

Automatisierte Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands

Automated Derivation of Parameters of the Building Stock Relevant to Spatial Planning

Wolfgang Spitzer¹, Sabine Gadocha¹, Thomas Prinz^{1,2}, Daniel Youssef¹, Lukas Götzlich¹, Ingrid Schardinger¹

¹RSA FG Research Studio iSPACE · wolfgang.spitzer@researchstudio.at

²Universität Salzburg

Zusammenfassung: Ein detailliertes Wissen über Gebäudeparameter im Siedlungskontext kann wesentliche Impulse für eine ressourcenschonende, flächeneffiziente Raumentwicklung liefern. Hierbei ist die Kenntnis des baulichen Bestandes hinsichtlich Nutzung und Abmessungen eine erste Basis, um in weiterer Folge bspw. Flächenpotenziale zur Innenentwicklung quantifizieren zu können oder auch Gebiete mit besonders hohen Energieeinsparungsmöglichkeiten zu verorten. Ziel der im Zentrum Alpines Bauen entwickelten Methodik ist die Erarbeitung einer fundierten Datenbasis zur Charakterisierung des Gebäudebestands. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen der planenden Politik und Verwaltung zur Verfügung gestellt werden, um diese in räumliche Entwicklungskonzepte implementieren zu können. Es wurde eine GIS-gestützte Methodik entwickelt, welche eine automatisierte Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter von Gebäuden (Gebäudegeometrien) ermöglicht. Das Verfahren setzt sich aus vier Schritten zusammen: (1) Ableitung der Gebäudefläche aus der Dachfläche; (2) Berechnung von Giebelhöhe und Volumen; (3) Abschätzung von Geschoßzahl und BruttoGeschoßfläche; (4) Ermittlung von Gebäudehüllflächen.

Schlüsselwörter: Gebäudegeometrien, Gebäudekubaturen, Raumplanung, Flächeneffizienz, Nachverdichtung

Abstract: Detailed knowledge of building parameters in the context of settlements can provide essential impulses for resource-saving, land-efficient spatial development. Knowledge of the building stock in terms of use and dimensions is an initial basis for quantifying land potential for internal development or for locating areas with particularly high energy-saving potential. The aim of the methodology developed in Zentrum Alpines Bauen is to develop a reliable database for characterizing the existing building stock. The gained knowledge should be made available to the planning policy and administration in order to be able to implement it in spatial development concepts. A GIS-based methodology was developed, which enables an automated derivation of indicators regarding the geometry of buildings that are essential for spatial planning. The procedure consists of four steps: (1) derivation of building area from roof area; (2) calculation of gable height and volume; (3) estimation of number of stories and gross floor area; (4) calculation of building envelope.

Keywords: Geometry of buildings, spatial planning, space efficiency, redensification

1 Hintergrund und Motivation

Die Kombination aus hohem Siedlungsdruck, begrenzter Flächenverfügbarkeit und hohem Flächenverbrauch stellt an Stadtregionen insbesondere im alpinen Raum das Erfordernis der konsequenten Steigerung ihrer Flächeneffizienz. Strategien zur Innenentwicklung (v. a. Nachverdichtung im Bestand) sind mittlerweile überwiegend in den Planungsinstrumenten von

Ländern, Regionen, Städten und Gemeinden verankert. Die örtliche Raumplanung arbeitet dabei u. a. mit Kennzahlen zur baulichen Dichte wie im Land Salzburg mit Geschoßflächenzahl (GFZ), Grundflächenzahl (GRZ), Baumassenzahl (BMZ), Anzahl der Vollgeschoße (VG) oder Höhe (H). Methoden zur Identifikation, Quantifizierung und zum Monitoring von Nachverdichtungspotenzialen haben sich etabliert und stellen im Wesentlichen die bauliche Plandichte der Bestandsdichte gegenüber (Spitzer, Reithofer & Prinz, 2017; Gadocha, Prinz & Spitzer, 2019). Um belastbare Ergebnisse zum Nachverdichtungspotenzial bzw. zum Nachverdichtungstyp (Aufstockung, Anbau, Zubau) auf Grundstücksebene zu erzielen, ist daher die Kenntnis der Gebäudebestandsdichte auf einem Grundstück entscheidend, was wiederum die Kenntnis der Abmessungen und Nutzungen des Gebäudebestands voraussetzt.

Öffentliche Datenbestände beinhalten diese Information oft nur zum Teil, haben eine sehr restriktive Zugänglichkeit und sind noch unvollständig bzw. nicht aktuell (bspw. Adress-GWR). Nur größere Städte erheben teils ihren Gebäudebestand durch Vor-Ort-Kartierungen und schreiben ihn fort (bspw. Stadt Salzburg: Gebäudekartierung), kleinere Gemeinden eher nur anlassbezogen (bspw. im Zuge der Erstellung eines Räumlichen Entwicklungskonzepts). Es fehlt also eine belastbare Datenbasis zum Gebäudebestand mit raumplanungsrelevanten Parametern, die insbesondere der Landesplanung und der örtlichen Raumplanung zur Verfügung gestellt werden kann, um in integrierte räumliche Entwicklungskonzepte einzufließen.

Die Spannweite gängiger Ansätze zur Ableitung geometrischer Eigenschaften von Gebäuden ist recht groß, die gewählte Methode stark von der Fragestellung abhängig. Oft reicht bspw. für die Abschätzung des Gebäudevolumens die Multiplikation der Gebäudegrundfläche mit der Medianhöhe eines normalisierten digitalen Oberflächenmodells (nDOM), für komplexe Gebäude- und Dachformen eignet sich die „Summenmethode“ (Summe aller Gebäude-nDOM-Werte) besser (Thin & Flöter, 2008). Ein anderer Zugang besteht in der Zuweisung von regional differenzierten gebäudetypabhängigen Geschoßzahlen und -höhen zur Gebäudegrundfläche (Meinl & Siedentop, 2007; Jahn, Hecht & Meinl, 2015).

Im Projekt *Zentrum Alpines Bauen (ZAB)* wurde durch das Research Studio iSPACE der RSA FG eine GIS-Methodik zur automatisierten Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands (Gebäudegeometrien) für das Land Salzburg entwickelt und umgesetzt. Auf Grundlage verfügbarer Datengrundlagen werden dabei Abschätzungen zur Brutto-Geschoßfläche, Baumasse, Höhe, Geschoßzahl, Wand- und Dachfläche erstellt, die sich für projektspezifische Fragestellungen und Analysen mit Bezug zu Nachverdichtung (Aufstockung, Anbau, Zubau etc.) eignen.

2 Methodik und Datenbasis

Ausgangslage für die Entwicklung eines GIS-Modells zur automatisierten Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands ist eine Kartierung von Gebäudeflächen aus Orthofoto-Befliegungen (2017-2018) im Land Salzburg. Im Projekt *Spatial Energy Planning (SEP)* werden diese Gebäudeflächen in einem PostGIS-Modell mit heterogenen Inputdaten (u. a. Adress-GWR 2019 und OGD-Daten zu infrastrukturellen Einrichtungen 2017-2020) verknüpft und somit mit Informationen zur Gebäudehauptnutzung sowie zur Bauperiode angereichert. Dabei kommt u. a. ein mehrstufiges Schätzverfahren zur Anwendung, das die Adress-GWR Information zur Bauperiode und Nutzung – ergänzt durch Informationen aus der Energieausweisdatenbank ZEUS – unter Einbezug des BEV-Adressregisters einer

oder mehreren Gebäudeflächen zuordnet. Insgesamt stehen damit für 63,6 % der Gebäudeflächen Angaben zur Bauperiode und für 87,2 % der Gebäudeflächen Angaben zur Gebäude-nutzung als Abschätzung zur Verfügung (Götzlich et al., 2021).

Für die Abschätzung raumplanungsrelevanter Parameter, die im Projekt Zentrum Alpines Bauen entwickelt wurde, standen neben diesen angereicherten Gebäudeflächen aus SEP folgende Datengrundlagen zur Verfügung:

- Geländemodell (DGM) und Oberflächenmodell (DOM) (ALS, 1 m, 2007-2016)
- Flächenwidmung (2020)
- Ortsbildschutzgebiete, Schutzzonen nach dem Altstadterhaltungsgesetz (2020)
- Digitale Katastralmappe (2018)

Die Methodik zur automatisierten Ableitung von raumplanungsrelevanter Parameter von Gebäuden (Gebäudegeometrien) wurde in ArcGIS ModelBuilder entwickelt und ist somit grundsätzlich auf andere Untersuchungsgebiete übertragbar und aktualisierbar (Monitoring). Die Methodik umfasst vier wesentliche Analyseschritte und wird in den folgenden Kapiteln ausgeführt.

2.1 Ableitung der Gebäudefläche aus der Dachfläche

Die Kartierung von Gebäuden aus Orthofotos repräsentiert im Wesentlichen die jeweilige Dachfläche eines Gebäudes in der senkrechten Draufsicht und schließt damit Dachvorsprünge mit ein. Um einer systematischen Überschätzung aller folgenden aus der Gebäudefläche abgeleiteten Parameter vorzubeugen, wird zunächst aus der Dachfläche die Gebäudefläche abgeschätzt. Dabei gelten folgende Annahmen: Flache Dächer weisen im Gegensatz zu nicht flachen Dächern typischerweise keinen Dachvorsprung auf. Die einzelnen Teilflächen von flachen Dächern haben eine geringere durchschnittliche Dachneigung mit einer geringeren Streuung.

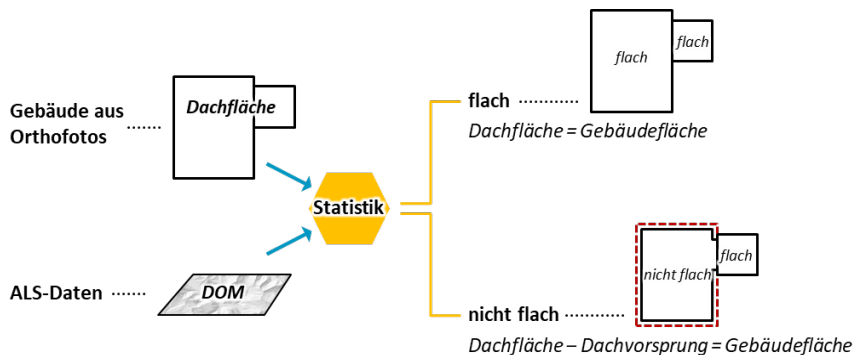


Abb. 1: Ableitung der Gebäudefläche aus der Dachfläche

Die Ableitung eines Indikators für die grundsätzliche Dachform (flach/nicht flach) erfolgt über eine statistische Auswertung der Neigung aller Rasterzellen (1 m) des DOM (Abb. 1). In Abhängigkeit von der Dachflächengröße werden hier empirische Schwellwerte für die Neigung (Mittelwert μ ; Standardabweichung σ) festgelegt, ab wann ein Dach als „flach“ gilt (bspw. für Dachflächen zwischen 100-300 m²: $\mu < 20^\circ$ UND $\sigma < 20^\circ$). Dächer welche diese Bedingungen nicht erfüllen werden als „nicht flach“ ausgewiesen. Bei nicht flachen Dächern

– also Dächern, deren Mittelwert und Standardabweichung über den Schwellwerten liegen, wird anschließend ein Dachvorsprung von 0,5 m angenommen und die Gebäudefläche ausgehend von der Dachfläche um diesen Dachvorsprung reduziert.

Für die Weiterverarbeitung von Gebäuden im Modell wird eine Mindestgröße von 12 m² Gebäudefläche festgelegt. Dies erfolgt in sinngemäßer Anlehnung an diejenige Mindestgröße, ab der Gebäude einer Baubewilligung bedürfen (Salzburger Baupolizeigesetz §2). Dabei werden Gebäude bzw. Gebäudeteile nur dann ausgewählt, wenn sie im direkten Verbund mit anderen Gebäuden am selben Grundstück diese Mindestgröße erreichen. Befinden sich am selben Grundstück zwei Gebäudeflächen, von denen eine die Mindestgröße nicht erreicht und grenzen die beiden Gebäudeflächen nicht direkt aneinander so wird nur jene Gebäudefläche ausgewählt, welche die Mindestgröße erreicht.

2.2 Berechnung von Giebelhöhe und Volumen

Auf Grundlage der oben abgeleiteten – teils reduzierten – Gebäudefläche erfolgt die Berechnung von Giebelhöhe und Gebäudevolumen (Abb. 2). Dabei wird das Differenzhöhenmodell (nDOM: Oberflächenmodell minus Geländemodell) zur exakteren Abbildung der Gebäudefläche auf ein feineres Punktraster umgerechnet (0,5 m resample) und anschließend mit den Gebäudeflächen verschnitten. Dieser Punktraster weist nun die nDOM-Höhenwerte jedes Gebäudes auf, deren Maximalwert die Giebelhöhe (m) und deren Summe das Gebäudevolumen (m³) repräsentieren.

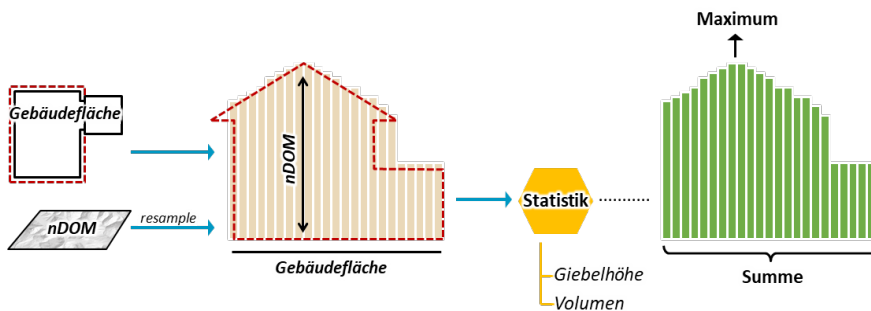


Abb. 2: Berechnung von Giebelhöhe und Volumen

2.3 Abschätzung von Geschößzahl und BruttoGeschößfläche

Die Abschätzung der Anzahl der Geschöße und der BruttoGeschößfläche erfolgt für jedes Gebäude in Abhängigkeit von Gebäudenutzung und Gebäudealter, die für den Großteil der Gebäude automatisiert zugeordnet werden konnte. Zur Einordnung der übrigen Gebäude werden die Flächenwidmung (Bauland Wohngebiet, Bauland Betriebsgebiet, Grünland, Verkehrsflächen, Sonderflächen) und Schutzzonen (Ortsbild-, Denkmalschutz) herangezogen.

Tabelle 1 zeigt, anhand ausgewählter Beispiele, Annahmen zu Geschößhöhen für unterschiedliche Gebäudeklassen. Dabei wird nach verschiedenen Geschößen unterschieden (Erd-Geschöß; erstes OberGeschöß; zweites OberGeschöß; drittes und weitere OberGeschöße; Mindesthöhe für das oberste Geschöß). Die Geschößhöhe setzt sich aus Raumhöhe und Geschößdecke zusammen, für Letztere werden 30 cm (bis 1970) 40 cm (ab 1970) angenommen. Die

Mindesthöhe für das oberste Geschöß beträgt 1,6 m in Orientierung an Festlegungen zur Berechnung von Geschößflächen (Salzburger Raumordnungsgesetz §56) zuzüglich Geschößdecke (30 bzw. 40 cm). Eine Verschneidung des Baualters mit der Gebäudenutzung ermöglicht eine differenzierte Ermittlung der Geschößhöhen.

Tabelle 1: Geschößhöhen für unterschiedliche Gebäudeklassen

Gebäudeklassifikation	EG	OG1	OG2	OG3plus	DGmin
Gebäude mit einer Wohnung					
vor 1945, Schutzzone Altstadt, Ortsbildschutz	3,1m	3,1m	3,1m	3,1m	1,9m
1945 - 1970	2,9m	2,9m	2,9m	2,9m	1,9m
nach 1970, keine Angabe	3,0m	3,0m	3,0m	3,0m	2,0m
Gebäude mit zwei oder mehr Wohnungen; Wohngebäude für Gemeinschaften					
vor 1919, Schutzzone Altstadt, Ortsbildschutz	3,9m	3,4m	3,4m	3,0m	1,9m
1919 - 1944	3,7m	3,2m	3,2m	3,2m	1,9m
1945 - 1970	2,9m	2,9m	2,9m	2,9m	1,9m
nach 1970, keine Angabe	3,0m	3,0m	3,0m	3,0m	2,0m

Auf Grundlage der abgeleiteten Gebäudefläche erfolgt die Abschätzung von Geschößzahl und BruttoGeschößfläche nach dem Schema in Abbildung 3. Das verfeinerte und mit den Gebäudeflächen verschnittene Punktraster enthält nDOM-Höhenwerte. Diese Höhenwerte werden für jedes Gebäude in Abhängigkeit der Gebäudeklassifikation und der geschätzten Geschößhöhen (Tabelle 1) statistisch ausgewertet, sodass sich Abschätzungen zur Anzahl der Geschöße (n) sowie zur BruttoGeschößfläche (m^2) ergeben.

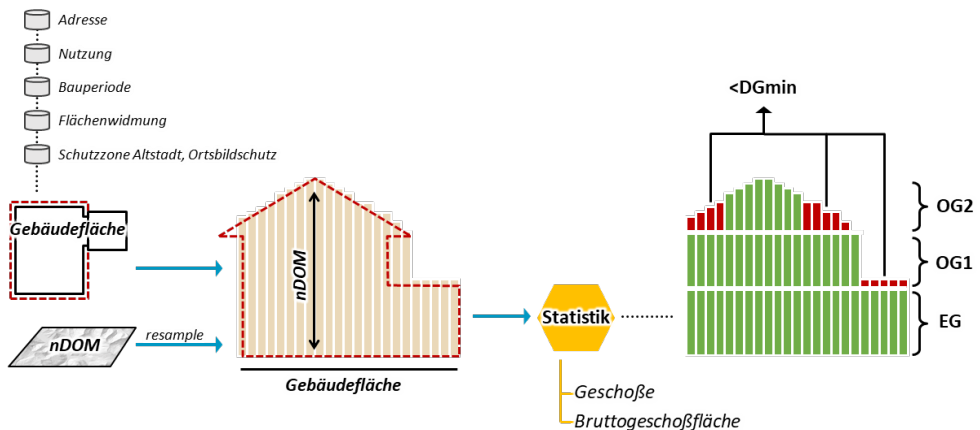


Abb. 3: Abschätzung von Geschößzahl und BruttoGeschößfläche

2.4 Ermittlung von Gebäudehüllflächen

Für die Berechnung der Fläche und Orientierung von Gebäudeaußenwänden werden die Kanten der abgeleiteten Gebäudeflächen zunächst in Innen- und Außenwände unterschieden, sowie in einzelne Segmente mit 1 m Länge aufgeteilt (Abb. 4). Für diese 1-m-Segmente werden zunächst die Orientierung in die acht Haupthimmelsrichtungen (Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, west, Nordwest) berechnet und anschließend die Höhenwerte aus dem nDOM ausgelesen (Wandhöhe). Die erforderlichen Parameter der Außenwandflächen ergeben sich folglich aus der Orientierung der 1-m-Wandsegmente und ihrer Höhe.

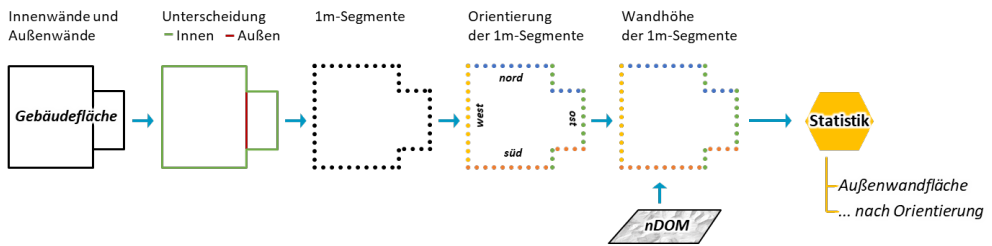


Abb. 4: Berechnung der Außenwandfläche und Orientierung

Die Abschätzung der Dachfläche als Teil der Gebäudehülle erfolgt gemäß dem Schema in Abbildung 5. Aus dem DOM wird zunächst ein Raster erstellt, der die Dachneigung der einzelnen Rasterwerte in Grad beinhaltet. Die Dachfläche einer Rasterzelle wird über die Division der Rasterzellenfläche (1 m^2) durch den Cosinus der Dachneigung angenähert. Die Summe dieser einzelnen Dachflächen je Rasterzelle, die innerhalb der Gebäudefläche liegen, entspricht der Abschätzung der Gebäudedachfläche in m^2 .

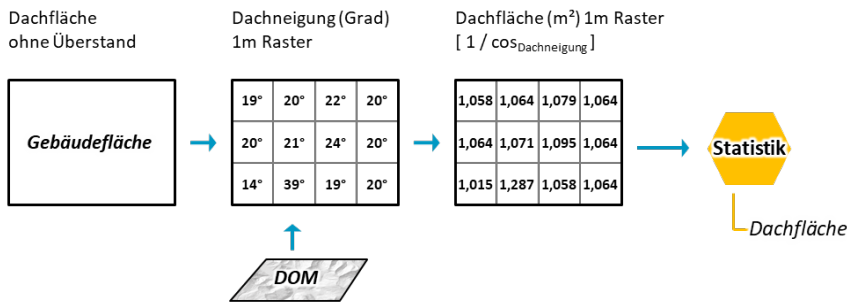


Abb. 5: Abschätzung der Dachfläche

3 Ergebnisse und Evaluierung

Die oben beschriebene Methodik zur automatisierten Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands wurde im Rahmen des Projektes Zentrum Alpines Bauen für das Land Salzburg umgesetzt. Von der Gesamtzahl der aus Orthofotos kartierten Gebäude

bzw. Gebäudeteile weisen etwa 273.000 eine Gebäudefläche von mindestens 12 m². Explizite Informationen zur Gebäudenutzung bzw. zum Baualter sind davon für 87,2 % bzw. 63,6 % vorhanden. Sie lassen sich somit hinsichtlich der Abschätzung von Geschößzahl und BruttoGeschoßfläche detaillierter bearbeiten; bei den verbleibenden Gebäudeflächen sind Informationen zur Flächenwidmung die Basis für die Modellierung. In der GIS-Modellierung konnten schließlich für etwa 243.000 Gebäude (88,9 %) plausible Werte generiert werden. Bei den restlichen 11,1 % führen entweder ihre ungünstigen Formeigenschaften (schmal und länglich) oder die in manchen Landesteilen wenig aktuellen ALS-Daten (2007-2016) zu unzureichend belastbaren Ergebnissen.

Zur Beurteilung der Modellgüte der vorliegenden Methodik wurde ein Vergleich mit einer Gebäudekartierung der Stadt Salzburg (Spitzer, Reithofer & Prinz, 2017) als Referenz durchgeführt. Hierzu wurde auf Grundstücksebene die Summe der BruttoGeschoßfläche (m²) sowie die höchste Anzahl der VollGeschoße (n) verglichen (Pearson-Korrelation) (Diagramm 1). Es ist festzustellen, dass beim wesentlichen Gebäudeparameter, der BruttoGeschoßfläche (BGF), ein signifikanter positiver linearer Zusammenhang ($r = 0,96$) besteht. Der Korrelationskoeffizient hinsichtlich der höchsten Anzahl an VollGeschoßen ergibt ebenfalls einen positiven Wert ($r = 0,72$). Hier sind jedoch einige teils große Ausreißer zu beobachten. So weicht gerade bei komplexen Gebäuden die Geschößzahl zwischen Gebäudekartierung (Referenz) und Modell stärker ab, da u. a. eine eindeutige Unterscheidung zwischen Voll- und Teilgeschoß derzeit im Modell noch nicht umgesetzt ist, im Gegensatz zur Gebäudekartierung durch die individuelle Beurteilung des Kartierers. Ein kleinerer Anteil ist zudem auch durch einzelne Interferenzen, z. B. durch Bäume und Hochspannungsleitungen, zu erklären.

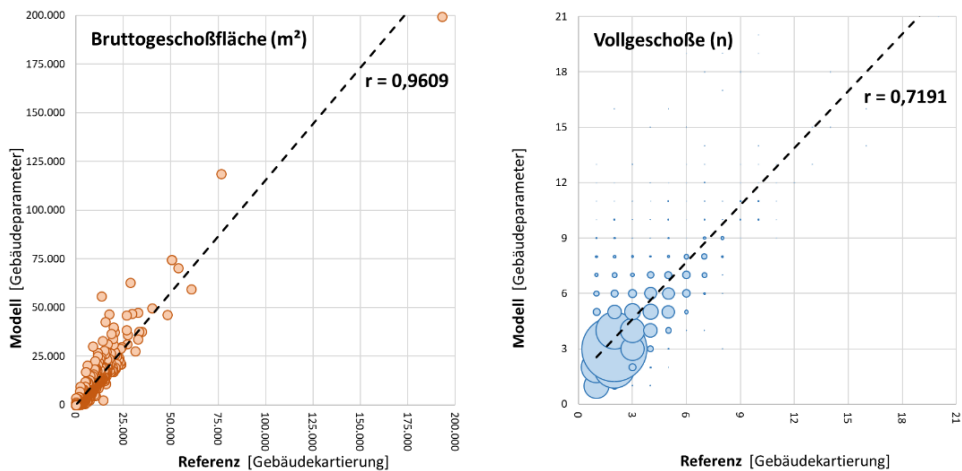


Diagramm 1: Beurteilung der Modellgüte durch Ergebnisvergleich des vorliegenden Modells mit vorhandener Gebäudekartierung (Referenz), Pearson-Korrelation

4 Diskussion

Insgesamt kann die Belastbarkeit der vorgestellten Methodik als ausreichend für den vorrangig beabsichtigten Anwendungsfall (Identifikation und Quantifizierung von Nachverdichtungspotenzialen) erachtet werden. Die im GIS-Modell u. a. aufgrund der Datenlage notwendigen sehr verallgemeinernden Annahmen – bspw. flache Dächer haben keinen Dachvorsprung; typische Geschoßhöhen für Bauperioden – zeigen jedoch bei der Evaluierung einzelner Beispielsgebäude mit teils beträchtlichen Abweichungen auch die Grenzen einer flächenhaft übertragbaren Methodik auf. Die architektonische Variabilität des Gebäudebestands ist naturgemäß doch sehr groß und damit schwierig in einem übersichtlichen Modell abzubilden.

Nichtsdestotrotz werden weitere Verfeinerungen der Methodik zur Verminderung der Ausreißer und Erhöhung Gesamtbelastbarkeit angestrebt. Dies betrifft etwa einzelne Parametrisierungen des Modells wie bspw. eine weitere Ausdifferenzierung der Geschoßhöhen für unterschiedliche Bauperioden und Nutzungen. Auch Erweiterungen um zusätzliche Parameter wie etwa Traufenhöhe sind angedacht. Ein wesentliches Verbesserungspotenzial wird auch in den höheren Auflösungen aktueller ALS-Befliegungen gesehen. So weisen im Gegensatz zu der hier verwendeten 1-m-Auflösung die aktuellen Befliegungen im Land Salzburg eine Punktedichte von durchgängig 4 Pkt./m², im Zentralraum teils 8 bzw. 16 Pkt./m² auf, was eine landesweite Auflösung von zumindest 50 cm erlaubt. Dies verspricht zusammen mit einem besseren zeitlichen Matching mit Gebäudeflächen eine grundsätzlich exaktere Abbildung der Gebäudehülle und der abgeleiteten Parameter sowie geringere Datenlücken bei ungünstig geformten Gebäudeteilflächen (Vollständigkeit). Bei großflächigen Auswertungen werden damit aber auch deutliche Unterschiede in der Modellperformanz verbunden sein.

Zukunftsweisend sind 3D-Gebäudemodelle, die unmittelbar aus ALS-Punktwolken als LoD 2 mit meist standardisierten Dachformen abgeleitet sind. In einer Integration ausgewählter raumplanungsrelevanter Parameter der hier vorgestellten Methodik in diese insbesondere auch aus Sicht der Visualisierung interessanten 3D-Gebäudemodelle wird Potenzial gesehen.

Die hier vorgestellte Methodik zur GIS-gestützten automatisierten Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands, welche im Rahmen des Projektes Zentrum Alpines Bauen erarbeitet wurde, stellt eine erste Basis für Gemeinden dar, um Zielgebiete für unterschiedliche Handlungsfelder der Raumplanung zu identifizieren. Dies betrifft bspw. die Flächen- und Energieeffizienz oder die Verteilung der Gebäudenutzungen in einem bestimmten Siedlungsbereich, was sich direkt auf die Anforderungen des Mobilitätsangebots auswirkt. Weitere Nutzungsmöglichkeiten dieser Analyse sind u. a. die Ausweisung von Wohnraumbereitstellungspotenzialen (m² BGF) oder anderer Nutzungen im Siedlungsbestand, als auch von Zielgebieten für thermische Sanierungsmaßnahmen. Die gewonnenen Erkenntnisse sind für das vorantreiben einer gesteigerten Ressourceneffizienz in der Raumplanung höchst relevant und werden in weiterer Folge zur Verortung baulicher Nachverdichtungsmöglichkeiten im Siedlungsbestand genutzt.

Im Zentrum Alpines Bauen dient der mit der vorgestellten Methodik erarbeitete Datensatz zu detaillierten Gebäudeparametern als eine wesentliche Grundlage zur Identifikation von Nachverdichtungspotenzialen und insbesondere für die Typisierung von Nachverdichtungs-

potenzialen. Zudem sollen die aus dieser Datenbasis ableitbaren planerischen Entscheidungsgrundlagen, entsprechend der spezifischen Herausforderungen und Schwerpunktsetzungen einer Gemeinde oder Region, in räumliche Entwicklungskonzepte implementiert werden.

Acknowledgement

Die dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes Zentrum Alpines Bauen (www.alpinesbauen.at), gefördert durch IWB/EFRE, erarbeitet. Der Eingangsdatensatz für die Methodik zur Ableitung von Gebäudeparametern wurde im Projekt Spatial Energy Planning erarbeitet.

Literatur

- Gadocha, S., Prinz, T., & Spitzer, W. (2019). Räumliche Daten für die Mobilisierung von Nachverdichtungspotenzialen. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 5-2019, 276–283.
- Götzlich, L., Schardinger, I., Spitzer, W., Gadocha, S., Mauthner, F., & Biberacher, M. (2021): Gebäudemodell für die räumliche Energieplanung. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 7-2021.
- Jahn, A., Hecht, R., & Meinel, G. (2015). 3D-Gebäudemodelle – Grundlage siedlungsstruktureller Analysen am Beispiel Sachsens. In: *Flächennutzungsmonitoring VII. Boden – Flächenmanagement – Analysen und Szenarien* (pp. 233–243).
- Meinl, G., & Siedentop, S. (2007): Erhebung und indikatorgestützte Bewertung der Siedlungsstruktur und ihrer Entwicklung – Konzept „Deutschlandmonitor Siedlungs- und Freiraumentwicklung“. In J. Strobl et al. (Eds.), *Angewandte Geoinformatik 2007*. Beiträge zum 19. AGIT-Symposium Salzburg (pp. 473–481). Heidelberg: Wichmann.
- Salzburger Baupolizeigesetz 1997 – BauPolG; StF: LGBl Nr 40/1997 (WV); idF. LGBl Nr 33/2019.
- Salzburger Raumordnungsgesetz 2009 – ROG 2009; StF: LGBl Nr 30/2009; idF. LGBl Nr 77/2020.
- Spitzer, W., Reithofer, J., & Prinz, T. (2017): Monitoring der Nachverdichtung in der Stadt Salzburg. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 3-2017, 383–389.
- Thin, N. X., & Flöter, A. (2008): Quantifizierung des Gebäudevolumens und der Gebäudeoberfläche in 116 kreisfreien Städten Deutschlands. In J. Strobl et al. (Eds.), *Angewandte Geoinformatik 2007*. Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg (pp. 69–77). Heidelberg: Wichmann.