

Entwicklung einer modelbasierten Methode zur Detektion von Gebäudeschatten in Luft- und Satellitenbildern

STEPHANIE KAUFHOLD¹

Zusammenfassung: Dieser Artikel befasst sich mit künstlichen Schatten, die auf Basis hochauflösender digitaler Oberflächenmodelle erzeugt werden. Es wird evaluiert, welchen Einfluss die Pixelauflösung und die Methoden der DOM-Erzeugung auf die Konstruktion künstlicher Schatten haben.

1 Einleitung

Bis vor kurzem galten Laser- und Oberflächenmodelle, was Auflösung und Genauigkeit anbelangt, als die besten verfügbaren Digitalen Oberflächenmodelle (DOM). In jüngster Zeit allerdings konkurrieren sie verstärkt mit DOM aus Datensätzen hochauflösender Luftbildkameras. Hintergrund ist, dass es bei den digitalen Luftbildkameras in den vergangenen zehn Jahren einen Entwicklungsschub in den Dimensionen Auflösung und Bildqualität gab. Zudem wurden die Matching-Algorithmen zur Erzeugung Digitaler Oberflächenmodelle verbessert. Trotzdem gibt es immer noch verschiedene Probleme bei der Arbeit mit diesen Daten. So haben z.B. in Innenstadtbereichen Schatten einen großen Anteil an der aufgenommenen Fläche eines Luftbildes. Diese Schatten stören in mehrfacher Hinsicht, da sie andere radiometrische Eigenschaften haben als Nichtschattenbereiche. Sie stören rein visuell, bei der Bildzuordnung, bei der photogrammetrischen Prozessierung, bei der Segmentierung und Klassifikation und bei der Extraktion realer geometrischer Kanten (Gebäudekanten).

Wenn nun durch die Simulation des Schattens auf DOM-Basis errechnet werden könnte, wo sich der Schatten eines Gebäudes gemessen am Aufnahmezeitpunkt befinden wird, könnte diese Information genutzt werden, um die genannten Probleme bei der multispektralen Klassifikation, der Segmentierung und der Kantendetektion zu minimieren oder zu lösen. Dies wurde jetzt in einer Masterarbeit in der Abteilung Sensorkonzepte und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt untersucht. Dafür wurden auf der Basis von Digitalen Oberflächenmodellen künstliche Schatten erzeugt. Hierzu werden DOM unterschiedlicher Sensoren (Flugzeug/Satellit), die mit unterschiedlichen Methoden erzeugt wurden, mit Methoden der Fernerkundung untersucht. Geprüft wurde, welchen Einfluss die DOM-Qualitäten und der zur DOM-Erzeugung verwendete Matching-Algorithmus auf das Untersuchungsergebnis haben. Die künstlichen Schatten wurden mit den realen Schatten aus dem Trueorthophotomosaik (TOM) verglichen. Dadurch war eine Qualitätsprüfung des DOM und der Schattenanalyse möglich. Die entstandenen Abweichungen zwischen tatsächlichem und künstlichem Schatten wurden in der Arbeit diskutiert, ebenso, ob systematische Fehler auftreten.

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Optische Sensorsysteme, Sensorkonzepte und Anwendungen, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin-Adlershof; E-Mail: stephanie.kaufhold@dlr.de

2 Grundlagen, Methoden und Analysen

2.1 Daten und Werkzeug

Für die Konstruktion künstlicher Schatten werden zwei Datensätze in verschiedenen Ausprägungen verwendet. Der eine Datensatz stammt von der großformatigen digitalen Luftbildkamera UltraCam_X (UCX). Der andere Datensatz wurde von dem hochauflösenden Erdbeobachtungssatelliten WorldView-1(WVI) der Firma Digital Globe aufgezeichnet. Von jedem der beiden Sensoren liegen DOM und TOM vor, welche mit den Prozessierungsalgorithmen Semi Global Matching (DLR) oder Inpho Match T (Inpho- Trimble) erzeugt wurden.

Als Werkzeug zur Erzeugung künstlicher Schatten wird die ArcGIS Spatial Analyst Solarpotenzialanalyse verwendet. Es wird ein Höhenmodell in einem Raster-Format als Eingangsdaten für die Berechnung benötigt. Als Ergebnis werden verschiedene Raster-Datensätze ausgegeben, unter anderem auch ein Raster, das die Dauer der direkten Sonneneinstrahlung darstellt. Dies ist das einzige für diese Analyse benötigte Raster, da es wegen seiner Rasterwerteinteilung in Bereiche mit 0 Stunden Beleuchtung und mit >0 h Beleuchtung die Grundlage für alle weiteren Analysen bildet. Wie in Abb. 1 zu sehen ist, fallen die Bereiche ohne Sonneneinstrahlung mit den Bereichen der echten Schatten im RGB-Bild zusammen.

2.2 Analysen

Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der tatsächlichen und künstlichen Schatten werden mit verschiedenen Analysetechniken untersucht. Dabei stehen zwei Hauptuntersuchungsansätze im Mittelpunkt: die Gesamtschattenanalyse und die Einzelschattenanalyse

2.2.1 Die Gesamtschattenanalyse

Die Gesamtschattenanalyse aller Schattenflächen im Untersuchungsgebiet umfasst zwei Ansätze: Es werden ein Accuracy Assessment zur Untersuchung der relativen Genauigkeit der Methode und ein Flächenvergleich zur Untersuchung der absoluten der Genauigkeit der Methode durchgeführt.

Das Accuracy Assessment zeigt, dass bei einer hohen Auflösung des Datensatzes der Omission Error höher und der Commission Error geringer ist, während bei Datensätzen mit geringerer Auflösung der Omission Error geringer ist und der Commission Error höher. Zieht man zu diesen Erkenntnissen bezüglich Korrektheit und Vollständigkeit noch die Overall Accuracy (OA) und den Kappa Koeffizienten (KK) hinzu, wird deutlich, dass die Folgerung bezüglich des Zusammenhanges von Auflösung, Korrektheit und Vollständigkeit richtig ist: Der qualitativ hochwertigste Datensatz dieser Untersuchung erzielt die höchsten OA und den besten KK.

So stimmt laut Users Accuracy der Schatten des Datensatzes UCX SGM 15cm zu 94,67% mit der Referenz überein. Auch die Producers Accuracy zeigt, dass die Schatten mit 81,61% fast vollständig erfasst werden. Diese sehr hohe Korrektheit und die hohe Vollständigkeit, die hier erzielt werden konnten, hängen sehr wahrscheinlich mit der hohen Auflösung des Datensatzes zusammen. Diese Vermutung wird durch die Werte der anderen Datensätze gestützt: Zwar liegen bei den anderen Datensätzen UCX SGM 50 cm und UCX Inpho 50 cm mit Werten von 83,75 %

und 84,93 % leicht höhere Vollständigkeitsraten des künstlichen Schattens vor. Jedoch ist die Korrektheit, also die Übereinstimmung des künstlichen Schattens mit der Referenz, mit 89,33% und 82,67% deutlich geringer als bei dem qualitativ hochwertigsten Datensatz dieser Analyse. Auch der Flächenvergleich zeigt, dass der beste Datensatz dieser Analyse, eine Übereinstimmung der tatsächlichen mit den künstlichen Schatten von rund 82% erzeugt. Bemerkenswert ist hier, dass mit demselben Datensatz mit einer Auflösung von 50cm eine ähnlich hohe Übereinstimmung von 79,77% erzeugt werden kann. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Abweichungen zwischen tatsächlichem und künstlichem Schatten steigen, je geringer die Qualität des Digitalen Oberflächenmodells ist. Deutlich wurde hierbei, dass die DOM, welche mit dem SGM-Algorithmus erzeugt wurden, deutlich mehr Informationen enthielten als das mit dem MATCH-T-Algorithmus (Version 5.3) erzeugte DOM. Das hat zur Folge, dass die Berechnung der künstlichen Schatten für ein SGM-DOM eine höhere Übereinstimmung der tatsächlichen und der künstlichen Schatten erzeugt. Eine Ausnahme bildet das SGM-DOM des WorldView-1 Satelliten, das weniger Informationen als ein SGM-DOM der UltraCam_X mit der gleichen Auflösung enthält, weswegen eine deutlich geringere Überdeckung der künstlichen und tatsächlichen Schatten festgestellt wurde.

2.2.2 Die Einzelschattenanalyse

Auch die Einzelschattenanalyse umfasst zwei Ansätze: Ein Flächenvergleich von kompakten Schatten mit geradliniger Geometrie und ein Distanzvergleich zur Bestimmung der Passgenauigkeit von tatsächlichen und künstlichen Schatten mit kompakter geradliniger Geometrie werden zur Feststellung systematischer Fehler durchgeführt.

Es hat sich in den vorangegangenen Untersuchungen gezeigt, dass kleine Schattenflächen die Übereinstimmung von tatsächlichem und künstlichem Schatten verringern. Die Überlegungen gehen dahin, dass die Übereinstimmung bei kompakten, geradlinigen Geometrien höher ist. Diese These wurde konkret anhand von Einzelschattenanalysen untersucht. Je Datensatz wurden 4 Beispiele für Einzelgeometrien bezüglich ihrer Passgenauigkeit von künstlichem und tatsächlichem Schatten verglichen. Das Ergebnis dieser Analyse wies für den qualitativ besten und den zweitbesten Datensatz (UCX SGM 15cm und 50cm) Übereinstimmungen der Schattenflächen von nahezu 100% auf. Bedingung hierfür ist, dass die künstlichen Schattenflächen kompakt, geradlinig und möglichst vegetationslos sind.

Nachdem nun eine hohe Übereinstimmung von tatsächlichem und künstlichem Schatten für kompakte, geradlinige Flächen festgestellt werden konnte, stellt sich die Frage, welche Differenzen zwischen tatsächlichem und künstlichem Schatten pro Datensatz genau bestehen. Hierfür werden die Distanzen zwischen den Schatten gemessen. Es wird innerhalb dieser Distanzanalyse untersucht, ob für jeden Datensatz ein systematischer Fehler abgeleitet werden kann. Diese Analyse zeigt, dass die Vermutung einer hohen Passgenauigkeit von kompakten, geradlinigen künstlichen Schatten mit den tatsächlichen Schatten zutrifft. Die Differenzen zwischen den tatsächlichen und den künstlichen Schatten konnten für jeden Datensatz bestimmt werden. Im Ergebnis dieser Berechnungen konnte die Tendenz der Gesamtschatten-Analysen und die Tendenz der flächenmäßigen Einzelschattenanalysen durch die Bestimmung der Distanzen wiedergefunden werden. Der qualitativ beste Datensatz dieser Analyse erzeugt auch den künstlichen Schatten mit der besten Passgenauigkeit zum tatsächlichen Schatten. Es handelt

sich um den UltraCam_X Datensatz mit einer Auflösung von 15 cm, prozessiert mit dem SGM-Algorithmus. Es wird ein künstlicher Schatten mit einer Abweichung zum tatsächlichen Schatten von maximal 3 Pixeln erzeugt. Bei den anderen Datensätzen wurden Abweichungen zwischen dem tatsächlichen und dem künstlichen Schatten von 2 Pixeln bis 6 Pixeln festgestellt. Dadurch zeigt sich, dass nicht unbedingt ein Datensatz mit sehr hoher Auflösung benötigt wird, um einen künstlichen Schatten erzeugen zu können, welcher eine hohe Überdeckung mit den tatsächlichen Schatten erzielt.

Die Systematik der Fehler weist auf einen methodischen Fehler hin, welcher in der Erstellung der Schattenkanten seine Ursache finden könnte (Blackbox ARCGIS). Da alle Analysen mit der gleichen Methode berechnet wurden, sind die relativen Unterschiede zwischen den DOM sind jedoch aussagekräftig.

2.3 Zusammenfassung

Die Arbeit ging von drei Hypothesen aus:

Hypothese 1: Die digitalen Oberflächenmodelle und True Ortho Bilder sind in ihrer (geometrischen) Qualität ausreichend, so dass die bei einer künstlichen Schattensimulation berechneten Schattenumrisse mit den realen Schatten des TOM zusammen fallen.

Hypothese 2: Zur robusten Detektion von Schattenkanten ist keine hohe geometrische Auflösung im DOM erforderlich (50 cm vs. 15 cm).

Hypothese 3: Zur robusten Detektion von Schattenkanten liefern in dieser Untersuchung die DOM, welche mit dem im DLR e.V. entwickelten Algorithmus SGM erzeugt wurden, bessere Ergebnisse.

Diese drei Hypothesen konnten bestätigt werden. Die Analysen zeigten, dass die digitalen Oberflächenmodelle in ihrer geometrischen Qualität ausreichend sind. Es konnten durch eine Simulation der direkten Sonneneinstrahlung künstliche Schatten erzeugt werden, die mit den tatsächlichen Schatten der vorliegenden True Ortho Mosaik Überdeckungen erzielen.

Es stellte sich heraus, dass zur robusten Detektion von Schattenkanten keine hohe geometrische Auflösung im DOM erforderlich ist: die Abstandsanalyse für die Datensätze UCX SGM 15cm und UCX SGM 50cm ergab einen Lagefehler der künstlichen Schattenkante zur tatsächlichen Schattenkante von rund 2 Pixeln (UCX SGM 15 cm) und rund 1 Pixel (UCX SGM 50cm). Das bedeutet, dass die Standardabweichung der künstlichen Schatten für UCX SGM 15 cm 0,28 m beträgt, wohingegen die Standardabweichung der künstlichen Schatten für die UCX SGM 50cm Daten rund 0,4m beträgt. Die visuelle Analyse bestätigte diese Tendenz. Die Passgenauigkeit der künstlichen Schatten von Gebäuden ist bei diesen beiden Datensätzen sehr ähnlich. Der am höchsten aufgelöste Datensatz dieser Analyse erzeugt zwar das beste Ergebnis, ist aber nicht unbedingt nötig, um robust Schatten zu berechnen, womit die 2. Hypothese bestätigt ist.

Die 3. Hypothese, also die Vermutung, dass der am DLR e.V. entwickelte SGM-Algorithmus zur DOM-Erzeugung in dieser Untersuchung eine Voraussetzung zur robusten Detektion von Schattenkanten ist, hat sich ebenfalls bestätigen lassen. Alle Schattenanalysen haben gezeigt, dass die UCX- SGM-Daten stets die besten Ergebnisse der jeweiligen Analyse erzeugten.

Durch die Analyse der Gesamtschatten und die Einzelflächenanalyse kompakter, geradliniger Geometrien hat sich abgezeichnet, dass die Abweichungen zwischen dem tatsächlichen und dem künstlichen Schatten steigen, je geringer die Qualität des DOM ist. Die DOM, welche mit dem

SGM-Algorithmus erzeugt wurden, enthalten mehr Informationen als das DOM, welches mit dem MATCH-T-Algorithmus erzeugt wurde. Das hat zur Folge, dass die SGM-DOM der UCX-Kamera eine höhere Übereinstimmung der tatsächlichen und der künstlichen Schatten erzeugt. Zudem hat sich gezeigt, dass die Übereinstimmungen von tatsächlichem und künstlichem Schatten durch kleine Features, Vegetation sowie stark reflektierenden Features gemindert werden. Mit abnehmender Qualität des DOM steigen die Abweichungen zwischen tatsächlichem und künstlichem Schatten, da diese Features nicht ausreichend gut im DOM modelliert werden können. Für fehlende und ungenügend modellierte Features im DOM kann mit dem Solaranalyst kein passender künstlicher Schatten erzeugt werden. Anders verhält es sich mit den kompakten, geradlinigen Schatten. Diese stimmen, anders als der Gesamtschatten, zu einem hohen Prozentsatz mit ihren tatsächlichen Schatten überein. Diese Untersuchung bestätigt erneut die Überlegung, dass kleine, komplexe Features im DOM Abweichungen zwischen tatsächlichem und künstlichem Schatten verursachen.

Hervorzuheben ist für alle Datensätze, dass die Schwächen dieser Analyse, die zum Teil auf der Erfassung der tatsächlichen Schatten von Hand beruhen, für die hier aufgeführten Ergebnisse nur eine geringe Rolle spielen. Die 0,2 Pixel Ungenauigkeit, die durch die visuelle Interpretation der RGB- und PAN-Daten auftreten, sind im Vergleich zu den Abweichungen der künstlichen von den tatsächlichen Schatten sehr gering und können vernachlässigt werden. Bei allen hier aufgeführten Betrachtungen muss berücksichtigt werden, dass diese Aussagen nur für kompakte, geradlinige Schatten mit geringem Vegetationsanteil gelten. Zudem muss bei allen Untersuchungen die unbekannte Genauigkeit des ARCGIS- Werkzeugs „Solar-Analyst“ als zusätzliche mögliche Ursache für die Abweichungen zwischen tatsächlichem und künstlichem Schatten berücksichtigt werden. Es ist nicht feststellbar, mit welcher Auflösung die „Blackbox ArcGIS“ die vorliegenden DOM bei der Erstellung künstlicher Schatten verarbeitet hat.

Wie sich in dieser Arbeit gezeigt hat, gibt es in auch in urbanen Bereichen große Vegetationsvorkommen. Die Vegetationsschatten lassen sich nicht von den Gebäudeschatten trennen. Da die künstlichen Schatten in der Abteilung Sensorkonzepte und Anwendungen am DLR hauptsächlich dafür benötigt werden, die Gebäuderekonstruktion aus Schrägluftbildern zu unterstützen, liegt der Schwerpunkt der künftigen Untersuchungen auch auf den Schatten von Gebäuden.

2.4 Abbildung



Abb. 1: Das RGB-Bild des Datensatzes UCX 15 cm im Vergleich mit der zugehörigen künstlichen Schattenmaske auf DOM-Basis (Quelle: eigener Entwurf).

3 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die in unterschiedlicher Art und Weise zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben. Für die fachliche Unterstützung sowie für wertvolle Hinweise danke ich meinen Betreuern Herrn Prof. Dr. Josef Strobl und Frau Gudrun Wallentin, M.Sc.. Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Geol. Frank Lehmann und den Mitarbeitern der Abteilung Sensorkonzepte und Anwendungen am Institut Optische Sensorsysteme des DLR für die Bereitstellung der Daten sowie für vielseitige Denkanstöße.

4 Literaturverzeichnis

BLASCHKE, T., 2000: Ohne Salz und Pfeffer. *GeoBIT* **2**, S. 19-21.

FU, P. & RICH, P. M., 1999: Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, USA, <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm> [Stand 2014-10-09].

HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **30** (2), S. 328-341.

INPHO GMBH, 2006: MATCH-T 5.3 – Reference Manual. – Stuttgart.

KRAUS, K., 2002: Zur Orthophoto - Terminologie. *PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **4**, S. 451-452.

MAYR, W., 2002: Bemerkungen zum Thema „True Orthoimage“. *PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **4**, S. 237-244.