

Datenquellen und Methoden für eine automatische Bestimmung von Gebäude- und Siedlungsvolumen

Monika Sester¹ & Claus Brenner²,

¹Institut für Kartographie und Geoinformatik, Universität Hannover

²Robert Bosch GmbH, Forschung und Voraentwicklung, Hildesheim

1 Übersicht

Eine gebäudescharfe Ermittlung des Raumwärmebedarfs ist die Basis für die Ermittlung regionaler und nationaler Nah- und Fernwärmepotentiale. Das Gebäudevolumen kann aus einer genauen Vermessung der Gebäudegeometrie ermittelt werden. Es existiert eine Fülle von Geodatenbeständen bzw. Datenquellen, welche direkt oder durch Anwendung und Auswertung von Messverfahren eine Ableitung der Gebäudevolumen erlauben. Ziel dieses Aufsatzes ist es, die Datenquellen zu beschreiben, sowie Möglichkeiten der automatischen Ableitung von Gebäudedaten zu skizzieren. Der Fokus liegt dabei zum einen auf der flächendeckenden Verfügbarkeit der Datenquellen, um regionale und überregionale Rückschlüsse zu erlauben. Ferner ist es unerlässlich, dass die angewandten Verfahren in hohem Maße automatisch (oder zumindest automationsgestützt) arbeiten, da es sich hierbei um enorme Datenbestände handelt, die manuell nicht bewältigt werden können. Im Detail wird ein Ansatz vorgestellt, welcher auf der Auswertung von Laserscannerdaten basiert.

2 Vorhandene Datenquellen für die Bestimmung von Gebäude- und Siedlungsvolumen

Voraussetzung für die Ableitung flächendeckender Gebäudeinformation ist die Nutzung von Datenquellen, welche entweder bereits flächendeckend länderweit vorhanden sind, oder zum anderen das Potential einer zeitnahen flächendeckenden Erhebungsmöglichkeit besitzen. Amtliche Datenbestände erfüllen diese Anforderungen, da sie als Geobasisdatenbestände erhoben und gepflegt werden. Ferner lassen sich auch die Datenquellen nutzen, die amtlichen Erfassungen zugrunde liegen. Im folgenden erfolgt eine kurze Darstellung von Datenquellen, welche eine Ableitung von Gebäudeinformation prinzipiell erlauben.

2.1 Laserscannerdaten

Laserscanning wird heute für verschiedene Zwecke eingesetzt. In der Geodäsie ist es derzeit das Standardverfahren für eine flächendeckende Neuerfassung des Geländereiefs. Aufgrund seiner Möglichkeit, auch in Waldgebieten die Erdoberfläche zu bestimmen, ist es allen herkömmlichen Verfahren (Photogrammetrie, aufwändige terrestrische Erfassung) überlegen. Durch die Unterscheidung von first- und last-Pulse-Messungen können Baumkronen und Bodenpunkte getrennt werden. Heute lassen sich mit flugzeuggetragenen Laserscannern Punktdichten von bis zu vier Punkten pro Quadratmeter erzielen. Die Lagegenauigkeit liegt dabei bei etwa 50 cm, die Höhengenaugigkeit im Bereich von 10-20 cm. Auf diese Weise entstehen sehr dichte Abtastungen der Erdoberfläche und der sich auf ihr befindenden Objekte (vgl. Abbildung 1).

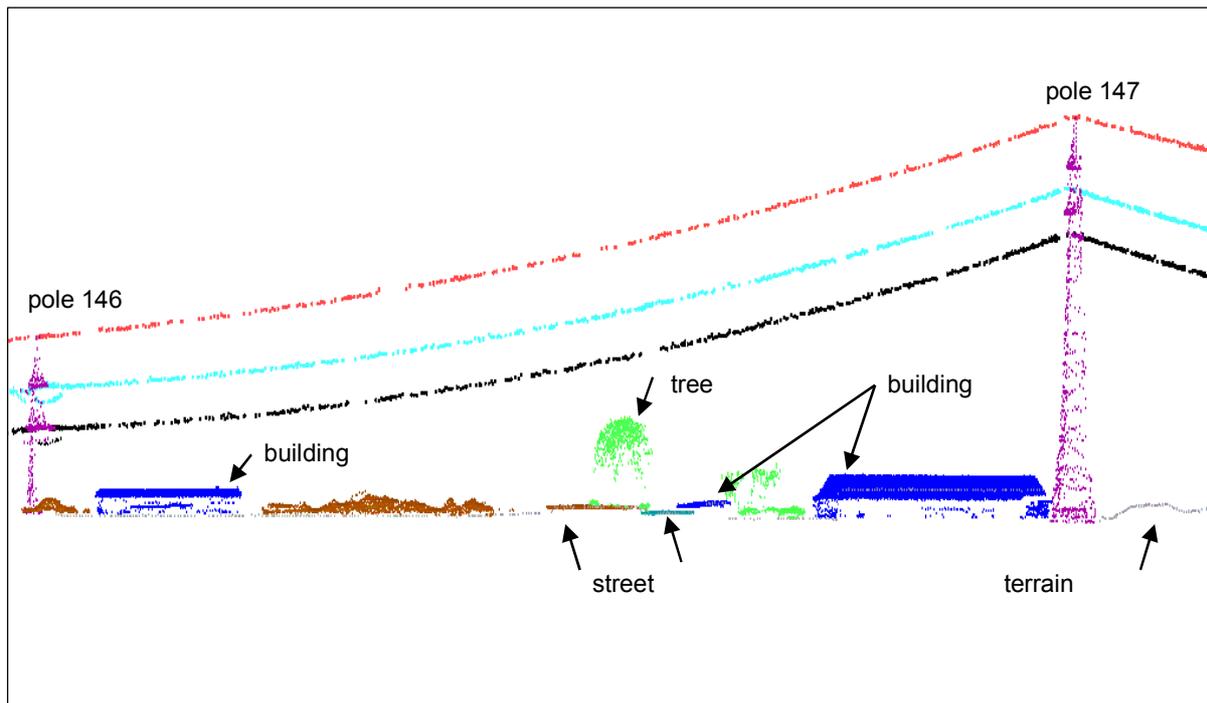


Abbildung 1: Objekte der Erdoberfläche, wie sie sich im Laserscannerdatensatz darstellen.

Die exakte Vermessung der Objekte in Lage und Höhe erfordert zunächst eine Identifikation. Erst nach einer Abgrenzung einzelner Objekte aus der unstrukturierten 3D Punktwolke kann die eigentliche Rekonstruktion und Messung erfolgen. Für diese Identifikation oder Detektion ist ein Modell der erwarteten Objekte nötig: Gebäude und Bäume beispielsweise stellen sich als relative Erhebungen über der Geländeoberfläche dar. Diese Eigenschaft ist jedoch noch nicht hinreichend, um sie von Telegraphen- oder Strommasten zu unterscheiden. Hierzu sind weitere einschränkende Charakteristika nötig – etwa die Form oder Größe der Erhebung. Um gezielt Gebäude zu identifizieren und auszumessen, müssen diese insbesondere von den Bäumen unterschieden werden. Diese Unterscheidung kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen: etwa in Form von Zusatzinformationen, oder durch eine Einschränkung durch genauere Modelle. In Abschnitt 5 wird in einem Verfahren vorgestellt, wie diese Unterscheidung durch Vorinformation aus Katasterdaten sehr leicht getroffen werden kann.

2.2 Bilder

Photogrammetrie ist ein wichtiges Aufnahmeverfahren für topographische Objekte. In typischen photogrammetrischen Befliegungen für topographische Zwecke werden meist Schwarz-Weiß-Aufnahmen eingesetzt. Die Nutzung von Farbbildern bzw. Farb-Infrarot-Bildern bietet sich an, wenn es um Aufgabenstellungen bezüglich der Vegetation geht, beispielsweise die Unterscheidung von gesunder und kranker Vegetation anhand von Infrarot-Bildern. Für die automatische Vermessung von Gebäudeumrissen sind automatische Bilderkennungsverfahren nötig. Geht es um die Vermessung der 3D-Struktur von Gebäuden, so kann dies mittels Stereo-Aufnahmen erfolgen. Die automatische Rekonstruktion von Gebäuden wurde in den vergangenen zehn Jahren im Bereich der Photogrammetrie und Informatik stark erforscht. Für einen Überblick siehe Grün et al. [1995, 1997] und Baltsavias et al. [2001].

2.3 ATKIS – Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) ist das amtliche digitale topographische Kartenwerk der Vermessungsverwaltungen. Es wird in drei verschiedenen Maßstabsstufen erfasst und wird auch Digitales Landschaftsmodell (DLM) genannt: das BasisDLM (1:10.000 .. 1:25.000) stellt die höchste Auflösung dar; weitere Maßstabsebenen sind 1:250.000 sowie 1:1.000.000. Die Objekte werden in einem Objektartenkatalog beschrieben. In ATKIS werden die Objekte der Landschaft in sieben sogenannte Objektbereiche untergliedert: Festpunkte, Siedlung, Verkehr, Vegetation, Gewässer, Relief und Gebiete (vgl. Abbildung 2). Die Objektbereiche ihrerseits werden weiter spezifiziert in Objektgruppen, gefolgt von Objektteilen.

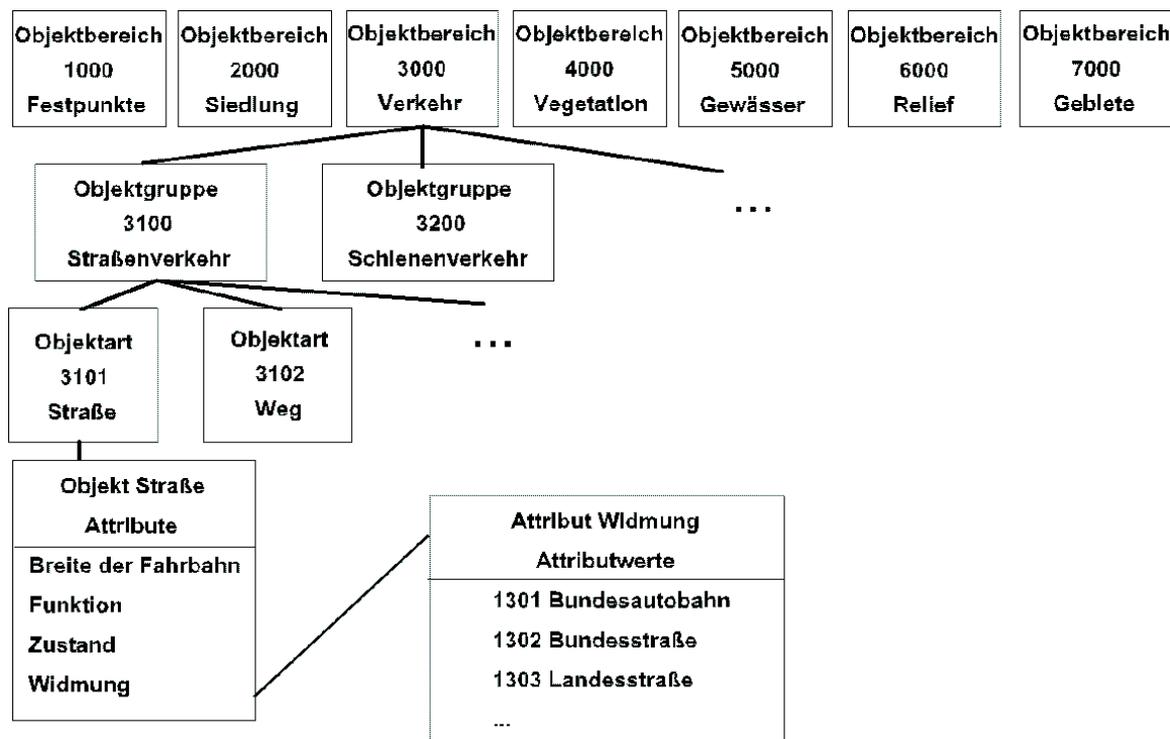


Abbildung 2: ATKIS-Objektstruktur

Relevant für die Bestimmung von Gebäudestrukturen ist der Objektbereich 2000: Siedlung. Hierin finden sich Unterteilungen in die folgenden Objektarten (u.a.):

- Wohnbaufläche
- Ortslage
- Fläche gemischter Nutzung
- Industrie- und Gewerbefläche

Hinzu kommen besondere größere Baulichkeiten wie Bergbaubetrieb, Abfalldeponie, Raffinerie, Werft, Kraftwerk, Klärwerk, Heizwerk, Wasserwerk, Abfallbeseitigungsanlage, Sportanlage, Freizeitanlage. In ATKIS sind allerdings keine Einzelgebäude enthalten – bis auf wenige, bedeutende, die Landschaft prägende Gebäude.

2.4 Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK)

Die Automatisierte Liegenschaftskarte bildet mit dem Automatischen Liegenschaftsbuch (ALB) das Liegenschaftskataster. Sie enthält die rechtlichen Informationen zu Flurstücken und den sich darauf befindenden Objekten. Neben der Lage und Geo-

metrie der Objekte ist auch eine Klassifizierung gegeben. Es werden beispielsweise Gebäude unterteilt in: Wohnhaus, Wohn-Geschäftshaus, Garage, Schuppen, Kirche, Scheuer, etc. Die ALK wird von den Vermessungsämtern erfasst. Daneben sind einige große Städte in Deutschland für die Erfassung und Datenhaltung zuständig. Die ALK ist derzeit im Aufbau befindlich, der Erfassungsstand variiert: in ländlichen Gebieten ist sie nahezu vollständig, in städtischen Gebieten zu etwa 90% erfasst. Die geometrische Genauigkeit der Daten ist sehr hoch und liegt im cm-Bereich.

3 Strategien zur flächendeckenden Erfassung von Gebäude- und Siedlungsvolumen

Für eine flächendeckende Erfassung von Gebäude- und Siedlungsvolumen können diese vorgestellten Datenquellen sinnvoll eingesetzt werden. Größtmögliche Automation ergibt sich durch die Kombination verschiedener Datenquellen. Folgende Schritte sind erforderlich, um Gebäude- und Siedlungsvolumen zu ermitteln:

1. Identifikation und Vermessung von Gebäuden
2. Charakterisierung von Gebäuden in unterschiedliche Typen (Einzelhaus, Industriegebäude, etc.)
3. Aggregation zu Siedlungsstrukturen
4. Klassifizierung von Siedlungstypen (Blockbebauung, Industriebebauung, etc.)
5. Zuordnung von Zusatzinformation über Gebäude bzw. Siedlungen (Altersstruktur, Anzahl der Wohnungen, bekannter Wärmebedarf, etc.)

Schritte 1-4 lassen sich rein aus der Objektgeometrie ermitteln. Für Schritte 2 und 4 sind hierfür jedoch Hypothesen nötig, die durch Zusatzinformation gestützt werden können: etwa die ALK (Gebäudeklassifizierung in Schritt 2) oder ATKIS (Einteilung in Siedlungsstrukturen in Schritt 4). Schließlich ist für die korrekte Ermittlung des Raumwärmebedarfs die Integration weiterer Daten nötig, die im Schritt 5 erfolgt. Diese Daten lassen sich dann problemlos anbinden, wenn sie georeferenziert vorliegen. In den folgenden Abschnitten wird skizziert, wie die Bestimmung der Gebäude- und Siedlungsgeometrie automatisch durchgeführt werden kann.

4 Ableitung von Gebäudedaten aus Laserscanning ohne Zusatzinformation

Liegt lediglich ein Laserscannerdatensatz als Datengrundlage vor, so besteht das erste Problem darin, aus der 3D-Punktwolke diejenigen Punkte zu identifizieren, die Gebäude darstellen. Prinzipiell lassen sich Gebäude als Erhebungen im Laserdatensatz charakterisieren. Allerdings besteht hier eine Verwechslungsmöglichkeit mit anderen Objekten wie etwa der Vegetation, oder mit natürlichen Erhebungen bei stark undulierendem Gelände. Die Klassifizierung der Laserdaten in First- und Last-Pulse Messungen erlaubt eine primäre Unterscheidungsmöglichkeit von Bäumen und Gebäuden: während bei Gebäuden First- und Last-Pulse Messungen in der Regel identisch sind, werden diese bei Bäumen unterschiedlich sein – je nachdem, ob ein Strahl vom Blattwerk, von einem Ast oder vom Boden reflektiert wird. Nachdem auf diese Art Laserpunkte als Kandidaten für Gebäudepunkte identifiziert wurden, müssen diese zu größeren zusammenhängenden Regionen aggregiert werden. Form und Größe dieser Strukturen können dann als weiteres Kriterium für ein Gebäude herangezogen werden. Auch eine Analyse der 3D-Form kann einen Hinweis auf ein Gebäude geben

(vgl. z.B. [Weidner 1997]). Grundsätzlich bietet es sich allerdings an, hier topographische Information zu nutzen – etwa ATKIS – wodurch eine effiziente Abgrenzung der bebauten Gebiete durchgeführt werden kann.

5 Ableitung von Gebäudedaten aus Laserscanning

Im folgenden wird ein Verfahren im Detail vorgestellt, welches eine exakte Vermessung von 3D-Gebäuden automatisch ermittelt [Brenner 2000]. Basis ist eine Kombination eines digitalen Höhenmodells (DHM) aus Laserscannerdaten und ALK-Gebäudegrundrissen. Eingesetzt werden dabei Messungen mit einem flugzeuggetragenen Laserscanner, welche einen mittleren Punktabstand von einem Meter aufweisen. Zum Teil werden bereits solche DHM irrtümlich als 3D Stadtmodell bezeichnet, da durch Überlagerung mit Luftbildern schon zu diesem Zeitpunkt realistische Visualisierungen möglich sind (Abbildung 3). Dabei handelt es sich jedoch um eine rein ikonische Repräsentation, die nicht objektbezogen vorliegt, in der also keine gebäudespezifische Information vorhanden ist. Des Weiteren ist die Weiterverarbeitung derartiger digitaler Höhenmodelle aufgrund der großen Datenmenge sehr rechenintensiv. Das Ziel der weiterführenden Verarbeitung und der dabei durchzuführenden Interpretation ist es deshalb, aus der großen Menge von Laserpunkten ein dreidimensionales CAD-Modell für jedes Gebäude abzuleiten.



Abbildung 3: DHM aus Laserscanning mit überlagertem Luftbild

Zur Ableitung eines CAD-Modells ist die Strukturierung und damit die Interpretation der 3D Punktdaten notwendig. Diese Aufgabe fällt dem menschlichen Betrachter meist leicht – ihre Automatisierung stellt jedoch ein in hohem Maße nichttriviales Problem dar. Um möglichst viel an menschlichem (Vor)wissen in den Auswerteprozess zu integrieren, werden dazu existierende Grundrisse der Gebäude verwendet. Diese Daten werden in der Regel durch einen Operateur erfasst und sind somit das Produkt menschlicher Interpretation. Nur durch die Verwendung des in den Grundrissen implizit enthaltenen Vorwissens ist eine weitgehende Automation des weiteren Verfahrens möglich. Neben den rein algorithmischen Aspekten hat es sich zudem als Vorteil des hier beschriebenen Ansatzes erwiesen, dass durch die Verwendung existierender 2D Basisinformation Probleme der Integrität zwischen 2D und 3D Daten verhindert werden und damit auch die gemeinsame Fortführung der Datenbestände erleichtert wird. Falls die benötigten Grundrisse nicht schon vorhanden sind, können sie zudem mit Standardrechnern und Standardsoftware relativ schnell und kosten-

günstig vor Beginn der eigentlichen Gebäuderekonstruktion durch Digitalisierung aus Orthophotos oder Karten abgeleitet werden.

Das Ablaufdiagramm des Algorithmus ist in Abbildung 4 dargestellt. Die verwendeten Eingabedaten sind dabei auf der linken Seite, die resultierenden Ausgabedaten auf der rechten Seite aufgeführt. Die beiden Pfeile markieren Stellen, an denen eine Modifikation der Ergebnisse durch interaktiven Eingriff in die Datenprozessierung möglich ist. Die zu rekonstruierenden Gebäude werden in dem vorgestellten Verfahren durch die Kombination einfacher 3D Grundelemente oder Primitive beschrieben. Dadurch kann die Rekonstruktion auch komplexer Gebäude auf die Bestimmung der Parameter dieser Grundelemente reduziert und damit vereinfacht werden. Zur Initialisierung der 3D Primitive beginnt die Prozessierung deshalb zunächst mit der Zerlegung des Grundrisspolygons in 2D Grundelemente. Jedes dieser Primitive definiert anschließend die Grundfläche des zugehörigen 3D Primitivs, d.h. die Position, Orientierung und Größe des 2D Elements bestimmen die entsprechenden Werte des 3D Gebäudeelements. Als zu bestimmende Parameter verbleiben somit noch die Dachform, die Höhe des Gebäudes und die Dachneigung. Als mögliche Dachformen der Gebäudeelemente sind derzeit Flach-, Giebel-, Walm- und Pultdach vorgesehen. Die unbekannt Parameter werden in einem anschließenden Schritt durch eine Kleinste-Quadrate-Schätzung bestimmt, bei der die Differenzen zwischen der zu rekonstruierenden Dachfläche dem DHM minimiert werden. Dachbereiche, die Kamine oder andere Aufbauten enthalten, werden zunächst im Rahmen einer Segmentierung detektiert und gehen nicht in die Rekonstruktion der Dachform ein. Im Rahmen dieser Segmentierung wird ebenfalls Grundrissinformation verwendet, die Vorwissen über mögliche Orientierungen der Dachflächen liefert [Haala & Brenner 1999].

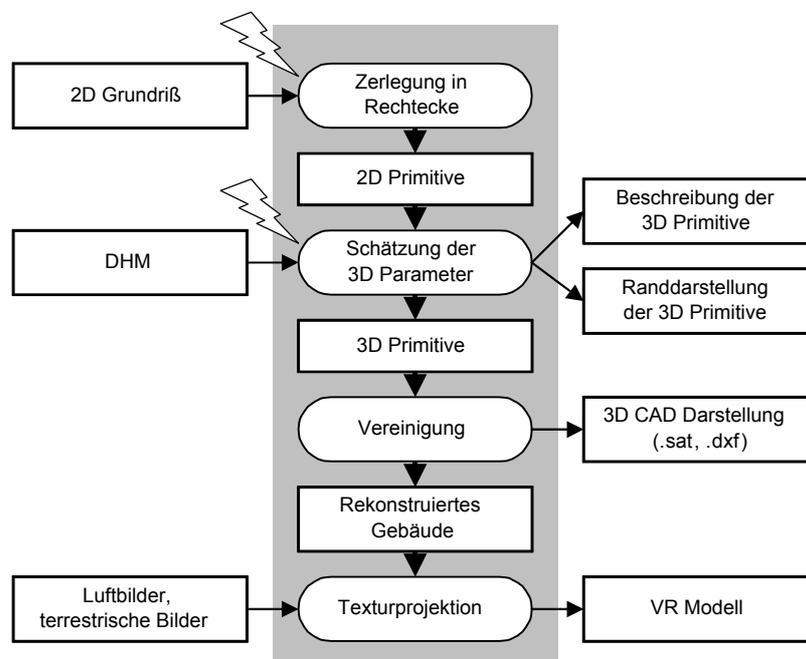


Abbildung 4: Ablauf der 3D Gebäuderekonstruktion

Da unterschiedliche Dachformen zur Verfügung stehen, wird das 3D Primitiv mit dem geringsten verbleibenden Residuum ausgewählt. Nach diesem Schritt stehen für jedes Gebäude die rekonstruierten Grundelemente zur Verfügung, d.h. das gesamte Gebäude wird durch ineinander verschachtelte 3D Primitive repräsentiert, wie dies

auch bei einer Beschreibung durch CSG (Constructive Solid Geometry) üblich ist. Für die meisten Anwendungen wird jedoch eine 3D Randdarstellung benötigt, was eine Vereinigung der Grundelemente der CSG-Beschreibung erfordert. Dies erfolgt mittels eines CAD-Moduls.



Abbildung 5: Rechteckzerlegung des Grundrisses

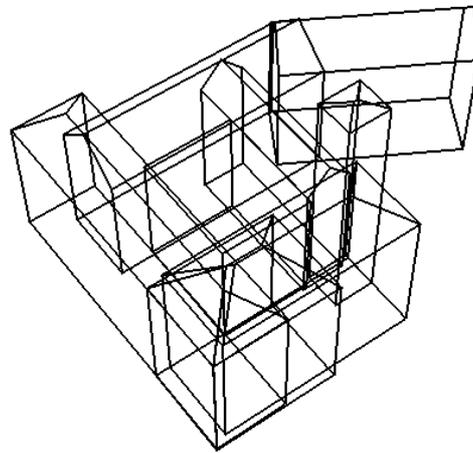


Abbildung 6: Rekonstruierte 3D Primitive

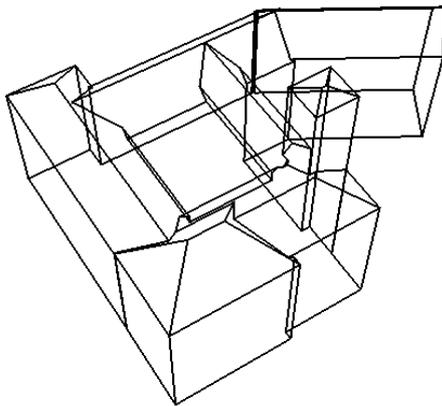


Abbildung 7: 3D Randdarstellung des Gebäudes

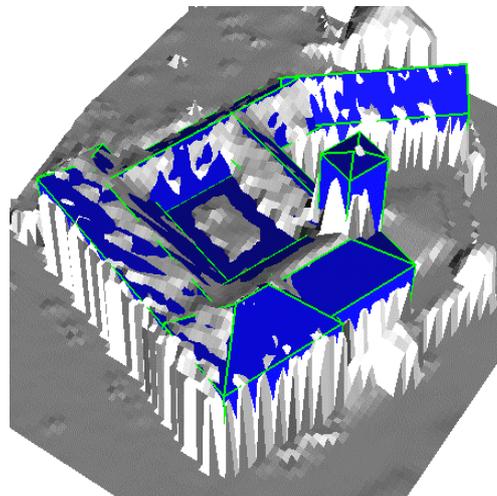


Abbildung 8: Rekonstruiertes Gebäude und DHM

Die einzelnen Schritte des Verfahrens sind beispielhaft in Abbildung 5 bis Abbildung 8 dargestellt. Abbildung 5 zeigt den Grundriss des Gebäudes nach der Zerlegung in einzelne Primitive. Für jedes dieser Primitive wird durch den Vergleich mit der DHM-Oberfläche ein 3D Primitiv rekonstruiert. Dazu wird die passende Dachform ausgewählt und die Traufhöhe des Gebäudes und die Dachneigungen werden bestimmt (Abbildung 6). Zur Erzeugung einer Randdarstellung werden zum Abschluss der Rekonstruktion die 3D Grundelemente miteinander vereinigt (Abbildung 7). Die Vereinigung besteht aus einer Verschneidung der 3D Primitive mit einer anschließenden Elimination von Flächen innerhalb des resultierenden Gebäudekörpers. Abbildung 8

zeigt ebenfalls das Ergebnis des Verfahrens, wobei in dieser Darstellung zusätzlich das zur Rekonstruktion verwendete DHM überlagert wurde.

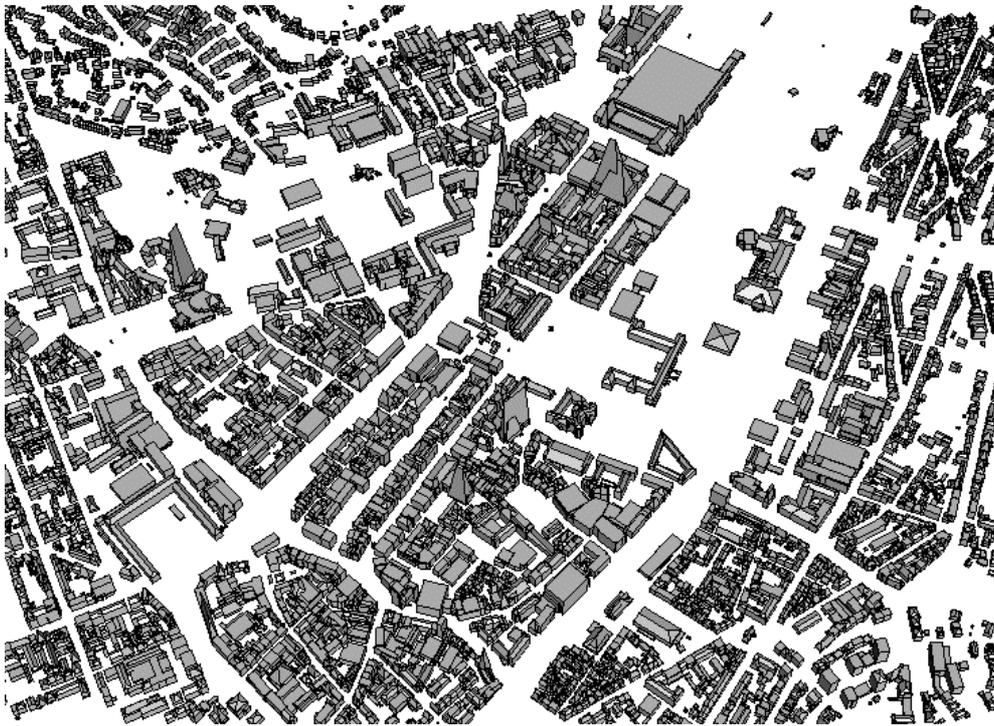


Abbildung 9: Ergebnis der automatischen Gebäuderekonstruktion Testgebiet Stuttgart

Das Ergebnis des Verfahrens für ein größeres Testgebiet ist in Abbildung 9 dargestellt. In diesem Bereich der Stadt Stuttgart mit einer Ausdehnung von 1.8 km x 2.3 km wurden insgesamt 5208 Gebäude automatisch rekonstruiert. Die Grundrisse der Gebäude wurden in diesem Fall aus der digitalen Stadtgrundkarte 1:500 übernommen. Nahezu alle Gebäude wurden durch das Verfahren mit ausreichender Genauigkeit rekonstruiert, lediglich für vereinzelte Gebäude sind grobe Fehler in der Dachform deutlich erkennbar. Eine Hauptursache für diese fehlerhaften Rekonstruktionen lag bei den vorliegenden GIS Daten, in denen die Innenhöfe der Gebäude teilweise nicht enthalten waren.

Sind zusätzlich zu den verwendeten DHM und Grundrissdaten noch Luftbilder mit bekannten Orientierungsparametern vorhanden, können im Anschluss an die eigentliche Rekonstruktion die erfassten Gebäude in das Luftbild projiziert und die entsprechende Bildinformation auf die 3D Gebäudekörper aufgebracht werden (Abbildung 10). Diese Vorgehensweise ist auch dann von Vorteil, wenn das Luftbild zur automatischen oder automatisierten Extraktion von zusätzlichen Informationen herangezogen werden soll. So können beispielsweise aus Farbbildern das Dachmaterial bzw. aus thermischen Infrarotbildern die Wärmeverluste ermittelt und direkt zugeordnet werden.



Abbildung 10: Visualisierung der Gebäude und des DGM mit überlagertem Luftbild

6 Aggregation von Einzelgebäuden zu Siedlungsclustern

Größere Siedlungsgebiete stellen sich – geometrisch betrachtet – als Aggregationen von Einzelgebäuden dar. Siedlungscluster ergeben sich aufgrund ihrer räumlichen Nähe. Sie können zum einen gefunden werden, indem eine Distanz als „Nachbarschaftsmaß“ vorgegeben wird: alle Gebäude, die im Abstand dieses Maßes voneinander liegen, gehören zu einem Cluster. Kritisch ist hierbei die Festlegung des Maßes. Eine elegantere Art ist es, hierfür Nachbarschaftsgraphen zu verwenden [Jaromczyk & Toussaint 1992]. Diese legen die Nachbarschaft durch eine Verbindung in einem Triangulationsnetz fest. Durch eine hierarchische Anordnung verschiedener Nachbarschaftsgraphen ist es möglich, zusammenhängende Cluster zu identifizieren, ohne Vorinformation über die räumliche Nähe einführen zu müssen [Anders & Sester 2000]. Mit diesem Verfahren können somit flächendeckend Siedlungsstrukturen als Gebäudecluster identifiziert werden. Mittels geeigneter Interpretationsverfahren können diese, z.B. aufgrund ihrer Form und Lage in unterschiedliche Siedlungstypen unterschieden werden.

7 Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Ansätze beschrieben, wie Gebäude- und Siedlungsvolumen aus vorhandenen Geo-Datenbeständen bzw. aus flächendeckend arbeitenden Meßsystemen abgeleitet werden können. Es wurde gezeigt, dass diese Ableitung potentiell mit einem sehr hohen Automationsgrad möglich ist. Wichtig ist hierbei zu sehen, dass die Integration verschiedener Datenquellen zu einer Beschleunigung des Verfahrens und zur Robustifizierung der Ergebnisse führt. Ferner ist die Integration mit weiteren Datenquellen essentiell, um weitere relevante Zusatzinformation einzugeben, die rein geometrisch nicht abgeleitet werden kann – etwa das Alter eines Gebäudes bzw. der Anteil bewohnter Fläche.

8 Literatur

- Anders, K.-H. & Sester, M., 2000. Parameter-Free Cluster Detection in Spatial Databases and its Application to Typification, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam, the Netherlands, 16–23 July 2000, Vol. XXXIII, Part A4 (CD-Rom).
- Baltsavias, M., Grün, A. & van Gool, L. (Hrsg.), 2001: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III), Balkema Publishers Swets & Zeitlinger.
- Brenner, C., 2000: Dreidimensionale Gebäuderekonstruktion aus Oberflächenmodellen und Grundrissen. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission (DGK) Reihe C, Heft Nr. 530.
- Grün, A., Kübler, O. & Agouris, P. (Hrsg.), 1995, Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, Birkhäuser Verlag.
- Grün, A., Baltsavias, M. & Henricson, O. (Hrsg.), 1997, Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Birkhäuser Verlag.
- Haala, N. & Brenner, C. 1999: Virtual City Models from Laser Altimeter and 2D Map Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 65, 7, pp. 787-795.
- Jaromczyk, J. & Toussaint, G. [1992], 'Relative neighborhood graphs and their relatives', *Proceedings IEEE* 80(9), 1502–1517.
- Weidner, U., 1997: Gebäudeerfassung aus digitalen Oberflächenmodellen, Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission (DGK) Reihe C, Heft Nr. 474.