

Analyse urbaner Gebiete mit optischen Bildern und SAR-Bildern sehr hoher Auflösung

JAN D. WEGNER¹, STEFAN AUER² & UWE SÖRDEL¹

Zusammenfassung: Aufnahmen aktueller SAR-Sensoren ermöglichen aufgrund sehr hoher geometrischer Auflösung die Analyse urbaner Gebiete. Die Szenenanalyse wird jedoch durch SAR-spezifische Effekte wie Foreshortening, Layover und Shadowing erschwert. Die Interpretation der SAR-Bilder kann durch die kombinierte Auswertung mit optischen Luftbildern erleichtert werden. In diesem Beitrag werden erste Konzepte zur Detektion und Modellierung von Brücken und Gebäuden mit einer Kombination von SAR-Bildern und optischen Bildern vorgestellt. SAR-spezifische Effekte werden mit Hilfe simulierter SAR-Bilder verdeutlicht.

1 Einleitung

Aktuelle satellitengestützte SAR-Sensoren (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed) sind in der Lage, SAR-Bilder mit einer geometrischen Auflösung von bis zu einem Meter am Boden aufzunehmen. Luftgestützte SAR-Sensoren (Memphis, Pamir, AeS-1, Ramses, Sethi) erzielen darüber hinaus noch erheblich höhere Auflösungen von deutlich unter einem halben Meter. Auf Grund dessen werden viele Details in urbanen Gebieten sichtbar, wie z.B. Straßen, Gebäude, Brücken und Bäume. Die Entwicklung von Ansätzen zur Detektion und Modellierung dreidimensionaler Objekte, insbesondere von Brücken und Gebäuden, ist deshalb viel versprechend.

Wegen der SAR-typisch schrägen Beleuchtung der Szene kommt es zu Effekten wie Überlagerungen (Layover), Verkürzungen (Foreshortening) und Verdeckungen (Shadowing). Diese Effekte sind vor allem in urbanen Gebieten stark ausgeprägt und erschweren die Interpretation der Szene. Da es sich beim SAR-Sensor um ein aktives System handelt, der unabhängig vom Sonnenlicht im Mikrowellenbereich arbeitet, geben SAR-Bilder außerdem keine spektrale Information von Objekten wieder. Es bietet sich daher an, SAR-Bilder mit zusätzlichen Daten wie topographischen Karten oder optischen Bildern kombiniert auszuwerten, um die automatische Szenenanalyse zu erleichtern.

In diesem Beitrag wird die kombinierte Auswertung von SAR-Bildern und optischen Luftbildern näher betrachtet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Detektion und dreidimensionalen Modellierung von Brücken und Gebäuden.

1) Jan Dirk Wegner, Uwe Sörgel, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover; E-Mail: {wegner, soergel}@ipi.uni-hannover.de}

2) Stefan Auer, Lehrstuhl für Methodik der Fernerkundung, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München; E-Mail: Stefan.Auer@bv.tu-muenchen.de

2 Brücken in SAR-Bildern

Die Detektion und Zustandsüberwachung von Brücken ist von Interesse, da sie wichtige Bestandteile urbaner Infrastruktur sind. Um Brücken in SAR-Bildern automatisch zu erkennen, ist es notwendig, deren Erscheinungsbild genauer zu betrachten. Die Ausprägung einer Brücke im SAR-Bild hängt sowohl von den Aufnahmeparametern des SAR-Sensors als auch von speziellen Eigenschaften der Brücke ab. Wichtige Aufnahmeparameter sind die Orientierung des SAR-Sensors zur Brücke (Aspekt) und der Beleuchtungswinkel θ . Je größer der Beleuchtungswinkel wird, d.h. je flacher der SAR-Sensor die Brücke beleuchtet, desto stärker treten Layover- und Shadowing-Effekte auf (siehe Kapitel 3). Brückeneigenschaften, die sich im SAR-Bild auswirken, sind die Brückenstruktur, das Material, die Höhe über Grund und die Umgebung der Brücke. Insbesondere die Umgebung der Brücke ist von Bedeutung, da diese mit der Brücke in Layover- und Schattenbereichen interagiert. So erscheinen Brücken über Wasser in SAR-Bildern anders als Brücken über Land.

2.1 Brücken über Wasser

In SAR-Bildern von Brücken über Wasser kommt es zu Mehrfachreflexionen des Radarsignals zwischen der Wasseroberfläche und der Brücke (Abb. 1, links), wenn sich der SAR-Sensor während der Aufnahme parallel zur Brücke fortbewegt hat. Dies führt zu mehrfachen Abbildungen einzelner Brückenteile im SAR-Bild, aus denen sich die Höhe der Brücke über Grund abschätzen lässt (ROBALO & LICHTENBERGER, 1999). Dieser Effekt tritt immer dann auf, wenn das Material in direkter Umgebung und unterhalb der Brücke das Radarsignal ohne große Intensitätsverluste reflektiert. Das mittlere Bild in Abb. 1 zeigt zwei Brücken über einem Kanal bei Dorsten. Aufgrund von Mehrfachreflexionen des Radarsignals erscheinen pro Brücke drei Streifen im Bild.

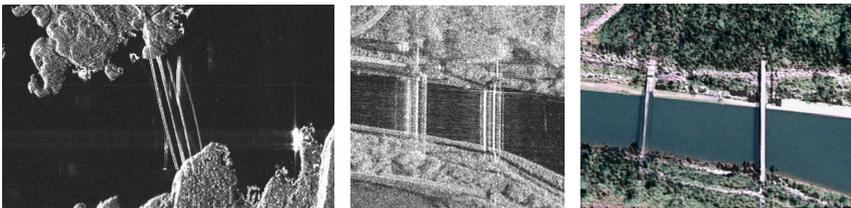


Abb. 1: Links: TerraSAR-X Bild einer Brücke bei Bergen (von links beleuchtet, in Bodengeometrie), Mitte: Einzelnes Amplitudenbild eines interferometrischen SAR-Bildpaares (InSAR) von zwei Brücken über einem Kanal bei Dorsten, aufgenommen mit dem Intermap SAR-Sensor Aes-1 (von rechts beleuchtet, in Bodengeometrie)© Intermap), Rechts: Dreidimensionales Modell der Dorsten-Szene nach Fusion der InSAR-Daten mit einem optischen Luftbild

Da die Wasseroberfläche relativ glatt ist, wird das Signal entsprechend der Fresnelschen Formeln vom Sensor weg gerichtet reflektiert. Bei glatten Wasseroberflächen wird so kaum Signal zum Sensor zurück reflektiert und die Wasseroberfläche erscheint sehr dunkel im SAR-Bild. Trifft

das Signal nach der Reflexion auf der Wasseroberfläche auf ein weiteres Objekt, wie z.B. eine Brücke, werden Signalanteile diffus zum Sensor reflektiert. Ebenso kommt es vor, dass das Signal zunächst auf die Brücke trifft, von dort diffus auf die Wasseroberfläche reflektiert wird und dann zurück vom Sensor empfangen wird. Diese Zweifachreflexionen führen zum mittleren Streifen des mittleren Bildes in Abb. 1. Zum linken Streifen (Layover), mit der kürzesten Distanz zum Sensor, kommt es aufgrund direkter Rückstreuung des Signals von der Brückenfahrbahn oder anderen Strukturen auf der Brücke. Der rechte Streifen entsteht durch Dreifachreflexionen des Signals: Wasseroberfläche – Brücke – Wasseroberfläche oder Brücke – Wasseroberfläche – Brücke. Bei bekanntem Beleuchtungswinkel des Radarsignals kann mit Hilfe des Abstandes zwischen erstem und zweitem Streifen oder zweitem und drittem Streifen im Bild in Sensorgeometrie die Höhe der Brücke über der Wasseroberfläche bestimmt werden (1). Ist außerdem die absolute Brückenhöhe bekannt, kann die Wasserstandshöhe abgeleitet werden.

$$h = \Delta s / \cos(\theta) \quad (1)$$

Für die Erstellung eines Interferogramms und die anschließende Ableitung eines Höhenmodells sind Wasserflächen oft hinderlich, da kaum Signalanteile zum Sensor zurückgestreut werden. So wirkt sich Rauschen sehr stark auf die Interferogrammgenerierung aus und es entsteht keine einheitlich glatte Oberfläche im Höhenmodell. Außerdem erschweren Mehrfachreflexionen eine genaue Lagebestimmung der Brücke. Mit Hilfe einer Fusion von SAR-Bildern bzw. InSAR-Daten mit optischen Luftbildern kann Abhilfe geschaffen werden. Außerdem wird eine verbesserte Visualisierung der Brücken erzielt. Dabei wird die Höheninformation aus den interferometrischen Daten abgeleitet während die Lageinformation mit Hilfe der optischen Daten ermittelt wird (SOERGEL et al., 2007). Die Gewässerfläche wird im optischen Bild segmentiert und dann auf eine einheitliche Höhe gesetzt. Das Ergebnis ist ein dreidimensionales Modell der Brücke (Abb. 1, rechts) mit glatter Wasserfläche.

2.2 Brücken über Land

Brücken über Land prägen sich in SAR-Bildern anders aus als Brücken über Wasser (WEGNER & SOERGEL, 2008). Die für SAR-Bilder mit Brücken über Wasser typischen parallelen Linien, zurückzuführen auf Mehrfachreflexionen des Signals zwischen Wasseroberfläche und Brücke, treten bei Brücken über Land meistens nicht auf. Dieser Unterschied ist durch die Reflexionseigenschaften von Wasser und Land begründet. Während Wasseroberflächen das Signal gerichtet reflektieren, wird es an Landoberflächen diffus reflektiert. Die diffuse Reflexion des Signals hängt dabei vor allem von der Rauigkeit des Materials unter und um die Brücke herum ab (relativ zur Wellenlänge des Signals). Vergleicht man das SAR-Bild einer Brücke, die über Land mit Pflanzenbewuchs führt in Abb. 2, mit dem SAR-Bild einer Brücke über Wasser im linken Bild in Abb. 1, so sind die Unterschiede deutlich zu erkennen. Bei Brücken über Wasser werden verschiedene Teile der Brücke mehrfach im Bild abgebildet, woraus sich die Brückenhöhe mit (1) bestimmen lässt. Dies ist bei der in Abb. 2 dargestellten Brücke über Land nicht der Fall. Allerdings ist dort deutlich der Schatten der Brücken zu erkennen, der für eine Bestimmung der Brückenhöhe (siehe Kapitel 2.3) genutzt werden kann.

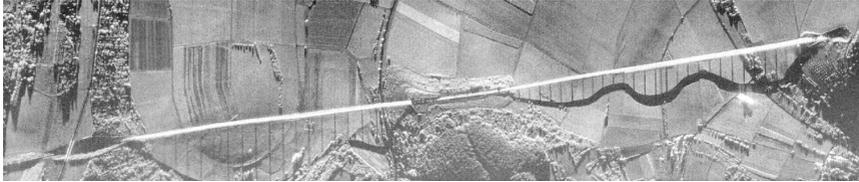


Abb. 2: SAR-Bild einer Eisenbahnbrücke bei Zellingen mit dem luftgestützten SAR-Sensor Memphis (von oben beleuchtet, in Bodengeometrie) (© FGAN-FHR)

Außerdem ist er für die Detektion der Brücke hilfreich, da der Schatten ein Hinweis auf ein dreidimensionales Objekt ist und so Brücken von Straßen unterscheidet. Wie in Abb. 2 zu sehen ist, folgt der Brückenschatten dem Verlauf des Geländes und kann so, bei bekannter Brückenhöhe und Beleuchtungswinkel, zur Abschätzung der Geländehöhe im Schattenrandbereich genutzt werden.

2.3 Höhenbestimmung

Nimmt man eine flache Wellenfront des Radarsignals und lokal ebenes Gelände an, kann die Höhe eines Objektes aus einem einzigen SAR-Bild geschätzt werden. Dazu wird zunächst das SAR-Bild von der Sensorgeometrie mit Hilfe eines Geländemodells in die Bodengeometrie überführt. Die Darstellung links in Abb. 3 zeigt schematisch, wie die Höhe h eines dreidimensionalen Objektes, z.B. der Eisenbahnbrücke in Abb. 2, mit Hilfe des Schattens POC und des Layovers PS bestimmt werden kann.

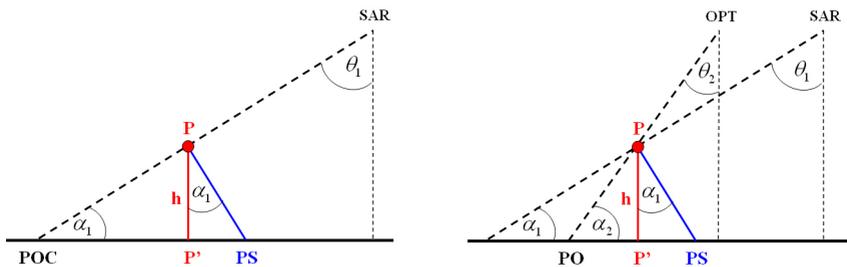


Abb. 3: Links: Höhenbestimmung eines dreidimensionalen Objektes aus einem einzigen SAR-Bild, Rechts: Höhenbestimmung eines dreidimensionalen Objektes mit Hilfe eines SAR-Bildes und eines optischen Bildes

P stellt in diesem Fall die Brücke mit der Höhe h dar. Der SAR-Sensor bildet die Brücke mit dem Beleuchtungswinkel θ_1 ab. Im SAR-Bild kommt es zum Layover-Effekt und so wird P auf PS abgebildet. Der Bereich zwischen P' und POC wird von der Brücke verdeckt und nicht vom Radarsignal beleuchtet. Dieser Bereich erscheint als Schatten im SAR-Bild. Die tatsächliche Position der Brücke P' wird nicht im SAR-Bild abgebildet. Mit Hilfe trigonometrischer Formeln lässt sich die Brückenhöhe aus der Distanz D zwischen PS und POC im Bild abschätzen (2).

$$h = D \frac{\tan(\alpha_1)}{\tan^2(\alpha_1) + 1} = D \frac{\sin(2\alpha_1)}{2} \quad (2)$$

Zu Testzwecken wurde die Höhe der Eisenbahnbrücke in Abb. 2 gemessen. Dafür wurde das Bild in Sensorgeometrie mit dem von der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) erstellten Höhenmodell (SRTM-3) auf den Boden projiziert. Im nächsten Schritt wurden Brücke und Schatten im SAR-Bild segmentiert. Daraufhin wurde der Abstand D zwischen der sensornahen Kante des Layoverbereichs und der sensornahen Kante des Brückenschattens gemessen und mit Messungen aus einem Feldvergleich verglichen (Tab. 1). Zur systematisch zu niedrig bestimmten Brückenhöhe aus dem SAR-Bild kommt es aufgrund des für diesen Zweck zu groben Höhenrasters des SRTM-Höhenmodells. Mit einem genaueren Höhenmodell, z.B. von der bayerischen Landesvermessung, könnten erheblich bessere Ergebnisse erzielt werden.

Tab. 1: Vergleich einiger aus dem Bild bestimmten Brückenhöhen mit den tatsächlichen Brückenhöhen (jeweils gemessen zwischen Erdboden und Unterkante der Fahrbahn)

Aus dem Bild bestimmte Höhen [m]	Tatsächliche Brückenhöhen [m]
18,17	23,66
18,21	19,28
14,52	16,73
12,38	16,11
12,73	15,83
Standardabweichung: 3,46	

Ist ein optisches Bild der Brücke vorhanden, kann die Brückenhöhe auch mit einer Kombination aus optischem Bild und SAR-Bild bestimmt werden (INGLADA & GIROS, 2004) (Abb. 3, rechts). Dafür werden zunächst beide Bilder mit einem Geländemodell orthorektifiziert. Für das SAR-Bild gelten wieder die gleichen Abbildungseigenschaften wie schon zuvor beschrieben. Im optischen Bild wird der Punkt P, der im SAR-Bild auf Punkt PS abgebildet wird, auf Punkt PO abgebildet. Ist der Aufnahmewinkel θ_2 des optischen Sensors bekannt und wird lokal ebenes Gelände angenommen, kann die Brückenhöhe aus dem Abstand D zwischen PO und PS bestimmt werden.

$$h = D \cdot \tan(\alpha_2) / (\tan(\alpha_1) \cdot \tan(\alpha_2) + 1) \quad (3)$$

Diese am Beispiel von Brücken untersuchten Möglichkeiten der Höhenbestimmung dreidimensionaler Objekte aus einzelnen SAR-Bildern oder aus der Kombination eines optischen Bildes und eines SAR-Bildes können auch für Gebäude genutzt werden (siehe Kapitel 4).

3 Brückensimulation

Um auftretende Effekte und den Einfluss der Sensorparameter auf deren Ausprägung im SAR-Bild systematisch zu untersuchen, liegen oft nicht genug SAR-Bilder der gleichen Szene vor. Außerdem sind SAR-Bilder häufig stark verrauscht und es tritt zusätzlich der Speckle-Effekt auf. Simulationsprogramme für die Erzeugung künstlicher SAR-Bilder können hier unterstützend wirken, da so deterministische Bildmerkmale von zufälligen Streueffekten unterschieden und Reflexionsbeiträge wie Einfach- oder Mehrfachreflexion geometrisch voneinander getrennt werden können. Des Weiteren lässt sich das Erscheinungsbild eines Objekts in Abhängigkeit des Einfallswinkels und Aspektwinkels anschaulich nachvollziehen, was im Folgenden anhand eines Simulationsergebnisses für die Brücke nahe Zellingen gezeigt wird. Die dazu nötigen Arbeitsschritte gestalten sich wie folgt: Zunächst wird ein 3D-Modell der Brücke erzeugt und in ein digitales Höhenmodell eingebracht, welches aus Daten der SRTM-Mission generiert worden ist (Abb. 4). Ein virtueller SAR Sensor, der die gleichen Abbildungseigenschaften aufweist wie ein reales SAR-System, beleuchtet im Anschluss den Objektraum unter der Verwendung unterschiedlicher Signaleinfallswinkel und Aspektwinkel, um künstliche Reflexionskarten zu erzeugen (AUER et al., 2008). Für die Approximation des Radarsignals werden dabei Ray-Tracing Algorithmen eingesetzt, bei denen die modellierte Szene anhand von Strahlen und unter der Berücksichtigung von Mehrfachreflexionen abgetastet wird (GLASSNER, 2002).

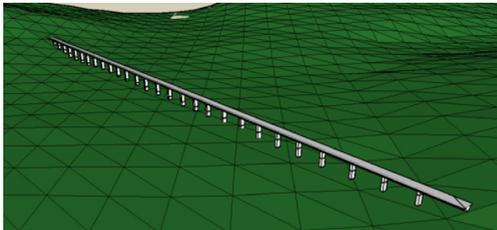


Abb. 4: 3D-Modell der Brücke bei Zellingen, eingefügt in ein Höhenmodell, das aus SRTM-3 Daten erzeugt wurde

In Abb. 5 sind Erscheinungsbilder der Brücke für verschiedene Sensorpositionen dargestellt. Insbesondere die unterschiedliche Ausprägung des Brückenschattens ist deutlich zu erkennen. Während der Schattenbereich für hohe Beleuchtungswinkel (hier 75°) weiter von der Brücke entfernt liegt (Abb.5, oben), nähert er sich der Brücke bei niedrigerem Beleuchtungswinkel (Abb. 5, Mitte) an (hier 45°). Wird der Aspektwinkel des SAR-Sensors so gewählt, dass das SAR-Bild ungefähr längs des Brückenverlaufs aufgenommen wird, schmiegt sich der Schatten fast vollständig an die Brücke an (Abb. 5, unten). Helle Punkte an der Brücke bzw. am Ende der Brückenpfeiler ergeben sich durch Zweifachreflexion zwischen Boden und Pfeilern. Sichtbare Dreiecke innerhalb der simulierten Bilder werden durch das verwendete Oberflächenmodell verursacht, welches anhand einer Dreiecksvermaschung erzeugt worden ist.

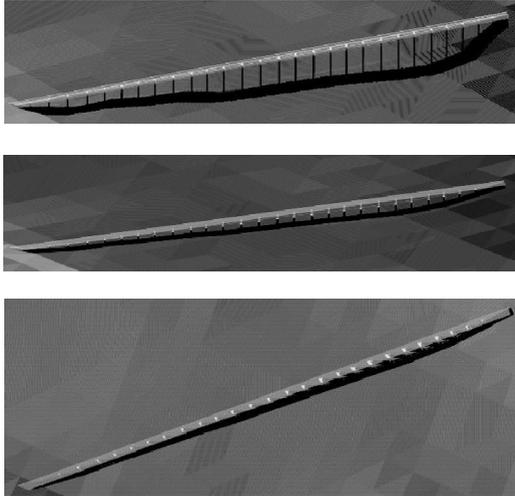


Abb. 5: Simulationsergebnis (in Sensorgeometrie, ohne Speckle) für die Brücke bei Zellingen. Oben und Mitte: Reflexionskarten für Beleuchtungswinkel von 75° bzw. 45° (von oben beleuchtet), Unten: Reflexionskarte für Aspektwinkeländerung von 90° gegenüber den ersten beiden Simulationen (von links beleuchtet, Beleuchtungswinkel 45°)

4 Gebäude in SAR-Bildern

Die Detektion und Modellierung von Gebäuden in urbanen Gebieten mit Hilfe von SAR-Daten ist für verschiedene Anwendungen von Interesse, z.B. zur Lagebeurteilung nach Naturkatastrophen, zur Kartierung von Gebieten mit ständiger Wolkenbedeckung oder zur militärischen Aufklärung. Die SAR-typischen Effekte Layover und Shadowing sind im Stadtbereich stark ausgeprägt. Objekte, die im Schatten großer Gebäude liegen, werden nicht abgebildet und zusätzlich überdeckt Layover Bereiche schwacher Rückstreuung. Eine Möglichkeit der Interpretation urbaner Gebiete mit SAR-Daten ist die Nutzung von InSAR-Daten zwei zueinander orthogonaler Aspekte (THIELE et al., 2007A). Objekte in Schattenbereichen, die bei der Aufnahme aus einem Aspekt verdeckt werden, können in der dazu orthogonalen Aufnahme erfasst werden. Gebäude können anhand von L-Strukturen detektiert werden, die bei der Fusion beider Aspekte entstehen. Die Analyse urbaner Gebiete kann auch mit zwei um eine Basis versetzten SAR-Bildern stereoskopisch geschehen (SIMONETTO et al., 2005). Die stereoskopische Auswertung von mindestens zwei SAR-Bildern der gleichen Szene hat den Vorteil, dass Höhenwerte für Gebäude direkt aus den SAR-Bildern bestimmt werden können (bei InSAR-Daten in urbanen Gebieten oft nicht ohne weiteres möglich). Die stereoskopische Auswertung von zwei SAR-Bildern in Kombination mit einem optischen Luftbild bietet die Möglichkeit, die stereoskopisch ermittelten Höhen in homogenen Bereichen des optischen Bildes

zu glätten, z.B. auf großen Dachflächen von Industriegebäuden (TUPIN & ROUX, 2005). Vielversprechend und Gegenstand dieses Forschungsprojekts ist die Kombination von einem optischen Fernerkundungsbild und einem SAR-Bild. Nach erfolgreicher, möglichst automatischer Registrierung vom optischen Bild und vom SAR-Bild (WEGNER, 2007) können beispielsweise Grundrisse von Gebäuden extrahiert werden (TUPIN & ROUX, 2003). In dem hier vorgestellten Forschungsprojekt sollen Gebäude darüber hinaus dreidimensional modelliert werden. Erste Ansätze und Ideen liefert dabei die Betrachtung SAR-typischer Effekte bei Brücken (siehe Kapitel 2 und 3). Bei Gebäuden in urbanen Gebieten kommt es noch zu weiteren Effekten, die zur Szenenanalyse genutzt werden können und im Folgenden vorgestellt werden. Werden Gebäude mit Giebeldächern orthogonal zur Längsachse aufgenommen, erscheinen diese im SAR-Bild als zwei parallele Linien, aus deren Abstand sich bei bekannter äußerer Orientierung des Sensors, Gebäudebreite und Dachneigung die Gebäudehöhe ableiten lässt (THIELE et al., 2007B). Dieser Effekt ist gut zu sehen in Abb. 6 rechts. Abgebildet ist ein TerraSAR-X Bild des Stadtteils Linden in Hannover, aufgenommen im High-Resolution Spotlight Modus. In Abb.6 links ist das korrespondierende Luftbild dargestellt.

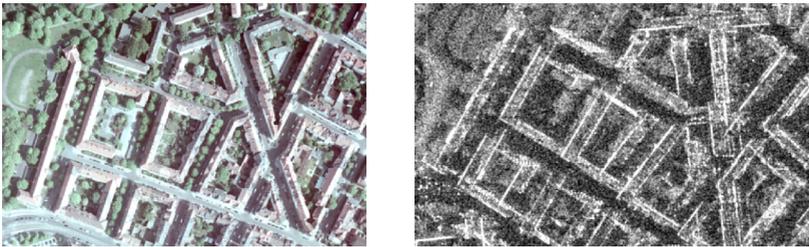


Abb. 6: Links: Optisches Luftbild des Stadtteils Linden in Hannover (© Geoinformation Stadt Hannover), Rechts: TerraSAR-X Bild des gleichen Gebietes wie im optischen Bild (von links beleuchtet)

In Abb. 7 sind die Abbildungseigenschaften für ein Haus mit Flachdach (Abb.7, links) und ein Haus mit Giebeldach (Abb.7, rechts), bei Fortbewegung des Sensors parallel zur Längsachse des Gebäudes, schematisch dargestellt. Für das Gebäude mit Flachdach ist in hellgrau der Layover-Bereich gekennzeichnet, in dem die Gebäudefassade, der vordere Teil des Daches und der Boden abgebildet werden. Zur weißen Linie, dem Bereich mit der höchsten Amplitude, kommt es durch eine Zweifachreflexion des Radarsignals zwischen Gebäudefassade und Boden. Im dunkelgrauen Bereich wird der hintere Teil des Daches abgebildet, der weiter vom Sensor entfernt ist, als das untere Fassadenstück (siehe auch Abb. 8, Mitte). Das Gebäude mit Giebeldach erzeugt eine etwas andere Signatur im SAR-Bild. Zwei parallele Linien mit hoher Amplitude treten auf (siehe auch Abb. 6, rechts und Abb. 9, rechts). Zur ersten (sensornahen) Linie kommt es, da das Giebeldach und das einfallende Radarsignal einen Winkel von annähernd 90° einschließen und deshalb alle Streuer auf dem Dach des Gebäudes die gleiche Entfernung zum Sensor aufweisen. Die dem Sensor zugewandte Seite des Giebeldaches wird so auf einer schmalen Linie abgebildet, da im SAR-Bild der Abbildungsort des Objektes in Entfernungsrichtung von der Distanz zwischen Sensor und Objekt abhängt. Im hellgrauen Bereich wird die Gebäudefassade abgebildet

und Teile der vom Sensor abgewandten Dachseite, falls diese nicht abgeschattet wird. Zur zweiten weißen Linie kommt es, wie schon beim Haus mit Flachdach, aufgrund der Zweifachreflexion des Radarsignals zwischen Fassade und Boden. Der hintere Teil der vom Sensor abgewandten Dachseite wird im dunkelgrauen Bereich abgebildet. In schwarz ist wieder der Schattenbereich dargestellt.

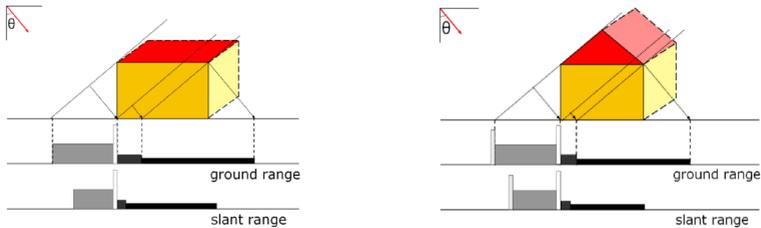


Abb. 7: Links: SAR-Bild eines von links beleuchteten Gebäudes mit Flachdach in Bodengeometrie (ground range) und in Schrägsichtgeometrie (slant range), Rechts: SAR-Bild eines von links beleuchteten Gebäudes mit Giebeldach (nach (THIELE et al., 2007B))

5 Gebäudesimulation

Zur genaueren Untersuchung der Gebäudesignatur wurden SAR-Bilder eines Gebäudes mit Flachdach und eines Gebäudes mit Giebeldach simuliert. Zunächst wird der einfache Fall eines Gebäudes mit Flachdach erläutert.

Als Eingangsmodell für den Simulationsprozess wurde eine quadratische Box verwendet (Abb. 8, links), der ein Boden mit hoher spiegelnder und niedriger diffuser Reflexionseigenschaft unterlegt ist. Dem virtuellen SAR-Sensor, Blickrichtung orthogonal zur Ausrichtung des Hauses, wurde für die Bilderzeugung ein Beleuchtungswinkel von 27° vorgegeben. Als Ergebnis findet sich im simulierten Bild (Abb. 8, Mitte) in Entfernungsrichtung zunächst ein Überlagerungsbereich von Dachfläche und Wandfläche, dem ein Intervall diffuser Reflexionsbeiträge der Wand folgt. Zweifachreflexionen zwischen Wand und Boden sammeln sich in einer Linie hoher Intensität, der sich ein ausgeprägter Schattenbereich anschließt.

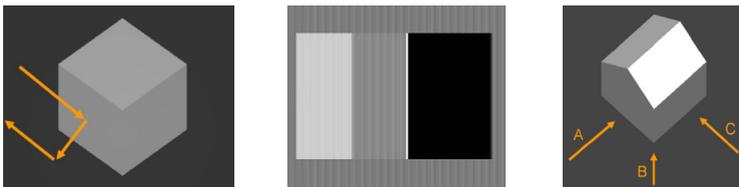


Abb. 8: Simulation für ein Haus mit Flachdach, Links: Blickrichtung des Sensors orthogonal zur Ausrichtung des Gebäudes, Mitte: Reflexionskarte (von links beleuchtet, Beleuchtungswinkel: 27°), Rechts: Blickrichtungen des Sensors auf das Gebäudemodell mit Giebeldach

Alle aufgeführten Bereiche mit Ausnahme des Schattens werden zusätzlich von Beiträgen des Bodens überlagert. Streifenartige Effekte innerhalb des Bildes ergeben sich, da die in Entfernungsrichtung ungleichmäßig verteilten Reflexionsbeiträge Entfernungsintervallen gleicher Größe zugeteilt werden müssen, um schlussendlich eine Reflexionskarte in der Azimuth-Range Ebene erzeugen zu können.

Wie unterschiedlich das geometrische Erscheinungsbild eines einzelnen Gebäudes je nach Beobachtungsgeometrie sein kann, zeigt sich anhand des Beispiels eines einfachen Giebeldachmodells (Abb. 9). Die Pfeile in Abb. 8 rechts zeigen die für die Simulation verwendeten Beobachtungsrichtungen des Sensors an. Während sich in Abb. 9 links und Abb. 9 Mitte helle Linien nur durch Zweifachreflexion zwischen Wand- und Bodenfläche ergeben, erkennt man in Abb. 9 rechts eine weitere helle Linie, die durch den Beitrag des Gebäudedachs begründet ist (siehe Kapitel 4). Alle Rückstreubeiträge einer Dachhälfte weisen die gleiche Entfernung zum Sensor auf, wodurch sie in einer Linie zusammenfallen, wohingegen die zweite Dachhälfte vom Sensor aus nicht zu sehen ist. Das Parallelogramm geringer Intensität rechts in Abb. 9 Mitte beruht auf einer Interaktion zwischen der vom Sensor wegweisenden Dachfläche und dem Boden im Hintergrund des Gebäudes.

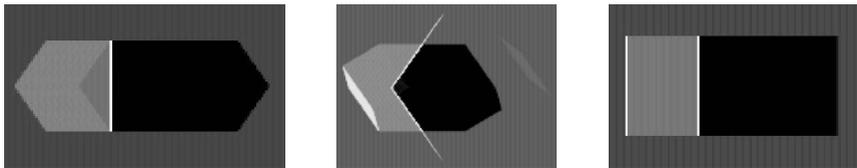


Abb. 9: Simulation für ein Gebäude mit Giebeldach (ohne Speckle, von links beleuchtet, Beleuchtungswinkel 45°), Links: Simulation längs der Gebäudeachse (Aspektwinkel A in Abb.8, rechts), Mitte: Simulation diagonal zur Gebäudeachse (Aspektwinkel B in Abb.8, rechts), Rechts: Simulation orthogonal zur Gebäudeachse (Aspektwinkel C in Abb.8, rechts)

6 Fazit und Ausblick

Mit Hilfe der gezeigten Effekte, die bei SAR-Bildern von Brücken und Gebäuden auftreten, lassen sich, unter optimalen Bedingungen, sowohl Lage- als auch Höheninformationen gewinnen. In Kombination mit optischen Bildern können zusätzliche Informationen wie z.B. die Dachform (BRUNNER et al., 2008) oder die Gebäudebreite bestimmt werden. Ziel des Projektes ist es, einen iterativen Algorithmus zur Klassifikation urbaner Gebiete zu entwickeln. Dafür werden das optische Bild und das SAR-Bild zunächst einzeln segmentiert. Die resultierenden Segmente werden daraufhin fusioniert und es wird eine Klassifikation der Szene durchgeführt, wobei in den Daten enthaltene Höheninformation mit einbezogen werden soll. So entsteht eine Klassifikation bei gleichzeitiger dreidimensionaler Modellierung der Gebäude. Um qualitativ gute Ergebnisse zu erzeugen, ist ein iterativer Algorithmus vorzuziehen.

7 Danksagungen

Wir bedanken uns beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), insbesondere bei Herrn Thomas Hahmann, für die Bereitstellung des TerraSAR-X Bildes in Abb.1. Ebenfalls zu Dank verpflichtet sind wir dem Bereich Geoinformation der Stadt Hannover, hier insbesondere Frau Ulrike Stampa-Wessel und Herrn Rainer Vogt, für die Bereitstellung der Luftbilder von Hannover und die freundliche Betreuung.

8 Literaturverzeichnis

- AUER, S.; HINZ, S. & BAMLER, R., 2008: Ray Tracing for Simulating Reflection Phenomena in SAR Images. In: Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2008 (IGARSS2008), Boston, USA., 4 S..
- BRUNNER, D.; LEMOINE, G. & BRUZZONE, L., 2008: Height estimation of man made structures using hybrid VHR optical and SAR imagery. In: Proceedings of the EARSeL Symposium: Remote Sensing-New Challenges of High Resolution, Bochum 2008, CD-ROM, 8 S..
- CADARIO, E.; SCHULZ, K.; GROSS, H.; HAMMER, H.; THIELE, A.; THÖNNESSEN, U.; WEYDAHL, D.J. & SÖRGE, U., 2008: Feature extraction and change detection for bridges over water in airborne and spaceborne SAR image data. In: Proceedings of the EARSeL Symposium: Remote Sensing-New Challenges of High Resolution, Bochum 2008, CD-ROM, 8 S..
- FRANCESCHETTI, G.; GUIDA, R.; IODICE, A.; RICCIO, D.; RUELLO, G. & STILLA, U., 2007: Building Feature Extraction via a Deterministic Approach: Application to Real High Resolution SAR Images. In: Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2007 (IGARSS2007), S. 2681-2684.
- GLASSNER, A.S., 2002: An Introduction to Ray Tracing. San Francisco, Morgan Kaufmann
- INGLADA, J. & GIROS, A., 2004: On the possibility of Automatic Multisensor Image Registration. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **42**(10), S. 2104-2120.
- ROBALO, J. & LICHTENBERGER, J., 1999: ERS-SAR Images a Bridge. ESA, Earth Observation Quarterly, S. 7-10.
- SIMONETTO, E.; ORIOT, H. & GARELLO, R., 2005: Rectangular Building Extraction From Stereoscopic Airborne Radar Images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **43**(10), S. 2386-2395.
- SÖRGE, U.; THIELE, A.; CADARIO, E. & THÖNNESSEN, U., 2007: Fusion of High-Resolution InSAR Data and optical Imagery in Scenes with Bridges over water for 3D Visualization and Interpretation. In: Proceedings of Urban Remote Sensing Joint Event 2007 (URBAN2007), 6
- THIELE, A.; CADARIO, E.; SCHULZ, K.; THÖNNESSEN, U. & SÖRGE, U., 2007: Building Recognition from Multi-Aspect High-Resolution InSAR Data in Urban Areas. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **45**(11), S. 3583-3593.
- THIELE, A.; CADARIO, E.; SCHULZ, K.; THÖNNESSEN, U. & SÖRGE, U., 2007: Feature Extraction of Gable-Roofed Buildings from Multi-Aspect High-Resolution InSAR Data. . In: Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2007 (IGARSS2007), S. 262-265.
- TUPIN, F. & ROUX, M., 2003: Detection of building outlines based on the fusion of SAR and optical features. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Band 58, S. 71-82.

- TUPIN, F. & ROUX, M., 2005: Markov Random Field on Region Adjacency Graph for the Fusion of SAR and Optical Data in Radargrammetric Applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**(8), S. 1920-1928.
- WEGNER, J.D., 2007: Automatic Fusion of SAR and Optical Imagery. Diplomarbeit, Fachbereich Geodäsie und Geoinformatik, Leibniz Universität Hannover.
- WEGNER, J.D. & SÖRGE, U., 2008: Bridge height estimation from combined high-resolution optical and SAR imagery. *IntArchPhRS*, Band XXXVII, Teil B7-3, Peking 2008, S. 1071-1076.