

# VHR Stereo-Pléiades-Satellitenbilder versus Airborne Laserscandaten – Vergleich auf Basis von abgeleiteten 3D-Gebäudemodellen

Klaus STEINNOCHER<sup>1</sup>, Mario KÖSTL<sup>1</sup>, Martin HOFER<sup>2</sup> und Roland PERKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien · klaus.steinnocher@ait.ac.at

<sup>2</sup>GeoVille Information Systems GmbH, Innsbruck

<sup>3</sup>JOANNEUM RESEARCH Forschungsges.mbH, Graz

## 1 Einleitung

Mit der Verfügbarkeit der neuesten Satellitengeneration Pléiades und Sentinel können die Kernanforderungen einer hoch automatisierten und kontinuierlichen Landbeobachtung erfüllt werden. Pléiades ist ein aus zwei baugleichen und synchronisierten Satelliten (twin satellites) bestehendes EO-System, das eine tägliche Neuerfassung von jedem Punkt weltweit ermöglicht. Die Hauptinnovation stellt die hervorragende Dreh-, Neigungs- und Schwenkagilität dar, welche Stereo- und Tri-Stereo-Aufnahmen vom selben Orbit ermöglichen und eine signifikante Neuerung gegenüber anderen Satelliten wie GeoEye, Ikonos oder WorldView darstellt. Die hohe Bodenauflösung von bis zu 50 cm im panchromatischen Kanal ermöglicht somit eine hochgenaue Rekonstruktion der Erdoberfläche.

Dazu werden im Projekt HighSens II, das im Rahmen des Austrian Space Applications Programme (ASAP) der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gefördert wird, Entwicklungen aus dem Vorgängerprojekt komplementiert sowie neue technologische Komponenten entwickelt und validiert:

- Leistungsfähige Prozesskette, die neben der bereits in HighSens I entwickelten vollautomatischen Generierung von digitalen Oberflächenmodellen um die Kapazität erweitert wird, ein digitales Gelände- und ein normalisiertes Digitales Oberflächenmodell zu berechnen, sowie die Orthorektifizierung von Pléiades-Daten in großflächigem Maßstab ermöglicht.
- Prototyp für die 3D-Modellierung von Gebäuden auf Basis von Pléiades-Daten.
- Methoden zur Generierung von wolkenfreien Kompositen und zur Erkennung von Landschaftsveränderungen im urbanen Raum auf Basis von Sentinel-2-Daten für die Optimierung von kostenaufwendigen Bildakquisitionen.
- Vermarktung der entwickelten Kapazitäten, um Pléiades- und Sentinel-2-basierte Lösungen am Markt anbieten zu können.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Ableitung von Oberflächenmodellen aus Pléiades-Daten und die darauf basierende Erstellung von Gebäudemodellen. Zur Bewertung der Gebäudemodelle – und damit der dahinter liegenden Oberflächenmodelle – werden die auf Pléiades basierenden Modelle mit ALS-basierten Modellen verglichen.

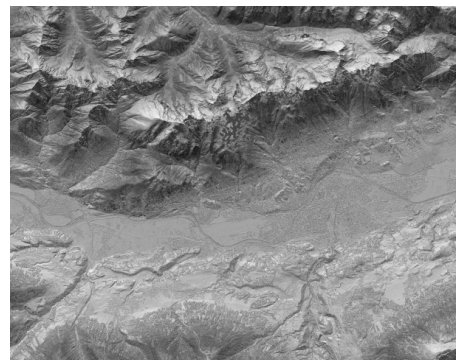
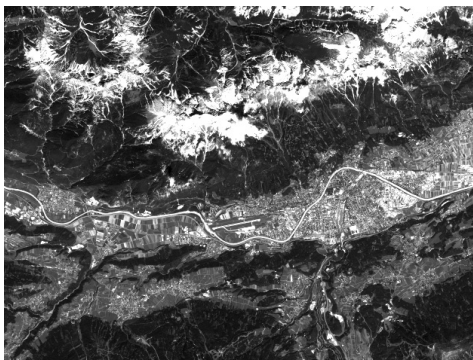
## 2 Testgebiet und Datenverarbeitung

Als Testgebiet wurde die Region rund um Innsbruck (Österreich) gewählt mit einer Höhendynamik von 560 bis 2.750 m über dem Meeresspiegel. Zur Ableitung des digitalen Oberflächenmodells steht eine Pléiades-1A-Stereo-Aufnahme zur Verfügung (siehe Tabelle 1), die eine Fläche von 435 km<sup>2</sup> abdeckt. Der Stereo-Schnittwinkel beträgt 26,9° und entspricht somit einem Basis-zu-Höhen-Verhältnis von 0,47.

**Tabelle 1:** Aufnahmeparameter der Pléiades-Stereo-Bilder

Datum	Zeit	Blickwinkel [°] in / quer zur Bahn		GSD [m]	Platt- form	Aufnah- memodus	Spektrale Verarbei- tung
2013-07- 13	10:16:41.4	8.96	-11.72	0.70-0.77	PHR 1A	PX	PA
2013-07- 13	10:17:25.8	2.35	14.48	0.70-0.77	PHR 1A	PX	PA

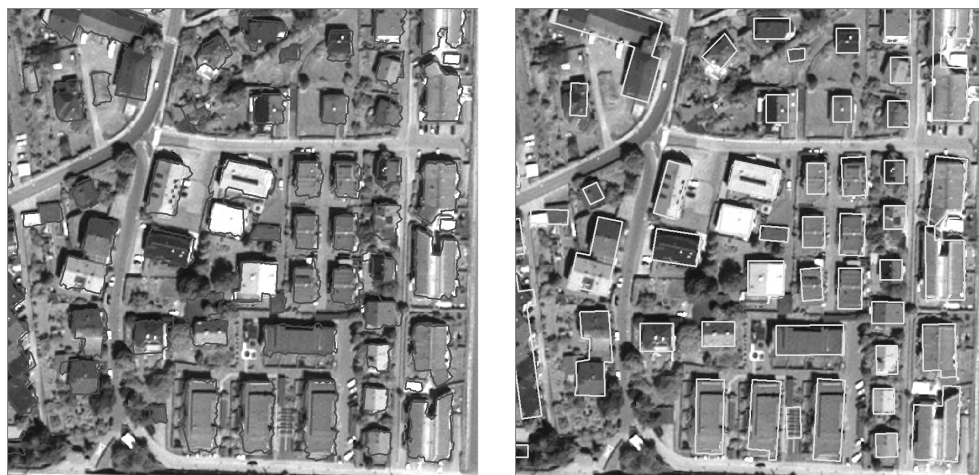
Zur Extraktion eines Oberflächenmodells wurden die VHR panchromatischen Pléiades-Bilder herangezogen. Zuerst wurden 30 Passpunkte zwischen den Pléiades-Bildern und den ALS-Daten gemessen, um die Genauigkeit der Sensormodelle zu verbessern. Als nächstes wurden beide Bilder epipolar rektifiziert (WANG et al. 2011), um eine 1D Suche im folgenden Bildmatching zu ermöglichen. Das dichte Stereo-Matching basiert auf der semi-globalen Optimierung (HIRSCHMÜLLER 2008) und findet für jeden Bildpunkt den lokalen Stereo-Verschiebungsvektor. Darauf erfolgt die Berechnung einer 3D Punktwolke durch einen räumlichen Vorwärtsschnitt, die wiederum auf ein regelmäßiges Raster mit 1-m-Bodenauflösung interpoliert wurde. Das Ergebnis dieses Verfahrens ist in Abbildung 1 (rechts) dargestellt.



**Abb. 1:** Überblick über das Testgebiet. Pléiades multi-spektrales Orthobild (links) und eine Reliefdarstellung des abgeleiteten Oberflächenmodells (rechts).

Das normalisierte Pléiades-Oberflächenmodell (nDSM) kann nun durch Subtraktion des ALS-Bodenmodells erhalten werden, da eine Funktion der DTM-Berechnung sich noch im Entwicklungsstadium befindet und somit noch nicht in die Software implementiert wurde. Die für das Testgebiet herangezogenen ALS-Daten mit einer Auflösung von 1 m wurden vom Land Tirol für das Projekt zur Verfügung gestellt und stammen aus der Gesamtbefliegung von 2006 bis 2009. Sie liegen in der Gauß-Krüger-M28-Projektion mit orthometrischen Höhen vor und wurden für die weitere Verwendung in WGS84 UTM 32N mit ellipsoidischen Höhen transformiert.

Das nDSM wurde gemeinsam mit den multispektralen Informationen der orthorektifizierten VHR-Aufnahmen von Pléiades für die Generierung der Gebäudegrundrisse herangezogen. Veränderungen in der Gebäudestruktur, die sich aus den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten ergeben, wurden, soweit möglich, auf Basis der multispektralen Information allein identifiziert. Objekte mit einer Fläche von weniger als 60 m<sup>2</sup> wurden nicht als Gebäude berücksichtigt. Durch die Verwendung eines speziellen Glättungsalgorithmus konnten Unregelmäßigkeiten in der Gebäudestruktur entfernt werden (Abbildung 2). Diese geglätteten Gebäudegrundrisse bilden die Grundlage für die 3D-Modellierungen.



**Abb. 2:** Glättung von Gebäudeabgrenzungen: nicht geglättet (links); geglättet (rechts).

### 3 Modellierung

Die Ableitung der Gebäudemodelle erfolgt in einem ArcGIS-Modell, das innerhalb der Gebäudefläche auftretende unterschiedliche Gebäudehöhen berücksichtigt. Damit können mehrere Gebäudeteile ausgewiesen werden, sofern das Gebäude unterschiedliche Niveaus aufweist. Die Modellierung ist in erster Linie eine Generalisierung der einzelnen Rasterwerte zu einheitlichen Oberflächen. Die Abgrenzung verschiedener Niveaus erfolgt dabei über Schwellwerte, die in der Größenordnung von Stockwerkhöhen liegen. Größenmäßig vernachlässigbare Restflächen werden mittels *Expand* und *Shrink* Prozessen eliminiert. Die resultierenden Gebäudeniveaus werden dann in Polygone überführt und deren Grenzlinien

geglättet. Diese Polygone werden dann wiederum mit den Originaldaten aus dem nDSM verschnitten, Statistiken pro Polygon berechnet und als Attribut abgelegt. Somit kann für weitere Berechnungen auf die Originaldaten zurückgegriffen werden. Konkret werden die Volumina der Gebäudeteile bestimmt, sowie die Anzahl der Stockwerke über Standardhöhen geschätzt.

Das Modell erfordert nur wenige Parameter Einstellungen und läuft größtenteils automatisch. Es erlaubt die Verwendung von nDSM Daten in Rasterformat und Gebäudeumrissen in Polygonformat, unabhängig von der Datenquelle. Daher kann das Modell sowohl auf die ALS-basierten Daten als auch auf das nDSM von Pléiades angewendet werden. Ein quantitativer Vergleich der Modellierungsergebnisse erfolgt in Bezug auf ausgewiesene Gebäudeteile, deren Höhen und Volumina sowie die Anzahl der Stockwerke. Zusätzlich ermöglicht die Visualisierung der modellierten Gebäude eine qualitative Bewertung der Ergebnisse.

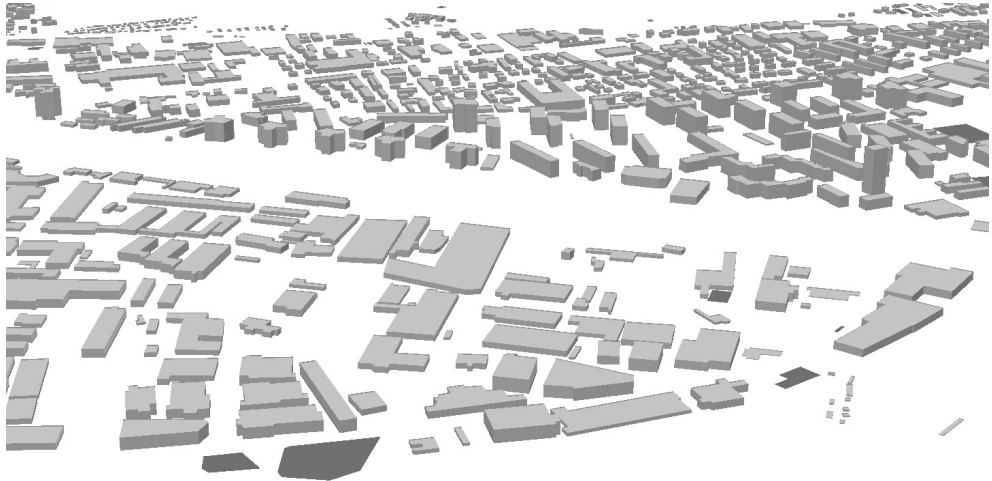
## 4 Ergebnisse und Diskussion

Aus den beiden nDSM (ALS- und Pléiades-basiert) und den abgeleiteten Gebäudegrundrissen wurden sowohl einfache Blockmodelle (LOD 1) als auch Gebäudemodelle mit unterschiedlichen Höhenstufen (LOD 2) abgeleitet. Erstere ergeben sich aus den Gebäudegrundrissen und der mittleren Höhe aus dem nDSM, Letztere werden mittels des im letzten Kapitel beschriebenen ArcGIS Modells erzeugt.

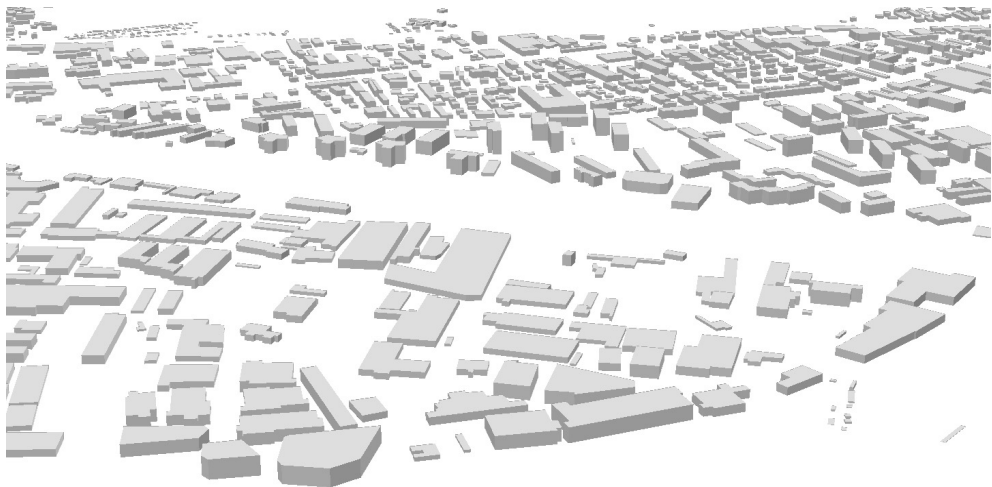
Bei der Plausibilitätskontrolle des Pléiades-basierten nDSM wurde festgestellt, dass einige Gebäude zum Teil negative Höhen aufweisen. Diese aus dem Matching resultierenden Fehler wurden korrigiert, in dem die negativen Werte innerhalb der Gebäude durch den Median der nicht negativen Höhen ersetzt wurden.

Ein Vergleich der einfachen Blockmodelle gibt einen ersten Eindruck der unterschiedlichen Qualitäten (Abbildungen 3 und 4). Bei kleinen und mittelhohen Gebäuden kommt es zwar zu Abweichungen zwischen den Gebäudehöhen, diese bewegen sich aber in einem Rahmen von einigen Metern. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass das Geländemodell in beiden Fällen aus ALS-Daten abgeleitet wurde und es daher zu systematischen Höhendifferenzen kommt. Gut erfasst wurden die Gebäude, die im ALS-basierten Modell aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte nicht enthalten sind.

Bei einigen sehr hohen Gebäuden mit vergleichsweise geringer Grundfläche kommt es zu extremen Unterschätzungen in den Pléiades-Daten (Gebäude mit 30-50 m Höhe werden auf einige wenige Meter reduziert). Hier dürfte der Matching Algorithmus versagen, i. e. die Gebäudeoberflächen werden in den Stereobildern nicht als zu einem Gebäude gehörig erkannt.

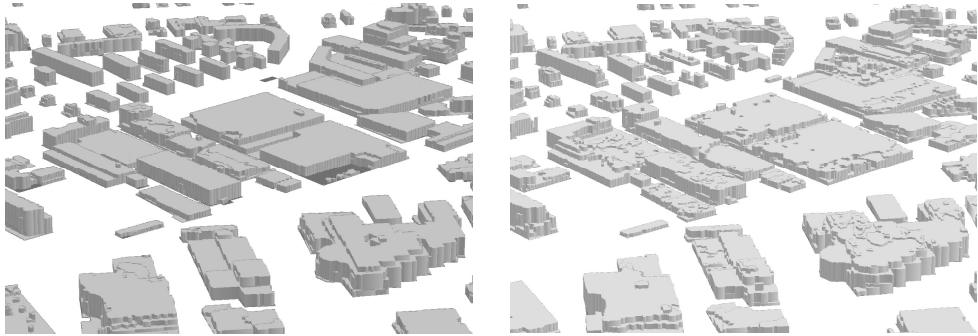


**Abb. 3:** Gebäudemodell (LOD 1) aus ALS-Daten



**Abb. 4:** Gebäudemodell (LOD 1) aus Pléiades-Daten

Die Ergebnisse der LOD2-Modellierung, die unterschiedliche Höhengniveaus pro Gebäude ausweist, ist in Abbildung 5 dargestellt. Die aus den ALS-Daten abgeleiteten Modelle zeigen sehr gute Ergebnisse, mit einer scharfen Abgrenzung der einzelnen Gebäudeteile. Die Pléiades-basierten Modelle sind im Grad der Differenzierung ähnlich, weisen aber zum Teil verrauschte Grenzlinien zwischen den Gebäudeteilen auf. Wo im Pléiades-basierten nDSM Fehler auftreten, kommt es natürlich auch zu Abweichungen in den Gebäudemodellen.



**Abb. 5:** Gebäudemodell (LOD 2) aus ALS- (links) und Pléiades-Daten (rechts)

Zusammenfassend kann nach diesen ersten Tests gesagt werden, dass die ALS-basierten Gebäudemodelle wie erwartet eine bessere Qualität aufweisen als die Pléiades-basierten. Allerdings ist der Unterschied geringer als man angesichts der Abweichungen im nDSM erwarten würde. Die Erfassung von neu hinzugekommenen Gebäuden stellt kein Problem dar, die Änderung von Gebäudehöhen kann nur ab einer signifikanten Größenordnung erkannt werden. Problematisch sind jedenfalls die extremen Ausreißer in den nDSM-Daten, die sich offensichtlich aus Fehlern im Matching Prozess ergeben. Insgesamt liegt die Übereinstimmung der beiden Gebäudemodelle im gesamten Testgebiet jedoch bei etwa 90 %. Dieser Wert könnte sich noch erhöhen, wenn statt eines Stereo-Paares ein Triplet für das Matching verwendet wird.

Durch die Fähigkeit des Pléiades-Satelliten neben Stereodaten auch Triplets aufzunehmen, werden im Rahmen des Projektes HighSens II auch die Unterschiede hinsichtlich Qualität und Genauigkeit zwischen den verschiedenen Aufnahmemodi, wie auch im Verhältnis zu den ALS-Daten näher analysiert. Dazu wurde für das Testgebiet ein Pléiades-Triplet-Tasking in Auftrag gegeben. Im weiteren Verlauf des Projekts werden die Unterschiede hinsichtlich der Erstellung eines DSM und in der Folge auch eines DTM und nDSM untersucht, sowie die Auswirkungen der Tri-Stereo-Auswertung auf die Generierung von Gebäudemodellen.

## Literatur

- HIRSCHMÜLLER, H. (2008), Stereo processing by semi-global matching and Mutual Information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30 (2), 328-341.
- WANG, M., HU, F. & LI, J. (2011), Epipolar resampling of linear pushbroom satellite imagery by a new epipolarity model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 (3), 347-355.