wurden mit 50 Bildern pro Sekunde durchgeführt. Um die aus der Schrägsicht entstehende Eigenverdeckung der Objekte zumindest teilweise ausgleichen zu können, wurden pro Fassade zwei Fahrten unternommen, eine Fahrt mit Sicht nach schräg vorne und eine Fahrt mit Sicht nach schräg hinten. Dabei blieben die Einstellungen des Schwenkneigekopfes während einer Messfahrt konstant, sodass lediglich die Position der Kameras bei der Vorbeifahrt aufgezeichnet wurde. Dazu kamen zwei Messverfahren zur Bestimmung der Trajektorien zum Einsatz. Zum ersten die Bestimmung über GPS-Koordinaten, zum anderen die Bestimmung mittels fortlaufender Tachymetermessung von eingemessenen Fixpunkten aus. Dabei dient letzteres Verfahren auf Grund seiner entschieden höheren

Genauigkeit zunächst als Basis.

Die mit einer thermalen Auflösung von 14bit aufgenommenen Bilder werden als 16bit Integer Werte gespeichert. Eine Umwandlung in visualisierte Bilddaten (256 Graustufen) erfolgt nur für die Darstellung am Monitor. Die einzelnen Aufzeichnungen der 3 Kameras und der beiden Positionsbestimmungen sind über Zeitcode abgeglichen, sodass sie synchronisiert werden können.

5 Verarbeitung der Messdaten

In diesem Kapitel wird anhand eines Beispiels aus der aktuellen Messkampagne das zweistufige Verfahren zur Gewinnung der Texturen für eine Oberfläche des 3D-Modells erläutert.

5.1 Erzeugung der Teilt Texturen

Abbildung 4 zeigt eine Visualisierung der 16bit Bilder als 8bit Grauwertbild. Deutlich zu erkennen ist neben der Hausecke in der Bildmitte der dunkle Himmel und die scharfe Abgrenzung zwischen Himmel und äußerem Dachfirst. Die hintere Hauswand am rechten Bildrand tritt kaum, die Bodenkante gar nicht in Erscheinung, da dort die Steinfassade in den Plattenweg übergeht. Abbildung 5 zeigt dieselbe Szene nach der Kantendetektion. Neben der erwarteten vorderen Hauskante und der vorderen Dachfirstkante ist auch zumindest im oberen Teil die hintere Hauskante zu sehen, die Bodenkante fehlt fast ganz. Da Gebäudemodelle üblicherweise die innere Dachkante als Ende der Fassade definieren, kann es hier zu Problemen bei der korrekten Positionierung der Textur kommen. Für das Matching stehen hier also drei Kanten zur Verfügung.

Außerdem treten eine Reihe von Fenster- und Türenkanten auf. Diese Kanten sind in zwei aufeinander folgenden Aufnahmen sehr stabil und besitzen eine relativ geringe Bewegung durch das Bild, die vom rechten zum linken Bildrand stetig zunimmt.

Die Bewegungsgeschwindigkeit bzw. Bildwanderung zwischen aufeinander folgenden Aufnahmen ist aufgrund der hohen Aufnahme Frequenz bezogen auf die Bildgröße gering. Aufgrund der bei den Experimenten annähernd konstant gehaltenen Geschwindigkeit kann die



Abbildung 4: IR Aufnahme Süd-Ostfassade Hauptgebäude

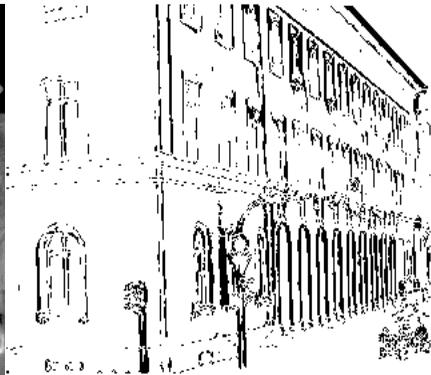


Abbildung 5: Kanten von Abb. 4

Position einer Kante in einem Bild für das nachfolgende Bild gut geschätzt werden. Der dabei gemachte Fehler soll für die nächste Suche in die Schätzung mit eingehen. Liegen nicht genügend Modellkanten für einen Match vor, dann können Bilder aufgrund vorangegangener Bilder über ihre sonstigen Objektkanten positioniert werden. Weiterhin erlaubt eine Zuordnung von Bildern eine Interpolation der Kameraorientierungen für Bilder ohne gemessene Kameraorientierung. Während die Kameraposition pro Sekunde etwa 1 bis 2 mal ermittelt wird, werden pro Sekunde 50 Bilder aufgenommen.

Im Anschluss an das Matching erfolgen die Entzerrung der Aufnahme und die Umwandlung der Messwerte in Texturkoordinaten. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für eine entzerrte Textur der Frontfassade aus derselben Aufnahme. Man sieht deutlich, wie die Bildqualität von links nach rechts auf Grund der perspektivischen Verzerrung abnimmt. Im linken oberen Bereich sieht man eine Lücke, die außerhalb des Sichtfelds dieser Aufnahme liegt.

5.2 Kombination der Teiltexturen

Zu Kombination von Teiltexturen können zwei verschiedene Vorgehensweisen unterschieden werden.

Im ersten Verfahren werden Aufnahmen wie in unserem Testszenario aus einem Fahrzeug fortlaufend aufgenommen. So sind durch die Schrägsicht und die Aufnahmereihenfolge festgelegt, welche Teiltextrur in welchem Bereich der Oberfläche die höchste Auflösung hat. Legt man diese Teiltextruren dann der Reihe nach übereinander, wird die gesamte Texturinformation für die Erzeugung der fertigen Oberflächentextrur verwendet.

Das zweite, allgemeine Verfahren verwendet die für jede Teiltextrur gespeicherten Randauflösungen. Dabei werden für jede mit einem Wert zu besetzte Texturcoordinate aus den an dieser Stelle vorhandenen n hoch aufgelösten Texturen die interpolierten Werte verwendet, die nach ihrer Genauigkeit, sprich Auflösung an der entsprechenden Stelle, in das Ergebnis eingehen. Dieses Verfahren erlaubt die Berechnung einer Oberflächentextrur aus beliebigen Teilmengen von gespeicherten Thermographiebildern. So können Ergebnisse verschiedener Messkampagnen kombiniert werden. Grob aufgelöste, flächendeckend erfasste Texturen aus Luftaufnahmen können für einzelne Gebäudemodelle um hoch aufgelöste Texturen aus Bodenaufnahmen ergänzt werden.

Für die Kombination der Teiltextruren soll zunächst auf das erste beschriebene Verfahren zurückgegriffen werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 7 zu sehen. Die nicht texturierte linke obere Ecke war in keiner der für die Texturierung ausgewählten Aufnahmen enthalten und bleibt daher frei.

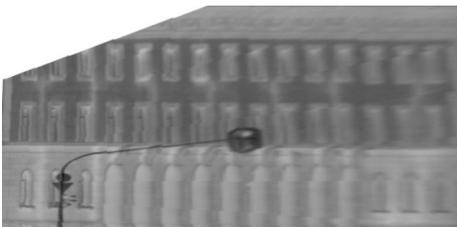


Abb. 6: Entzerrte Textur der Frontseite

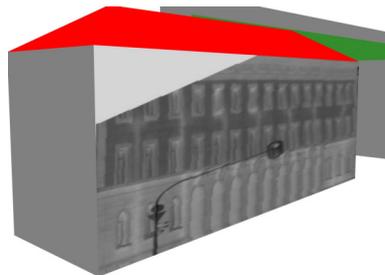


Abb. 7: Projizierte Fassade im Gebäudemodell

6 Diskussion

Die aus den Messwerten extrahierte Dachfirstkante entspricht nicht immer der Dachfirstkante des Gebäudemodells. Dies hat mit der Konstruktion der 3D-Modelle zu tun. Während die Kantenextraktion auf Grund des hohen Kontrasts zwischen Gebäude und Himmel mit Blick von unten die vordere Kante sieht, die Kante zwischen Mauer und Dachunterseite auf Grund der ähnlichen Temperatur aber nicht, ist es im Gebäudemodell so, dass die Fassade entweder aus Lasermessungen ohne Dachüberstand erzeugt wird, also nur die innere Dachfirstkante aufweist, oder aus Luftbilder rekonstruiert wird, in denen dann zwar die äußere Dachfirstkante vorkommt, aber dafür die innere nicht, weil die Fassaden von der vorderen Kante zum Boden gezogen werden. In beiden Fällen wird bei der Überlagerung der Kanten aus dem Gebäudemodell und den Messwerten die sichtbare Unterseite des Daches zwischen innerer und äußerer Firstkante fälschlicherweise der Mauer zugeschlagen. Dadurch ergibt sich in der Fassadentextur eine Stauchung in der Höhe.

Das vorgestellte Verfahren verwendet zunächst für die Bestimmung der Kameraposition die eingemessenen Trajektorien. Diese Methode ist zwar entschieden genauer als die Bestimmung durch GPS, aber auch entschieden aufwändiger. Die relativ groben und gerade im dicht bebauten Stadtfeld nicht immer korrekten GPS Daten erfordern eine ein robustes Matching.

Ein nächster Schritt ist die Behandlung von Eigen- und von Fremd-Verdeckungen. Durch Eigenverdeckung unvollständige aufgenommene Texturen sollen automatisch aus Aufnahmen aus andern Blickwinkeln (vorwärts und rückwärts blickende Kamera) vervollständigt werden. Bei Fremdverdeckung durch z.B. Ampeln (siehe Abb. 4 – 6) soll der Störkörper detektiert und eliminiert werden. Die mit dem beschriebenen Verfahren extrahierten Teilt Texturen und die aus ihnen erzeugten Oberflächentexturen sollen zusammen mit dem 3D-Gebäudemodell in eine Datenbank eingespeist werden, um in weiteren Verarbeitungsschritten aus den Messwerten den Gebäudemodellen geometrische und thermale Eigenschaften hinzuzufügen zu können.

Die vorgestellten Arbeiten sind Teil des DFG-geförderten Forschungsprojektes „*Enrichment and Multi-purpose Visualization of Building Models with Emphasis on Thermal Infrared Data*“, das im Rahmen des DFG-geförderten Bündelprojektes „*Interoperation of 3D Urban Geoinformation (3DUGI)*“ bearbeitet wird.

Die Autoren danken FGAN-FOM Abteilung Optronische Systemanalyse, Ettlingen, für die Bereitstellung des Messfahrzeuges mit IR-Kameras und der Unterstützung bei der Messung.

7 Literaturverzeichnis

- SIEGERT F, ZHUKOV B, OERTEL D, LIMIN S, PAGE SE, RIELAY O, 2004. Peat fires detected by the BIRD satellite. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(16): 3221 - 3230
- QUATTROCHI DA, LUVALL JC, 1999. Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and application. *Landscape Ecology*, **14**: 577-598
- LO CP & QUATTROCHI DA, 2003. Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**(9): 1053-1063
- HINZ S & STILLA U, 2005. Car detection in aerial thermal images by local and global evidence accumulation. *Pattern Recognition Letter*, **27** (2006): 308-315

- STILLA U & MICHAELSEN E, 2002. Detektion von Fahrzeugen in Videosequenzen von luftgetragenen thermischen Kameras. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation VGI, **90**(3+4): 79-86
- GEßNER & KRICKAU, 2005. Luftgestützte Thermografie von Fernwärmeleitungen, Präsentation 20./21.09.2005, Fernwärmekolloquium Dresden, http://www.envico-scandat.de/content/lectures/Praesentation%20Dresden_manuell.pdf (zuletzt besucht 23.06.06)
- KLINGERT M, 2005. Methoden der digitalen Bildverarbeitung in der Infrarotbauwerksthermografie. Forum Bauinformatik, BTU Cottbus, 287-294