

Berechnung des Solarpotenzials von Dachflächen auf Basis hoch aufgelöster Oberflächenmodelle

Markus MAUKISCH, Frederic PETRINI-MONTEFERRI, Christian GEORGES,
Andreas JOCHEM und Johann STÖTTER

Zusammenfassung

Auf der Grundlage eines hoch aufgelösten, mittels Airborne Laserscanning erstellten Oberflächenmodells werden für eine Analyse des Solarpotenzials Dachflächenpolygone abgeleitet und für diese der Strahlungsgenuss modelliert. Die Herausforderung des Projektvorhabens zwischen der Universität Innsbruck und der Firma Laserdata besteht in der Entwicklung eines Verfahrens, das die Anwendung für große Untersuchungsflächen bei kurzen Rechenzeiten ermöglicht. Folgende Ansätze werden dazu untersucht und kurz vorgestellt: Objektorientierte Klassifikation von Dachflächen aus Laserscanning-Daten, Berechnung des Solarpotenzials unter Berücksichtigung unterschiedlich aufgelöster Oberflächenmodelle. Das Projektziel ist die Erstellung von flächendeckenden Rasterdatensätzen des Strahlungsgenusses definierter Zeitintervalle und dessen Zuordnung auf Dachflächen.

1 Allgemeines

Im Rahmen eines von Trans-IT (Entwicklungs- und Transfercenter der Universität Innsbruck) geförderten Projektes zwischen dem Institut für Geographie der Universität Innsbruck und der Firma Laserdata wird eine neues Verfahren zur Ableitung des Solarpotenzials von Dachflächen, die aus Laserscanning-Daten extrahiert werden, entwickelt. Die Projektlaufzeit beträgt 12 Monate. Unter Solarpotenzial wird in diesem Zusammenhang der potenzielle kurzweilige solare Strahlungsgenuss einer Fläche unter Berücksichtigung ihrer Exposition und Neigung und der Verschattung der Fläche durch Objekte im Fern- (=Relief) und Nahbereich (Vegetation, Bebauung) verstanden. Als Untersuchungsgebiet dient das Stadtgebiet der Gemeinde Innsbruck. Für dieses liegt ein digitales Oberflächenmodell (DOM) und ein digitales Geländemodell (DGM) vor (RUTZINGER et al. 2008) Die 220 km² Fläche umfassenden Rasterdatensätze besitzen eine Auflösung von 1m² und basieren auf Befliegungen aus dem Jahr 2005. Durch seine Tallage ist Innsbruck auch ein optimaler Standort für die Erprobung multiskalarer Algorithmen bei der Berücksichtigung der Fernverschattung. Das verwendete DOM von Innsbruck ist Grundlage für die Ableitung von Dachpolygonen und die Strahlungsmodellierung. Weil ein Teil der Innsbruck umgebenden Bergketten nicht im Lasermodell abgedeckt ist wird für die Modellierung der Fernverschattung aus diesen Gebieten ein geringer aufgelöstes Satelliten-Geländemodell (SRTM, FARR, 2007) verwendet.

2 Methoden

2.1 Ableitung von Dachpolygonen

Zahlreiche Verfahren zur Extraktion sowohl von Gebäudegrundrissen als auch Dachflächenfacetten sind in der Vergangenheit bereits entwickelt und publiziert worden (VOSSELMANN et al., 2001, ROTTENSTEINER et al., 2002 HOFMANN et al., 2002, SCHWALBE et al. 2005, MATIKAINEN et al., 2007). Generell verwenden diese Verfahren als Eingabe entweder Luftbilder, Laserscanning-Daten oder meist eine Kombination von beidem. Die Lagegenauigkeit der Hausaussengrenzen ist nach KAARTINEN et al. 2005 bei Verwendung von photogrammetrischen Daten besser, während die Bestimmung von Dachhöhen und Dachneigungen bei Verwendung der Laserdaten genauer erfolgt. Generell sinkt die Genauigkeit der in der Studie von KAARTINEN et al. 2005 getesteten Methoden mit dem Maß der Automatisierung. Die Wahl des Verfahrens für die Extraktion der Hausdachflächen hängt also vom vorgesehenen Verwendungszweck des Ergebnisdatensatzes ab. Für die hier vorgesehene Berechnung des Strahlungsgenusses von Gebäudedächern ist die Lagegenauigkeit der Gebäudeaussengrenzen weniger relevant, dagegen sind hinreichend genaue Dachflächenneigungen erforderlich. Außerdem ist für eine flächendeckende Auswertung des gesamten Innsbrucker Stadtgebietes ein hoher Automatisierungsgrad gefordert. Am Institut für Geographie der Universität Innsbruck wurden bereits eigene Algorithmen zur Extraktion von Gebäudegrundrissen (footprints) entwickelt (PFEIFER et al. 2007, RUTZINGER et al. 2008), die für die Schaffung von Datengrundlagen für die Solarpotenzialanalysen im Rahmen dieser Studie noch weiterentwickelt werden. Das Verfahren der Dachflächenextraktion für die Solarpotenzialmodellierung gliedert sich in die Arbeitsschritte Vorprozessierung, Segmentierung und Klassifikation. Die Vorprozessierung beinhaltet die Ableitung von Hangneigung, Krümmung und einem normalisierten Oberflächenmodell ($nDOM=DOM-DGM$). Die entstandenen Informationslayer werden als Bildkomposit unter Verwendung von objektorientierten Bildanalysemethoden in einzelne Oberflächensegmente aufgeteilt. Angestrebt ist die Erfassung von Dachstrukturen in einer Größenordnung von mehr als 3 mal 3 Metern. Die Segmentierung liefert Dachflächen und Dachteilflächen neben anderen Oberflächentypen als Objektprimitive zusammengefasst. Diese Segmente werden im nächsten Schritt über bestimmte Eigenschaften (z.B. Oberflächenrauigkeit, Textur), auf Basis von Schwellenwerten mit Wahrscheinlichkeiten (Fuzzy-Logic) klassifiziert.

2.2 Berechnung des Strahlungsgenusses der Dachflächen

Bisherige Ansätze zur Berechnung von Besonnungszeit- oder Globalstrahlungskarten gehen von mittel aufgelösten Geländemodellen aus (KRCHO 1990). Im hochgenauen Simulationsbereich zur innerstädtischen Besonnung existieren CAD und GIS-Anwendungen, die allerdings derzeit maximal für Stadtviertel geeignet sind. Beispielhafte Untersuchungen stammen von SCHAAB (1998) oder KETTEMANN et al. (2002) und KLÄRE et al. (2007). Zentrale Fragestellung dieses Projektes ist die Verarbeitbarkeit großflächiger und gleichzeitig hochauflösender Datensätze in diesen Anwendungen. So haben die bisher entwickelten Algorithmen den Nachteil, dass sie entweder zu grob oder zu fein strukturieren. In Abhängigkeit der Ausrichtung (Neigung und Exposition) der einzelnen Dachflächen wird im vorgestellten Ansatz die kurzweilige Einstrahlung als Summe der direkten Strahlung

und der diffusen Himmelsstrahlung berechnet. Die Berechnung wird zunächst unter Annahme einer Standardatmosphäre ohne Bewölkung durchgeführt. Für die Bestimmung der diffusen Himmelsstrahlung wird die Größe der wirksamen Himmelsfläche ermittelt, die einerseits von der Ausrichtung der Dachfläche, andererseits von der Horizontüberhöhung infolge der umliegenden Topographie abhängt. Zusätzlich zur Berücksichtigung des Sonnenstands in Relation zur Flächennormalen des Zielobjekts wird die Abschattung durch umliegende Objekte oder entfernte Topographie berücksichtigt. Dies erfolgt durch den Einsatz geeigneter Verfahren (ray-tracing), die den durch das Oberflächenmodell induzierten Schattenwurf berechnet.

3 Ergebnisse und Prozessierungsketten

3.1 Abgeleitete Dachpolygone im Innsbrucker Pilotgebiet

Das Verfahren zur Ermittlung der Dachpolygone besteht in der Verwendung der objektorientierten Bildanalyse. Im Rahmen dieses Projektes wurden die Dachflächensegmente mittels der Bildanalysesoftware ecognition auf der Basis einer vorprozessierten Repräsentation der Laserscanning-Daten extrahiert. Das Bildkomposit weist 15870×14729 Pixel in drei 8-bit Kanälen auf. Daraus wurden rund 350.000 Bildsegmente erzeugt.

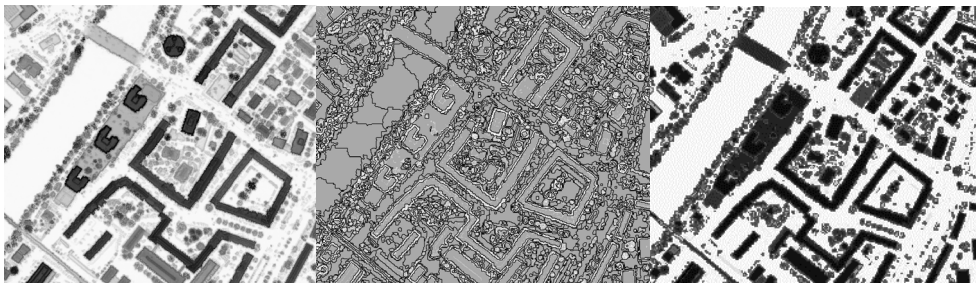


Abb. 1: Bildkomposit aus Höhe des nDOM, Hangneigung und Krümmung (links), Ergebnisse der Segmentierung (Mitte), Klassifikation (rechts) in Gebäude (schwarz), Bodenflächen (weiss) und Vegetation (grau)

Abbildung 1 zeigt für einen Ausschnitt Innsbrucks drei Zwischenstufen der Prozessierungskette. Links das vorprozessierte Eingangsbild. Die Objekthöhen des normalisierten Oberflächenmodells sind in grau abgestuft, Hangneigungen und Krümmung schwarz. In der Mitte sind die Segmentgrenzen als dunkle Linien zu erkennen. Rechts sieht man das Ergebnis der Klassifikation. Als Dachflächen klassifizierte Segmente sind schwarz dargestellt, Bodensegmente weiß und Vegetations- und sonstige Flächen in grau.

3.2 Prozesskette zur Berechnung des Strahlungsgenusses

Ziel der Strahlungsmodellierung ist die Erstellung eines Sets von Rasterdaten mit Strahlungssummen für definierte Zeiträume. Die Rasterauflösung beträgt 1 m^2 , die Einheit der Bestrahlungsstärke ist Wh/m^2 . Die Berechnung erfolgt in halbstündigen Zeitschritten. Die direkten und diffusen Strahlungsanteile werden getrennt ermittelt. Zur Berechnung werden die Open Source GIS Software Produkte GRASS-GIS und SAGA-GIS verwendet. Da der Rastereingangsdatensatz etwa 1 GB groß ist, ist eine Prozessierung in räumlichen Teilkacheln notwendig. Bei der Erstellung dieser Kacheln ist die Fernverschattung zu berücksichtigen. Je nach Modellierungszeitpunkt ist eine unterschiedliche Kachelung zu erzeugen. Bedingung ist dabei, dass eine Kachelgrenze nie eine Schattenfläche schneidet. Es wird also vor der Kachelung eine Sichtbarkeitsanalyse für den jeweiligen Sonnenstand durchgeführt und mittels einer Quadtree-Segmentation dieser Schattenbereiche werden unterschiedlich große rechtwinkelige Verarbeitungskacheln ausgewiesen. Dieser Vorprozessierungsschritt ist allerdings nicht für jede Tageszeit notwendig. Für den Zeitraum 10-15 Uhr ist die Fernverschattung für den Großteil der Innsbrucker Stadtfläche irrelevant, wie Abb. 2 zeigt. Die dunklen Flächen weisen den vollen Strahlungsgenuss in diesem Zeitfenster auf.



Abb. 2: Fernverschattung (helle Flächen) der Stadt Innsbruck

Die Erkenntnisse legen eine getrennte Prozessierung nach der Tageszeit nahe: Erst halbstündlich zwischen 10 und 15 Uhr mit konstanter Kachelgröße, dann für die Morgen- und Abendstunden ebenfalls halbstündlich, aber mit Kachelgrenzen, die an den Schattenwurf angepasst sind. Alle Kacheln überlappen sich beträchtlich, um Nahverschattungen zu berücksichtigen. Beim Zusammenfügen der Kacheln decken dann südliche Kacheln ihre nördlichen Nachbarn ab. Abbildung 3 zeigt ein für ein Teilgebiet Innsbrucks die Modellierungsergebnisse für einen Novembertag.



Abb. 3: Strahlungssumme (direkt und diffus) für einen Novembertag für Teile Innsbrucks in Wattstunden pro m^2 und Tag

4 Ausblick

Mit den vorgestellten Verfahren wurden die Möglichkeiten einer Solarpotenzialberechnung von Dachflächen auf Basis hochaufgelöster Oberflächenmodelle aufgezeigt. Berücksichtigung findet dabei die Nahverschattung über Gebäudeobjekte und Vegetation sowie Nahtopographie sowie die Fernverschattung über Gebirgskämme. Die aufgezeigten Verfahren bieten Nutzern auf behördlicher Seite Informationen zur Abschätzung des Energiepotenzials erneuerbarer Energien sowie zur Steuerung und Verifikation von Fördermaßnahmen bei der Installation von Solarthermie und Photovoltaikanlagen. Die erstellten Rasterdatensätze können als GIS-fähige Daten genutzt werden, oder im Sinne eines Energy-Google in 3D-Anwendungen und Webkarten integriert werden.

Literatur

- FARR, T. G. (2007): The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004.
- HOFMANN A., MAAS, H. G. & STREILEIN, A. (2002): Knowledge-based Building Detection Based on Laser Scanner Data and Topographic Map Information. *IAPRS*, 34, 3A+B, S. 163-169.
- KAARTINEN, H., HYYPPÄ, J., GÜLCH, E., VOSSELMANN, G., HYYPPÄ, H., MATIKAINEN, L., HOFMANN, A.D., MÄDER, U., PERSSON, A., SÖDERMAN, U., ELMQVIST, M., RUIZ, A., DRAGOJA, M., FLAMANC, D., MAILLET, G., KERSTEN, T., CARL, J. HAU, R., WILD, E., FREDERIKSEN, L., HOLMGAARD, J. & VESTER, K. (2005): Accuracy of 3D City Models: EuroSDR comparison. *ISPRS WGIII/3, III/4, V/3. Workshop Laserscanning*, S. 227-231.
- KETTEMANN, R & SCHRÖDER, D. (2002): Solare Städteplanung mit geographischen Informationssystemen – Auf einen Blick: Sonnenbilanz für Dächer und Fassaden. *Horizonte*, 20, Juli 2002, S. 5-8.
- KLÄRLE, M. & LANIG, S. (2007): SUN-AREA: Wo liegt der beste Platz an der Sonne?. In: *Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien*, 7/2007, S. 46-48.
- KRCHO, J. (1990): Morphometric analysis and digital models of georelief. *VEDA*, Bratislava.
- MATIKAINEN, L., KAARTINEN, H. & HYYPPÄ, J. (2007): Classification Tree Based Building Detection from Laser Scanner and Aerial Image Data. *ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser*.
- PFEIFER, N., RUTZINGER, M., ROTTENSTEINER, F., MÜCKE, W. & HOLLAUS M. (2007): Extraction of building footprints from airborne laser scanning: Comparison and validation techniques. *Joint IEEE-GRSS/ISPRS Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Urban 2007, Paris, France*. Published on CD-ROM. Invited paper.
- ROTTENSTEINER, F. & BRIESE, C. (2002): A New Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution Lidar Data. *IAPRS*, 34/3A, Graz, Austria, S. 310-317
- RUTZINGER, M., HÖFLE, B. & PFEIFER, N. (2008): Object detection in airborne laser scanning data – an integrative approach on object-based image and point cloud analysis. In: *BLASCHKE, T., LANG, S. & HAY, G. (Eds.): Object-based image analysis – spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*.
- SCHAAB, G. & LENZ, R. (1998): Modellierung der Sonneneinstrahlung in einem GIS: das Solar Radiation Model (SORAM). In: *GIS 4/98*.
- SCHWALBE, E., MAAS, H. G. & SEIDEL, F. (2005): 3D Building Model Generation from Airborne Laser Scanner Data Using 2D Gis Data and Orthogonal Point Cloud Projections. *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop „Laserscanning 2005“*.
- VOSSELMAN, G. & DIJKMAN, S. (2001): 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. *IAPRS 34 (3W4)*, S. 37-43.