

# Digitale Wärmebedarfskarte aus Laserscanning

HAUKE NEIDHART<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: Die Arbeiten in diesem Forschungsprojekt zielen darauf ab, ein automatisches Verfahren zu entwickeln, um auf einfache Weise den Wärmebedarf und dessen räumliche Verteilung zu bestimmen. Das Ergebnis soll schließlich eine Wärmebedarfskarte sein, welche für weiterführende Arbeiten verwendet werden kann. Allein auf Statistik beruhende Verfahren können keine Angabe über die räumliche Verteilung machen. Mit Hilfe des zu entwickelnden Verfahrens wird dies möglich sein. Mit dem Verfahren hat man eine Möglichkeit, den Wärmebedarf von noch nicht erfassten Gebieten darzustellen. Das Verfahren soll das Potential haben, große Gebiete flächendeckend zu erfassen. Dafür muss es möglich sein, die Ausgangsdaten großflächig und dabei kostengünstig beschaffen zu können. Eine gute Datenbasis stellt das luftgestützte Laserscanning dar. In den Laserscanning-Daten bildet sich die Erdoberfläche mit den sich auf ihr befindenden Objekten - unter anderem den Gebäuden - durch eine große Menge an Einzelpunkten ab. Durch geeignete Verfahren lassen sich aus den gemessenen Einzelpunkten die Gebäude erkennen und rekonstruieren. Durch das Gebäudevolumen hat man bereits eine wichtige Einflussgröße für den Wärmebedarf. Die andere wichtige Einflussgröße ist der spezifische Wärmebedarf. Der spezifische Wärmebedarf lässt sich aus einer Gebäudetypologie entnehmen. Dort ist der Wärmebedarf für Gebäudetypen wie Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Hochhäuser, etc. gegeben. Durch die Zusammenführung von Gebäudevolumen aus Laserscanning und spezifischen Wärmebedarfskoeffizienten aus einer Gebäudetypologie lässt sich so eine Wärmebedarfskarte ableiten. In diesem Beitrag werden die Verfahren zur Klassifikation der Punkte, der Segmentierung und der Rekonstruktion der Gebäude gezeigt. Anschließend wird anhand der geometrischen Größen der Gebäudetyp bestimmt und der Wärmebedarf berechnet.*

## 1 Einleitung

Das Ziel der Arbeiten ist eine genaue Bestimmung des Wärmebedarfs und dessen räumlicher Verteilung. Dies kann dann für Modell-Rechnungen in Energiesystemmodelle einfließen. Eine digitale Wärmebedarfskarte stellt in einem Energiesystemmodell die Verbrauchsseite dar. Die Erzeuger-Seite sind die Kraftwerke. Mit den Energiesystemmodellen können verschiedene Varianten (Kraftwerke stilllegen/durch bessere ersetzen/neu bauen oder bessere Dämmung bei Gebäuden) durchrechnen und so eine optimale Versorgung mit Wärme zu bestimmen.

Die folgenden Kapitel befassen sich mit der Erzeugung der digitalen Wärmebedarfskarte. In Kapitel 2 wird der Verfahrensablauf von den Eingangsdaten zur Digitalen Wärmebedarfskarte grob dargestellt und erste Ergebnisse gezeigt. Kapitel 3 geht näher auf die Verarbeitung der Laserscanning-Daten und die Gebäuderekonstruktion ein. Das abschließende Kapitel gibt einen Ausblick auf die weiteren Arbeiten.

---

<sup>1</sup> Dipl.-Ing. Hauke Neidhart, Institut für Kartographie und Geoinformatik, Leibniz Universität Hannover, Appelstraße 9a, 30167 Hannover, e-mail: hauke.neidhart@ikg.uni-hannover.de

## 2 Verfahrensablauf

Die Abbildung 1 zeigt den erarbeiteten Verfahrensablauf. Im ersten Projekt-Abschnitt (NEIDHART, 2004) wurden verschiedene Eingangsdaten für die Volumenbestimmung mit einbezogen. Im ersten Abschnitt wurde das Volumen durch die Kombination von Grundrissen der ALK und den Laserscanning-Daten bestimmt. Die mittlere Höhe aller Punkte innerhalb eines Grundrisses wurde als Dachhöhe angenommen. Die Höhe des Geländes ergab sich durch eine Analyse der Höhen in einem Puffer um den Grundriss. Mit diesen Werten konnten die Gebäude extrudiert werden und Volumen angegeben werden.

Um den Wärmebedarf zu bestimmen, muss das Gebäudevolumen mit einem spezifischen Wärmebedarf multipliziert werden. In bisherigen statistischen Ansätzen wurde dazu auf sogenannte Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Hochhaus) zurückgegriffen. Um eine Verbindung zwischen den rein geometrischen Größen und der Gebäudetypologie herzustellen, wurden die Gebäudevolumen mit den statistischen Daten verknüpft und analysiert. Schließlich konnten die Gebäude anhand ihrer geometrischen Größen (Länge, Breite, Höhe, Fläche, Volumen) klassifiziert werden und somit der Wärmebedarf berechnet werden.

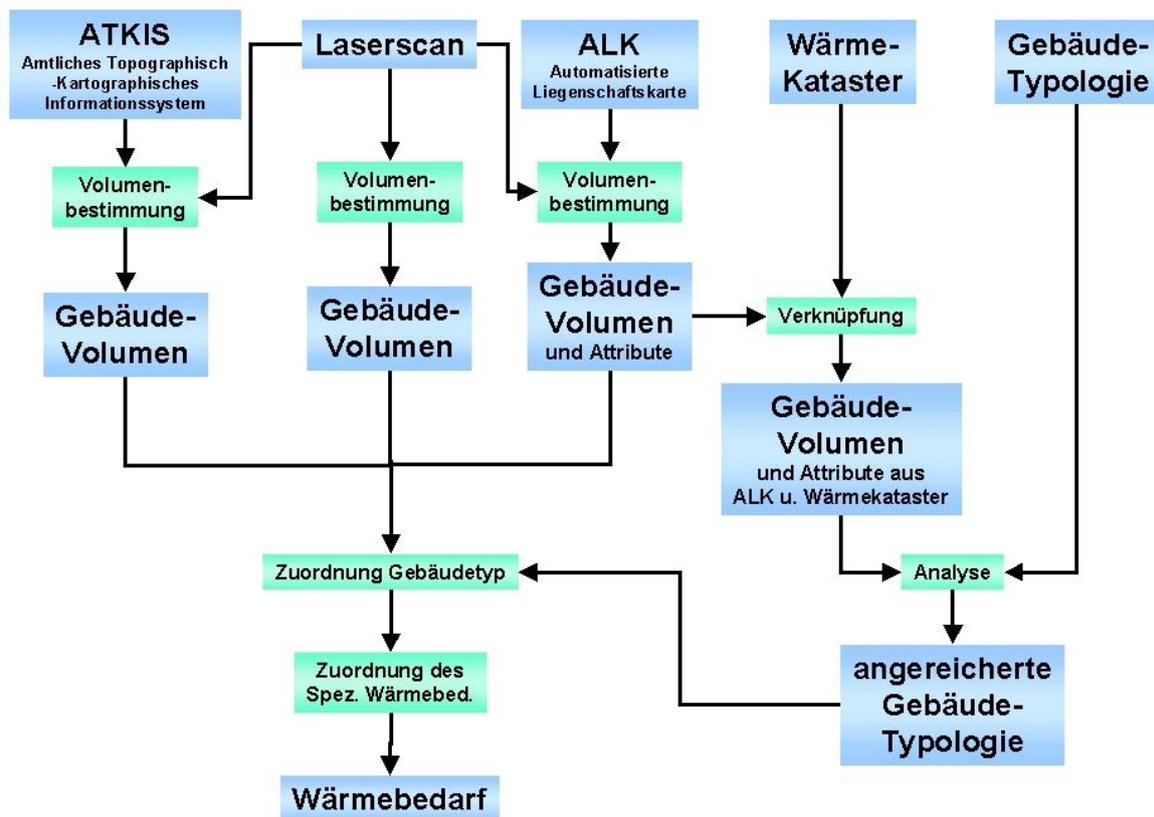


Abbildung 1: Verfahrensablauf

Die Abbildung 2 zeigt eine Gegenüberstellung des Wärmebedarfs aus dem Verfahren und den Werten, welche auf den Verbrauchsdaten beruhen. Die so erzielten Ergebnisse waren schon recht gut. Einige große Gebäudekomplexe (z.B. eine Schule am rechten Rand) konnten keinem Gebäudetyp zugeordnet werden und wurden bei der Hochrechnung nicht berücksichtigt, so dass dort der Wert zu niedrig ist. Am oberen Rand ist eine Mehrfamilienhaus-Siedlung zu sehen. Hier ist der hochgerechnete Wärmebedarf zu hoch. Dies lässt sich dadurch erklären, dass das Dachvolumen bei der Hochrechnung mit einbezogen wurde in Wirklichkeit aber unbewohnt und nicht beheizt wird. Dies lässt sich nur durch eine genauere Rekonstruktion der Gebäude verhindern.

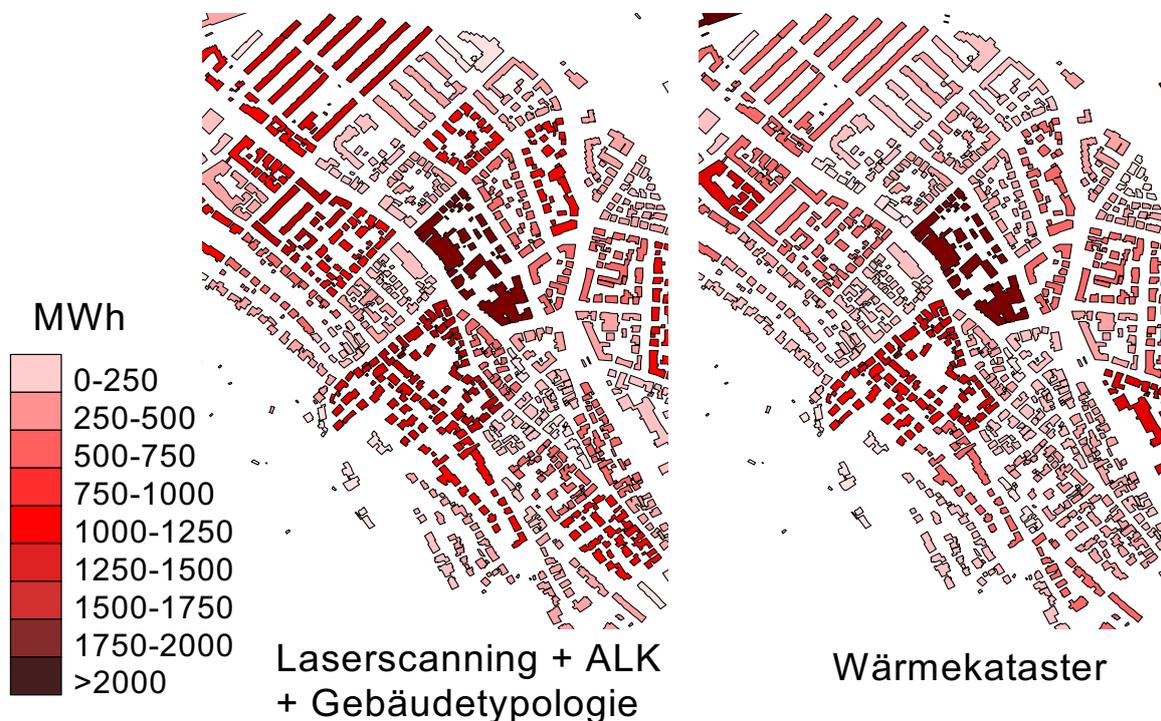


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Hochrechnung mit vorliegenden Verbrauchsdaten.

### 3 Gebäuderekonstruktion

Im aktuellen Projektabschnitt soll das Verfahren ohne ALK auskommen und im Wesentlichen Laserscanning als Datengrundlage verwenden.

#### 3.1 Klassifizierung von Laserscanning Punkten

Nicht immer hat man bei den 3D-Punkten Information darüber, ob es sich bei den einzelnen Punkten um Punkte auf Gebäuden, Bäumen oder dem Erdboden handelt. Teilweise bekommt

man auch klassifizierte Punkte. Nicht immer ist diese Klassifikation jedoch brauchbar. Aus diesem Grunde wurde eine Routine für die Klassifikation (ABO AKEL et al., 2004) implementiert. Das implementierte Verfahren teilt die Punkte in schmale Streifen (ca. 3m) in x- und y-Richtung ein. Für die Punkte jedes Streifens wird ein Polynom für das Gelände bestimmt. Hierbei werden im ersten Schritt alle Punkte des Streifens gleich gewichtet und ein Polynom durch diese Punkte mittels Ausgleichung bestimmt. Anschließend werden die Punkte neu gewichtet. Punkte unterhalb des Polynoms behalten ein Gewicht von 1. Punkte oberhalb werden mit zunehmendem Abstand mit kleineren Gewichten versehen. Mit den neuen Gewichten wird ein neues Polynom bestimmt. Dies wird iterativ wiederholt, bis sich das Polynom nur noch geringfügig ändert. Durch den Vergleich der Punkthöhen mit dem Polynom lassen sich die Punkte in Terrain und Off-Terrain unterscheiden. Jeder Punkt ist am Ende in x- und y-Richtung einmal klassifiziert worden. Interessant für die weitere Verarbeitung sind die Punkte, welche beide Male als Off-Terrain klassifiziert wurden.

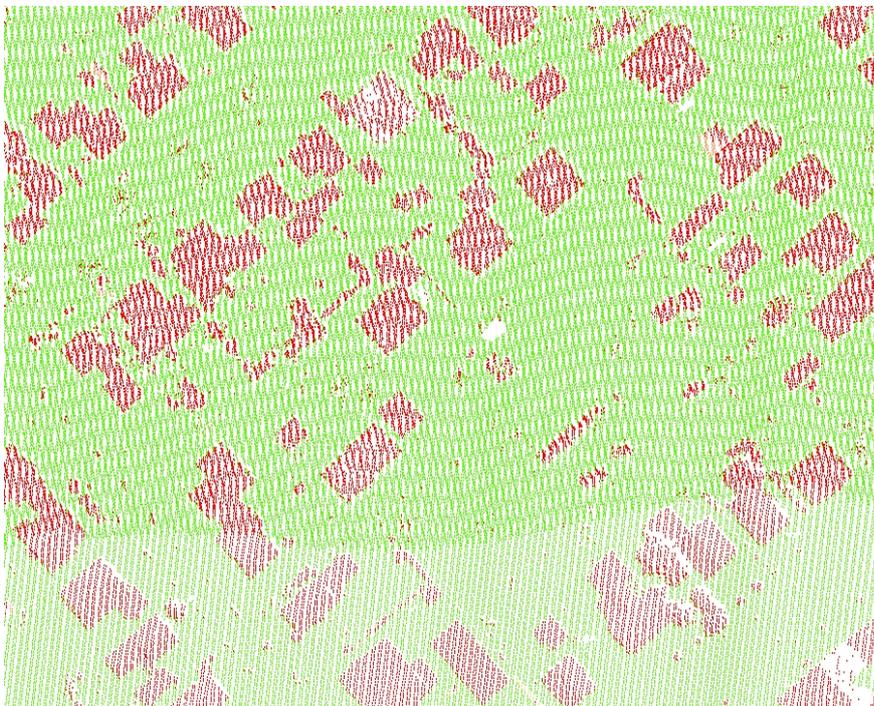


Abbildung 3: Ergebnis der Klassifikation der Punkte in Terrain- und Off-Terrain-Punkte.

### 3.2 Segmentierung

Nachdem die Punkte klassifiziert sind, werden zusammenhängende Punkte zu Segmenten zusammengefasst. Der topologische Zusammenhang bzw. die Nachbarschaft zwischen den Punkten kann durch eine Delaunay-Triangulation festgelegt werden.

Mittels eines Region-Growings werden die Punkte verschiedenen Segmenten zugeordnet. Aus der Liste der Dreiecke wird ein Dreieck genommen, welches noch keinem Segment zugeordnet ist und dessen drei Eckpunkte als Off-Terrain klassifiziert wurden. Von diesem Dreieck aus werden die drei benachbarten Dreiecke überprüft. Hat ein Nachbardreieck ebenfalls drei Off-Terrain Punkte als Eckpunkte, wird es zum Segment hinzugefügt. Von den neu hinzugefügten

Dreiecken werden dann ebenfalls die Nachbarn überprüft. Dies wird solange fortgeführt, bis kein passendes Dreieck mehr gefunden wird.

Am Ende der Segmentierung sind alle Dreiecke einem Segment zugeordnet. Alle Dreiecke eines Segments lassen sich anhand der Segmentnummer selektieren.

Über die Dreiecke kann man auf die zugehörigen Punkte zugreifen. Die Punkte eines Segments können so ebenfalls selektiert werden und für weitere Bearbeitungsschritte bereitgestellt werden.

Durch eine Verschmelzung der Dreiecke eines Segments erhält man einen Umring für ein Gebäude (Abb. 4). Allerdings ist dieser Umring sehr unregelmäßig, da er sich aus vielen Dreiecksseiten zusammensetzt.

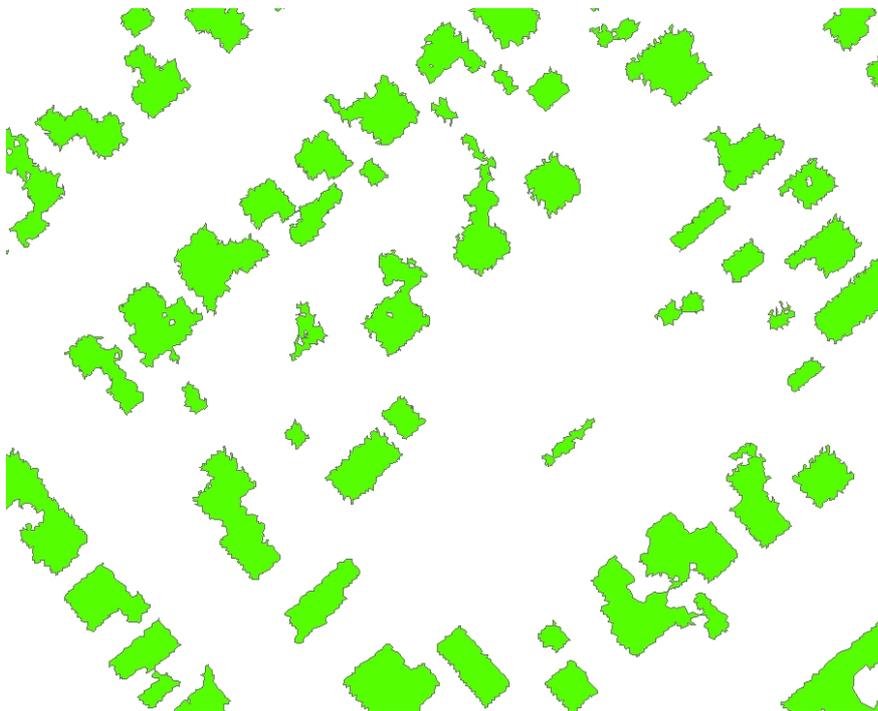


Abbildung 4: Ermittelte (Gebäude-)Segmente. Zu kleine Segmente sind bereits entfernt worden.

### 3.3 Bestimmung von Dachflächen

Im folgenden werden jeweils die Punkte eines einzelnen Segmentes betrachtet. Die Aufgabe besteht darin, in den Punktdaten Dachflächen zu rekonstruieren. Im Grunde sucht man Ebenen, zu denen viele der Punkte passen. Hierzu werden Ebenen festgelegt und alle passenden Punkte gesucht. Durch alle gefundenen Punkte kann man anschließend noch eine Ebene durch Ausgleichung bestimmen.

Bei der Festlegung der Ebenen hat man zwei Möglichkeiten. Ein Ansatz ist, jedes Dreieck der Triangulation als Ebene zu nehmen und für jedes die passenden Punkte zu suchen. Die Dreiecke sind im Vergleich zur Dachfläche sehr klein und die Normalenvektoren variieren recht stark. Die aufgestellten Ebenengleichungen entsprechen daher nicht der Dachfläche.

Eine andere Möglichkeit der Festlegung der Startebenen ist, zufällig drei Punkte auszuwählen. Liegen die Punkte gut verteilt auf dem Dach, erhält man eine gute Startebene. Der Nachteil

dieser Möglichkeit ist, dass man öfters drei Punkte auswählt, die gar nicht zu einer real existierenden Ebene gehören.

Ein wichtiges Kriterium dafür, ob ein Punkt zu einer gegebenen Ebene passt, ist der Abstand zur Startebene. Es hat sich jedoch gezeigt, dass der Abstand alleine nicht ausreicht. So kann es zum Beispiel sein, dass Punkte in der Nähe des Firstes in die Bestimmung der benachbarten Dachfläche mit einbezogen werden. Aus diesem Grund wurde zusätzlich für jeden Punkt ein lokaler Normalenvektor bestimmt. Als weiteres Kriterium fließt dann ein Vergleich des lokalen Normalenvektors zum Normalenvektor der Ebene mit ein.

Zur Bestimmung der Ebene wird zum Schluss für alle gefundenen Punkte eine Ebene ausgeglichen. Wenn man die ausgeglichene Ebene als neue Startebene nimmt und erneut die passenden Punkte sucht, lässt sich so das Ergebnis iterativ verbessern.

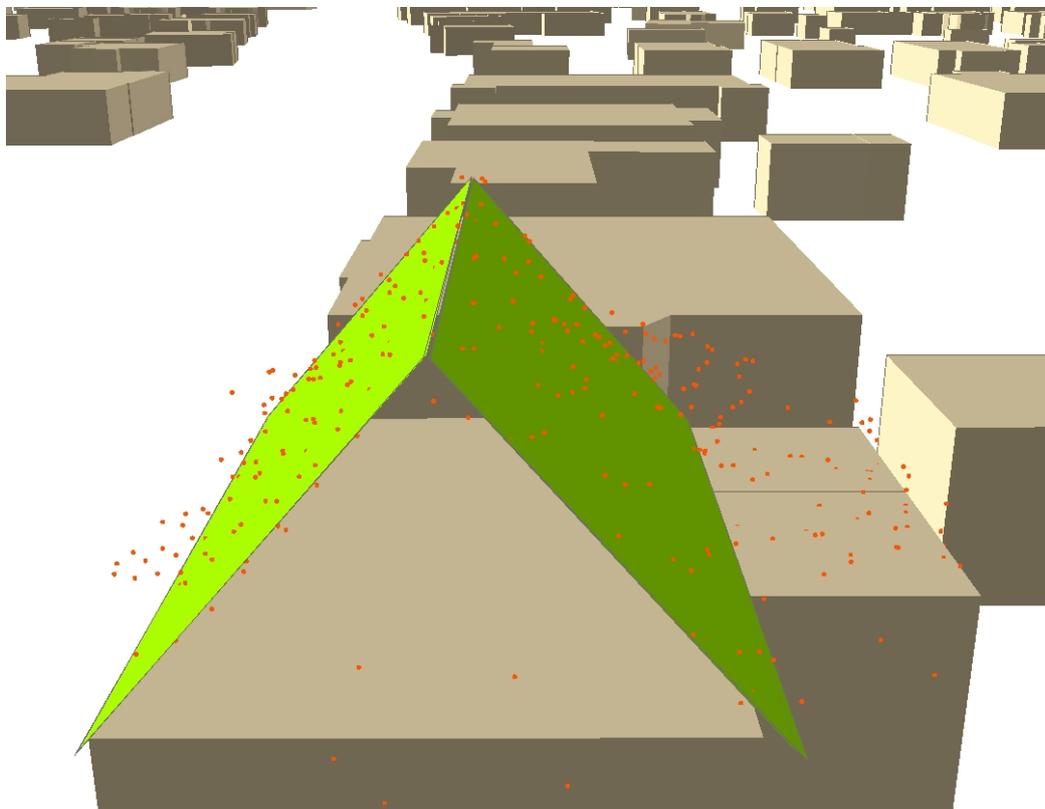


Abbildung 5: Punktwolke und daraus rekonstruierte Dachflächen.

## 4 Ausblick

Bei der Klassifizierung der Laserpunkte wird derzeit nur zwischen Terrain und Off-Terrain unterschieden. Die Off-Terrain-Punkte sollen in Zukunft noch in Gebäude und Vegetation unterteilt werden, z.B. durch Verwendung der first- und last-pulse Daten. Die Segmentierung soll dahingehend verbessert werden, dass eine Trennung von Gebäudeteilen möglich ist.

Bei der Hochrechnung des Wärmebedarfs soll der spezifische Wärmebedarf aus der Gebäudetypologie aus der Berechnung herausfallen. Stattdessen soll nur die Geometrie des Gebäudes (Kompaktheit, Ausrichtung der Außenflächen) dazu benutzt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- ABO AKEL, N., ZILBERSTEIN, O. & DOYTSHER, Y., 2004: A robust method used with orthogonal polynomials and road network for automatic terrain surface extraction from lidar data in urban areas. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, ISPRS, 274-279.
- NEIDHART, H. & SESTER, M., 2004: Identifying Building Types and Building Clusters Using 3D-Laser Scanning and GIS-Data, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, ISPRS, 442-447.
- NEIDHART, H. & SESTER, M., 2006: Creating a digital thermal map using laser scanning and GIS, in: *Proceedings of the District Heat and Cooling Symposium*, Hannover, Germany.