



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Einsatz von GIS zur automatisch generierten
3D-Analyse des städtebaulichen Potenzials mit Fokus
auf ökologische Wohnraumschaffung am Beispiel des
Dritten Wiener Gemeindebezirkes“

verfasst von / submitted by
Christina Petsovits, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2019 / Vienna 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Kainz

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit den Potentialen der Dachlandschaft Wiens, im speziellen mit zur Wohnraumschaffung zur Verfügung stehenden Gebäuden und Dächern des Dritten Wiener Gemeindebezirkes.

Die absolute Bevölkerung in Wien wird in Zukunft weiter ansteigen, jedoch steigt auch der Wunsch nach mehr Wohnfläche pro Einwohner und nach mehr Erholungsbereichen in Form von Grünräumen. Der Platz in Städten ist aber beschränkt und zusätzlich, oder gerade deshalb, werden immer mehr Flächen versiegelt, wodurch es in Nächten unzureichend abkühlen kann. Durch den prognostizierten zukünftigen Temperaturanstieg sind Pflanzen bei der Wohnraumschaffung genauso relevant und notwendig, wie neue Wohnfläche, denn sie fungieren nicht nur als natürliche Stadtklimaanlage, sondern sind, laut Studien, auch für das psychische und physische Wohlbefinden der Bevölkerung enorm wichtig.

Für die Stadtentwicklung und die damit verbundene optimale, zukunftsorientierte Planung sind die Datenpflege und folglich auch entsprechende Datenaufbereitungen, -analysen und -darstellungen, wie in Form von 3D-Stadtmodelle, unabdinglich. Unterschiedliche Datenformate, wie zum Beispiel CityGML oder WMTS, bieten unterschiedliche Möglichkeiten der Verarbeitung und Darstellung der zur Verfügung stehenden Informationen und werden im Zuge dieser Arbeit genauer erläutert und im Bezug auf ihre Vor- und Nachteile verglichen.

Mit Hilfe von GIS-gestützten-Analysen wurden unterschiedliche Potentiale für die optimierte Platznutzung auf Wiens Dächern ermittelt. Zu den definierten Potentialen zählen Aufstockungs-, Dachausbau- und Gründachpotential, welche erstaunliche Möglichkeiten für neue Wohnungen und „Parks am Dach“ bieten. Allein im Dritten Bezirk eröffnen sich durch die Nutzung dieser Potentiale Ausbauten im Umfang mehr als 4.000 Ein-Personen Wohnungen und sinnvollen Grünanlagen von 25 ha Fläche. Damit ließe sich eine prognostizierte Zuwanderung bis 2038 bereits zu 50 % in Wohnungen unterbringen, ohne noch freie Flächen verbauen zu müssen. Gleichzeitig stünden dieser zusätzlichen Bevölkerung leicht erreichbare Grünflächen und natürlich klimatisierte Behausungen zur freien Verfügung.

Eine Bewertung der Potentiale anhand spezieller Skalen sowie Vorschläge für künftige Arbeiten und Optimierungen in dieser Thematik, wie die Einbindung bauphysikalischer Daten, runden die vorliegende Arbeit ab.

Abstract

The present master thesis deals with possible potentials of the rooftop landscape of Vienna, with focus on buildings and roofs suitable for the creation of living space and housing in the third district of Vienna.

As the total population of Vienna is expected to increase in future, the demand for more housing area per inhabitant as well as the demand for more green spaces is going to rise equally. Due to this increasing space requirements, more and more open space is sealed, which causes insufficient natural air cooling during nighttimes. Global temperatures are on the rise and will most likely cause increasing heat waves in summers. Therefore plants and vegetation have become almost as important for future urban planning as housing, because green space does not only serve as natural air conditioning but is also important for the mental and physical health of inhabitants.

Good data maintenance, such as processing, analysis and visualisation of information, is crucial for urban planning and optimal, future-oriented development of living spaces. One tool of data maintenance, distribution and storage is the usage of 3D-city-models. Those models can come in different data formats, such as CityGML or WMTS, which offer different possibilities for processing and visualisation of available information and data. Some common data formats will be discussed in the course of this thesis in more detail and compared in regard to their advantages and disadvantages concerning the topic at hand.

Different potentials for optimal space usage on the rooftops of Vienna have been calculated and investigated using GIS based analysis and tools. Three potentials were identified, namely the additional-storey-potential, the roof-extension-potential as well as the green-roof-potential. Those potentials provide astonishing possibilities to create new living spaces like flats or “parks on the roof”. Roof-extensions and additional storeys might add more than 4,000 new flats to the third district of Vienna, while green spaces on flat roofs could increase the public park area of the district by 25 ha. This might be enough to accommodate 50 % of the predicted population increase of the district by 2038 in new flats without the need to seal open spaces and greens. The additional people could use more green space with easier access than before while at the same time enjoy naturally cooled living spaces.

The thesis ends with an assessment of the potentials by calculation of special graduations and prospects for future work and optimisation, such as integration of construction physics into the calculations, concerning the topic at hand.

Danksagung

Im Zuge eines Praktikums bei der MA 22, im Bereich Umweltschutz, entwickelte ich den Gedanken, meine Masterarbeit im Zusammenhang mit dem Gründachpotential zu verfassen. Durch OpenRoof.Wien, vertreten durch Samina Gheorghe und Andrei Gheorghe, wurde mir die Bearbeitung einer umfangreicheren Thematik ermöglicht sowie die Grundidee des Aufstockungs- und Dachausbaupotentials geschaffen. An dieser Stelle möchte ich den beiden für die Zusammenarbeit danken.

Außerdem gilt mein Dank auch der Stadt Wien für die Bereitstellung von Daten, welche in dem für die Analyse gewünschten Detailgrad noch nicht frei verfügbar sind.

Des Weiteren richtet sich mein Dank an meinen Betreuer, Herrn. Dr. Wolfgang Kainz, der durch sein konstruktives Feedback meiner Masterarbeit den letzten Schliff verpasst hat.

Danke an meine Eltern, ohne die ich das Studium nicht so sorglos hätte absolvieren können.

Der größte Dank richtet sich an meinen Lebenspartner Mathias, für sein großes Verständnis und die Unterstützung während meines Studiums, seine aufmunternden Worte und das Korrekturlesen einiger Seminararbeiten, wie auch der vorliegenden Masterarbeit.

Abschließend noch ein Dank an meine Studienkolleginnen für die unvergessliche Studienzeit.

Inhalt

Kurzfassung	i
Abstract	ii
Danksagung.....	iii
Inhalt.....	iv
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	ix
1 Einleitung.....	1
1.1 Relevanz der Thematik sowie Problemstellung	1
1.2 Forschungsfragen, Zielsetzungen und Methodik.....	2
1.3 Aufbau der Masterarbeit.....	4
2 Einführung in die allgemeine Stadtentwicklung mit Fokus auf Wien.....	6
2.1 Aufstockung	10
2.2 Dachausbauten.....	13
2.3 Dachbegrünung.....	14
3 Einführung 3D-Stadtmodelle.....	18
3.1 Erstellungsprozess eines 3D-Stadtmodells am Beispiel Wien	19
3.2 Detailgrad von Modellen: Level of Detail (LOD)	20
3.3 Anwendungsbereiche für 3D-Modelle	22
3.4 Visualisierung von 3D-Stadtmodellen	23
4 Datengrundlagen und Datenformate	25
4.1 Vektorbasierte 3D-Datenformate – Standards für Gebäudemodelle.....	25
4.1.1 GML	25
4.1.2 Weitere 3D Datenformate.....	28
4.2 Vektorbasierte ESRI Datenformate	29
4.2.1 3D - Multipatch	29
4.2.2 2D - Shapefile.....	31
4.3 rasterbasierte 2D-Daten	32
4.3.1 Flächenwidmungs- und Bebauungsplan (WMTS).....	32

4.3.2	Gründachpotentialkataster (WMS, TIFF).....	33
4.4	Gegenüberstellung der vorgestellten Dateiformate	35
5	Erstellung unterschiedlicher Potentiale über die Dachlandschaft Wiens	36
5.1	Verwendete Software und relevante Werkzeuge für die Realisierung.....	36
5.1.1	verwendete Software	36
5.1.2	relevante Werkzeuge	37
5.2	Aufstockungspotential in m ² und m ³	41
5.2.1	Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung	42
5.2.2	Workflow der Durchführung des Aufstockungspotentials	46
5.2.3	Automatisierung	48
5.3	Potential Dachausbau in m ² und m ³	48
5.3.1	Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung	49
5.3.2	Workflow der Durchführung des Dachausbaupotentials	51
5.4	Gründachpotential in m ²	56
5.4.1	Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung für die Netzwerkanalyse.....	56
5.4.2	Erstellung der Netzwerkanalyse	58
5.4.3	Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung Gründachpotentialkataster	59
5.4.4	Workflow der Durchführung des Gründachpotentials	60
6	Ergebnisse und Interpretation.....	62
6.1	Aufstockungspotential.....	62
6.2	Dachausbaupotential	66
6.3	Gründachpotential	73
6.4	Bewertung der Ergebnisse.....	79
6.4.1	Skalenwerte Aufstockung (LOD1) ermitteln	79
6.4.2	Skalenwerte Dachausbau (LOD2) ermitteln	82
6.4.3	Skalenwerte Gründachpotential ermitteln.....	86
6.4.4	Weiterführender Forschungsbedarf	86
7	Zusammenfassung.....	88
8	Literatur.....	91

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Siedlungsentwicklung, eigene Bearbeitung (Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung 2014: 67).....	7
Abb. 2: Herkunftsverteilung der geplanten Wohnungen Wiens von 2014 bis 2025 (Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung 2014: 37)	8
Abb. 3: zulässige Gebäudehöhe (KIRCHMAYER et al. 2016: 42).....	11
Abb. 4: Vergleich FWBP (links im Bild) und generalisierter FWP (rechts im Bild) (VIENNAGIS 2019a)	12
Abb. 5: Gründachpotential pro Bezirk, in ha (VALI 2011: 12)	15
Abb. 6: Zusammenhang Grünraum und Psychische Erkrankungen (ASTELL-BURT et al. 2019: 18).....	16
Abb. 7: primäre Motivation für Grünraumbesuch (ROE et al. 2017: 13)	17
Abb. 8: Ausschnitt Stadtplan 3D, Schloss Belvedere (MA41 2019d).....	20
Abb. 9: Level of Detail (KOLBE et al. 2005: 5)	21
Abb. 10: Anwendungsbereiche für 3D-Modelle (BILJECKI et al. 2015: 2843)	22
Abb. 11: schematische Darstellung Gründachpotential (MA22 2019b).....	34
Abb. 12: Geoverarbeitung (ESRI 2019h).....	37
Abb. 13: Tool Merge.....	38
Abb. 14: Tool Dissolve	38
Abb. 15: Tool Add Join	38
Abb. 16: Tool Eliminate.....	38
Abb. 17: Tool Erase	39
Abb. 18: Tool Intersect	39
Abb. 19: Tool Union	39
Abb. 20: Tool Buffer.....	39
Abb. 21: Tool MultiPatch Footprint	40
Abb. 22: Iterator zum Einlesen der BKM-Daten (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	42
Abb. 23: Aufbereitung der BKM-Daten (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	43

Abb. 24: Aufbereitung des generalisierten FWP (ESRI, eigene Bearbeitung 2019).....	43
Abb. 25: Gebäude-Polygone (BKM) durch Flächenwidmung geteilt (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	44
Abb. 26: Gebäudegrenzen optimieren (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019).....	45
Abb. 27: Export von Polygonen mit Widmungsklassen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019).....	45
Abb. 28: Berechnung des Aufstockungspotentials in m und m ³ (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	46
Abb. 29: Ermittlung Stockwerke und Einschränkung des Aufstockungspotentials durch weitere Kriterien (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	48
Abb. 30: LOD2 – automatisiert Dateien verschieben mit Python	49
Abb. 31: Import der GML-Dateien (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	50
Abb. 32: Iterator LOD2: Zuschnitt auf den Dritten Bezirk (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	50
Abb. 33: Dachtyp bestimmen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019).....	51
Abb. 34: Volumenberechnung der Dachteilflächen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019).....	52
Abb. 35: Berechnung von Volumen, Höhe und Grundfläche des Dachausbaus pro Dachfläche (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	54
Abb. 36: Einschränkung des Dachausbaupotentials nach bestimmten Kriterien (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	56
Abb. 37: Aufbereitung der Daten für die Netzwerkanalyse (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	58
Abb. 38: Parkeingänge (Punkte) und Straßen (Linien).....	58
Abb. 39: Aufbereitung Gründachpotentialkataster (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	59
Abb. 40: Einschränkung des Gründachpotentials (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	61
Abb. 41: Vergleich der Widmungsklassen des generalisierter FWP (links) und des FWBP (rechts)	62
Abb. 42: Vergleich Ausbaupotential Annahme (generalisierter FWP) und FWBP	63
Abb. 43: Vergleich anhand von Attributen zweier Gebäude	64
Abb. 44: positives und negatives Aufstockungspotential	65

Abb. 45: Dächer gruppiert nach Dachneigung im Dritten Bezirk (Ausschnitte: Pauluspark links, Kegelgasse rechts)	66
Abb. 46: Häufigkeit der Dachtypen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	67
Abb. 47: schematisches Dach für Berechnung der nutzbaren Volumina (eigene Darstellung 2019)	68
Abb. 48: schematisches Dach für Berechnung der nutzbaren Grundfläche (eigene Darstellung 2019)	70
Abb. 49: Python-Code zur Summenbildung	70
Abb. 50: Potential Kubatur Dachausbau.....	71
Abb. 51: Beispiel mit hohem Dachausbaupotential im Wohngebiet (VIENNAGIS 2019b).....	72
Abb. 52: Beispielgebäude mit hohem Dachausbaupotential im Wohngebiet (Östliches bereits ausgebaut) (VIENNAGIS 2019b)	72
Abb. 53: Anzahl geeigneter Gründachflächen für jede Nutzungsart	74
Abb. 54: Summe Dachfläche für Gründacheignung je Nutzungsart.....	74
Abb. 55: Netzwerkanalyse zu Einzugsgebieten von 250 m verschiedener Parks	75
Abb. 56: Gründachpotential ausgewählter Ausschnitte des dritten Bezirks.....	76
Abb. 57: Grün- und Freiraumkennwerte für Wien (MA18 2015: 9)	77
Abb. 58: Aufteilung der Parkeingänge nach Größe der Parkanlage (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	78
Abb. 59: Berechnung unterschiedlicher Einzugsgebiete von 250 m bis 500 m.....	78
Abb. 60: Berechnung unterschiedlicher Einzugsgebiete von 1 km bis 1,5 km.....	79
Abb. 61: Skalenbewertung des Aufstockungspotentials, Darstellung Pauluspark – angenommene Höhe, rechts; tatsächliche Höhe, links	80
Abb. 62: Bewertung des Aufstockungspotentials im Dritten Bezirk.....	81
Abb. 63: Skalenbewertung des Dachausbaupotentials, Darstellung Pauluspark	82
Abb. 64: Bewertung des Dachausbaus im Dritten Bezirk.....	83
Abb. 65: Verhältnis Dachausbau zu Gebäude, Darstellung Pauluspark	84
Abb. 66: Verhältnis Dachausbau zu Gebäude im Dritten Bezirk	85

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Unterschiede FWBP und generalisierter FWP	12
Tab. 2: Dimensionen von Geodaten (vgl. SCHAEBEN et al. 2003: 174 ff.)	19
Tab. 3: Notwendigkeit der 3D-Visualisierung nach Anwendung (COORS et al. 2016: 369)	23
Tab. 4: mögliche Bestandteile eines Multipatch-Features (ESRI 2012: 3 ff.).....	30
Tab. 5: Gegenüberstellung von Dateiformaten	35
Tab. 6: Potentiale und ihr Daten-Hauptbestandteil.....	36
Tab. 7: am häufigsten verwendete Toolboxen und Tools (ESRI 2019b).....	37
Tab. 8: Arbeitsschritte Aufbereitung BKM-Daten	42
Tab. 9: Arbeitsschritte Aufbereitung generalisierter Flächenwidmungsplan	43
Tab. 10: Arbeitsschritte Verknüpfung BKM und generalisierter FWP	44
Tab. 11: Volumenberechnung des Aufstockungspotentials.....	46
Tab. 12: Einschränkung Aufstockungspotential auf ganze Stockwerke und Realnutzung Wohnen.....	47
Tab. 13: Laden der LOD2-Dateien	49
Tab. 14: Aufbereitung der Dachflächen – RoofSurface	50
Tab. 15: Volumenberechnung der Dachteilflächen	52
Tab. 16: Berechnung Volumen, Höhe und Grundfläche des Dachausbaus pro Dachfläche	53
Tab. 17: Einschränkung Dachausbaupotential auf ganze Stockwerke und Realnutzung Wohnen.....	54
Tab. 18: Aufbereitung Grünflächen und Straßen für die Netzwerkanalyse.....	56
Tab. 19: Aufbereitung Gründachpotentialkataster.....	59
Tab. 20: Einschränkung des Gründachpotentials nach bestimmten Kriterien.....	60
Tab. 21: Grünflächen gefiltert nach ihrer Größe	77

1 Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit mit dem Titel „Einsatz von GIS zur automatisch generierten 3D-Analyse des städtebaulichen Potenzials mit Fokus auf ökologische Wohnraumschaffung am Beispiel des Dritten Wiener Gemeindebezirkes“ beschäftigt sich mit einem interdisziplinären Thema, welches in dieser Form noch nicht bearbeitet wurde. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Aufstockungs-, Dachausbau- und Gründachpotential und deren automatisierter Analyse.

Literaturrecherche zum Aufstockungspotential ergab, dass dieses bislang kaum bis gar keine Beachtung in der Geoinformatik-Forschung zur städtischen Nachverdichtung bekommen hat, weshalb sich ein großer Teil der Praxis dieser Arbeit damit auseinandersetzen wird.

Das Dachausbaupotential wurde bereits sehr oft untersucht, aber meist ausschließlich auf architektonischer Ebene und nur für ein Beispielgebäude, z.B. für eine Wohnhausanlage der Stadt Wien (vgl. AtticAdapt2050). Daher wird in dieser Arbeit versucht, das Dachausbaupotential aus der Perspektive der Automatisierbarkeit zu analysieren und zu beurteilen.

Potentielle Gründächer wurden von der Stadt Wien zu einem Gründachpotentialkataster zusammengefasst, welcher allerdings nicht auf die Errichtung von Erholungsräumen geprüft wurde. Daher wird der Gründachpotentialkataster zur Erweiterung bestehender Parkflächen der Stadt Wien untersucht.

Für die Nachverdichtung des Gebäudebestandes werden zum Großteil OGD Daten der Stadt Wien verwendet und die Ergebnisse werden, soweit dies dem besseren Verständnis dienlich ist, dreidimensional dargestellt.

1.1 Relevanz der Thematik sowie Problemstellung

Mit der Veränderung des Klimas wird die Stadtbevölkerung spätestens dann konfrontiert, wenn es in Sommernächten einfach unzureichend abkühlt, um erholsam zu schlafen. Dies ergibt sich daraus, dass verbaute Flächen sehr viel Wärme speichern, welche in den Nächten abgegeben werden.

Laut neuesten Erkenntnissen und Studien der ETH Zürich wird der zukünftige Anstieg der durchschnittlichen globalen Temperatur im Winter bis zu 4,7 Grad Celsius betragen. (vgl. BASTIN et al. 2019: 6 ff.) Dieser Temperaturanstieg könnte, so die Studien, einen Wechsel der Klimaverhältnisse diverser Städte zu wärmeren Klimasystemen verursachen. So würde zum Beispiel London im Jahr 2050 das heutige Klima der Stadt Barcelona. Um die Hitze einer Stadt zu reduzieren würden zusätzliche Grünflächen benötigt werden.

Pflanzen können nachweislich als natürliche Stadtklimaanlage fungieren und daher sollten unbebaute Flächen beibehalten und bereits verbaute Flächen begrünt werden. Gründächer und Grünfassaden werden immer häufiger umgesetzt. (vgl. STADTLÉBEN 2019: 7) Auch andere Maßnahmen zur Erhöhung der Erträglichkeit hoher Temperaturen, wie Nebelduschen oder mobile Trinkbrunnen, sind in Wien keine Seltenheit mehr (vgl. STADTWIEN 2019a). Neben erhöhten Temperaturen ist aber auch der Anstieg der Bevölkerung eine Herausforderung, da mehr Einwohner eine höhere Verbauung bedingen.

Laut Schätzungen werden spätestens im Jahr 2029 in Wien über zwei Millionen Menschen leben. (vgl. PRENNER 2015: 28) Durch die wachsenden Bevölkerungszahlen in Österreichs größter Landeshauptstadt ist auch die Stadtentwicklung immer wieder mit neuen Herausforderungen im Bereich der Wohnraumschaffung konfrontiert. So entsteht am Wohnungsmarkt neben dem Bedarf von Neubauten auch der Bedarf an Zubauten, welche auch in Form von Aufstockungen oder Dachausbauten umgesetzt werden können.

Die in vielen Städten angestrebte Nachverdichtung steht allerdings im Widerspruch zur Ideologie der Moderne, welche eine Gartenstadt mit viel Licht und sauberer Luft zum Ziel hat. (vgl. TEMEL 2004: 9) Aber auch der Wunsch nach mehr Wohnfläche pro Einwohner steigt, was die Problematik der Wohnraumschaffung weiter verschärft. Eine potentielle Lösung dieser Herausforderung wird in dieser Arbeit vorgestellt, nämlich die Ausnutzung von Aufstockungs- und Dachausbaupotential. Dem Grünraummangel und der damit einhergehenden Erhitzung der Stadt soll durch Nutzung von Flachdächern zur Parkraumschaffung entgegengewirkt werden. Um die Ergebnisse der Analysen darzustellen, muss ein entsprechend geeignetes Werkzeug gewählt werden.

Dreidimensionale Modelle von Städten werden immer häufiger für Aufgabenstellungen in der Stadt- und Raumplanung herangezogen, wie zum Beispiel zur Katastrophenschutzplanung oder zur Weiterentwicklung von Lärmschutzeinrichtungen. Sie sind aber auch optimal für die Darstellung des Potenzials der Nachverdichtung, der Dachbegrünung oder der Photovoltaikanlagen geeignet, weshalb sie in dieser Arbeit zur Verdeutlichung der Analysenergebnisse eingesetzt werden.

Der Platz in Städten ist beschränkt und, obwohl diese Beschränkung allgemein bekannt ist, wird das Platzpotential speziell auf Bestandsgebäuden noch nicht vollständig genutzt. Da ungenutzte brachliegende Liegenschaften einfach aufzufinden sind, fokussiert sich diese Masterarbeit darauf, den noch ungenutzten Platz auf städtischen Dächern zu ermitteln und darzustellen. Anschließend werden diese Flächen auf ihre Eignung zum Dachausbau, zur Aufstockung und zur Grünraumschaffung untersucht und die Ergebnisse der Analyse in einem dreidimensionalen Modell, soweit sinnvoll, dargestellt.

1.2 Forschungsfragen, Zielsetzungen und Methodik

Die Masterarbeit hat zum Ziel, die nachfolgenden Forschungsfragen mit unterschiedlichen Techniken und Methoden zu beantworten. Dabei gilt es, die Frage zu beantworten, wie die Platznutzung, im speziellen auf Wiens Dächern, optimiert werden kann. Dieses

übergeordnete Ziel lässt sich in folgende drei Forschungsfragen unterteilen, für die zusätzlich einige Unterziele definiert wurden.

- Welche Rahmenbedingungen sind für die Platznutzungsoptimierung gegeben?
 - Welche Anforderungen werden an die Dachlandschaft Wiens gestellt?
 - Welche Limitationen ergeben sich daraus für die Nutzung?
 - Welche idealen Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich daraus für den verfügbaren Raum?

Die erste Forschungsfrage soll hauptsächlich durch eine Literaturrecherche zur Wiener Stadtentwicklung und 3D-Stadtmodellen beantwortet werden. Dabei stehen die zukünftigen Anforderungen und Entwicklungen in Wien im Vordergrund, da diese für die Platznutzung relevant sind und auch Einschränkungen definieren. Speziell Anforderungen wie der Wohnbau oder Smart City Konzepte sollen dabei berücksichtigt werden, aber auch die Einschränkungen, die sich aus der für den Tourismus relevanten Stadtbilderhaltung ergeben, sind zu berücksichtigen. Auch die bei der Erstellung dieser Arbeit gegenwärtige Datengrundlage spielt eine nicht zu vernachlässigende Rolle bei den Möglichkeiten und Grenzen der Platznutzungsoptimierung.

Aus diesen Rahmenbedingungen ergeben sich dann logisch die idealen Nutzungsmöglichkeiten, die sich durch einen möglichst effizienten, vollständigen und bedarfsorientierten Gebrauch des vorhandenen Potentials auszeichnen sollten.

- Wie können die vorhandenen Potentiale analysiert und dargestellt werden?
 - In welchem Umfang und in wie hoher Genauigkeit ist es mit Hilfe von OpenData möglich, relevante Informationen für die Analyse der Potentiale einzelner Gebäude in Wien aufzubereiten und darzustellen?
 - Welche Genauigkeit und welcher Umfang sind für die Nutzbarkeit der Analyseergebnisse notwendig?
 - Welche Grenzen sind Genauigkeit und Umfang der Analyse gesetzt?
 - Inwieweit sind Analysen und Darstellung automatisierbar?

Die Beantwortung dieser Forschungsfrage erfolgt anhand praktisch durchgeführter Analysen mit Hilfe von ArcGIS Pro und ArcMap sowie theoretischer Beschreibungen der verfügbaren Daten und notwendiger Aufbereitungen derselben. Bei den GIS-Analysen werden unterschiedliche Werkzeuge, wie zum Beispiel Überschneiden, Zusammenführen oder Informationsabfragen, kombiniert sowie eine Netzwerkanalyse erstellt.

Zur theoretischen Beschreibung der Datengrundlagen wird genauer auf den Unterschied des hier eingesetzten generalisierten Flächenwidmungsplanes zu einem detaillierten Flächenwidmungsplan eingegangen und die sich aus der Generalisierung ergebenden Einschränkungen erläutert.

Besonderer Fokus der Praxis gilt außerdem der Automatisierbarkeit der durchgeführten Analysen mittels ArcGIS Pro Modelbuilders.

- Welche Verwendung und Optimierung lassen die gefundenen Potentiale zu?
 - Welche Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich aus den Einschränkungen und den Potentialen?
 - Wie lassen sich die tatsächlichen Nutzungsmöglichkeiten optimal ausführen?
 - Welche Vorzüge oder Nachteile ergäben sich für Verwaltung und Bevölkerung aus der Raumnutzungsoptimierung?
 - Wie lässt sich die Analyse an sich weiter optimieren?

Mit der dritten Forschungsfrage soll vor Allem die Interpretation der Analysenergebnisse erfolgen. Dabei werden die praktisch ermittelten Potentiale (Frage 2) mit den in Frage 1 definierten Einschränkungen korreliert, um eine Abschätzung der tatsächlichen Nutzungsmöglichkeiten erstellen zu können.

Außerdem wird versucht, die Potentiale aus Sicht von Behörden, Unternehmen und Zivilbevölkerung zu betrachten und weitere Vorgehensweisen für den Fall einer Fortführung dieser Arbeit postuliert.

Durch die Beantwortung der Forschungsfragen wird ein wesentlicher Beitrag zur ökologischen Wohnraumschaffung geleistet, da keine neuen Flächen versiegelt werden. Aufgrund der Zusammenhangsherstellung zwischen neuer Wohnfläche und neuen Naherholungsgebieten bzw. Grünräumen kann das allgemeine Wohlbefinden jedes Wieners und jeder Wienerin gesteigert werden. Die Weiterentwicklung der Analyseergebnisse ist bei Bedarf möglich, da auch ein Ausblick dafür in dieser Arbeit bereitgestellt wird.

1.3 Aufbau der Masterarbeit

Für den Einstieg in die Thematik liefern Kapitel 2 und Kapitel 3 Grundlagen und Basiswissen über die allgemeine Stadtentwicklung bzw. über 3D-Stadtmodelle. Neben Begriffserklärungen werden auch Anwendungsbeispiele aufgezeigt und die unterschiedlichen Level of Detail Stufen erläutert.

Um Stadtentwicklungspotentiale darzustellen werden oft 3D-Stadtmodelle verwendet und diese setzen sich wiederum aus unterschiedlichen Dateien und Datenformaten zusammen. Kapitel 4 beschäftigt sich mit den Grundlagen der hier verwendeten Daten. Im speziellen wird auf die 2D- und 3D-Datenformaten, welche für die praktisch durchgeführten Analysen relevant sind, eingegangen.

In Kapitel 5 wird die durchgeführte Praxis mittels ArcGIS behandelt. Hier wird auf die Aufbereitung der Daten, die Durchführung anhand eines Workflows und auf das Ausmaß der Automatisierbarkeit im Speziellen eingegangen.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Analysen dargestellt und diskutiert. Dabei wird besonderer Fokus auf die Beantwortung der oben beschriebenen Forschungsfragen gelegt und die Resultate mit Anforderungen und Limitationen aus der Literatur abgeglichen. Außerdem werden die Möglichkeiten künftiger Forschungsarbeit beschrieben.

Eine kurze Zusammenfassung sowie eine in diesem Kontext in Kapitel 7 bilden den Abschluss dieser Masterarbeit.

2 Einführung in die allgemeine Stadtentwicklung mit Fokus auf Wien

Dieses Kapitel liefert einen Einblick in die Stadtentwicklung Wiens, da diese und ihre gesetzlich definierten Rahmenbedingungen für die Optimierung der Platznutzung von Gebäuden und deren Dächern unumgänglich sind. Die Stadt Wien definiert sich selbst Ziele für diese Stadtentwicklung, die im Folgenden kurz erläutert werden.

„Das Leitziel 2050 der Smart City Wien ist daher: beste Lebensqualität für alle Wienerinnen und Wiener bei größtmöglicher Ressourcenschonung. Das gelingt mit umfassenden Innovationen (MA18 2016: 16).“

Beste Lebensqualität bei größtmöglicher Ressourcenschonung kann hier also als übergeordnetes Hauptziel der Stadtentwicklung gesehen werden. Um die Anwendbarkeit dieses Zieles für die vorliegende Arbeit zu gewährleisten, müssen „beste Lebensqualität“ und „größtmögliche Ressourcenschonung“ genauer definiert werden. Eine Steigerung der Lebensqualität ist unter anderem durch Schaffung von mehr Grünflächen möglich (vgl. ASTELL-BURT et al. 2019), Ressourcenschonung durch die Ausnutzung bereits verbauter Flächen und durch Nachverdichtung.

Im Stadtentwicklungsplan 2025 wurde dazu folgendes festgehalten:

„Ziel der Stadterweiterung ist es, zusammenhängende Stadtteile zu schaffen statt grundstücksbezogene Planung durchzuführen. [...] Die Erhaltung und Schaffung qualitätsvoller Frei- und Grünräume ist [...] von existenzieller Notwendigkeit für Erholung, Freizeit und ökologische Diversität. Umfassende Begrünungen von Dächern und Fassaden sowie durch Bäume und Alleen können lindernd auf die Folgen des Klimawandels wirken (MA18 2014: 9).“

Daraus lässt sich also ableiten, dass für die Stadt Wien an sich eine Analyse vorhandener Potentiale auf Grundstücksebene eher zweitrangig ist, außerdem wird die Bedeutung der Schaffung neuer Grünflächen stark betont. Des Weiteren ist im Entwicklungsplan folgendes zu lesen:

„Wien wird [...] durch die Nutzung von Brachflächen, Baulücken, Dachbodenausbauten und Aufstockungen neuen Raum für Wohnen, Gewerbe und Erholung schaffen (MA18 2014: 44).“

Die Stadtverwaltung plant also auch, vorhandene Flächen durch Nachverdichtung zugänglich zu machen und Potentiale bei bestehenden Gebäuden zu nutzen. Eine Analyse der Aufstockungs- und Dachausbaupotentiale ist allerdings noch nicht zugänglich, weshalb sie im Zuge dieser Arbeit durchgeführt werden soll.

Für das gesamte Wiener Stadtgebiet wurde ein „Leitbild zur Siedlungsentwicklung“ (Abb. 1) erstellt, welches unter anderem Gebiete mit Entwicklungspotential für Wohnen und Arbeiten (Gelber/Oranger ausgefüllter Kreis) zeigt. Bei der folgenden Grafik wurde ein

Ausschnitt, welcher den Dritten Bezirk umfasst, ausgewählt, welcher verdeutlicht, dass im Bezirk Landstraße, welcher in dieser Arbeit analysiert wird, vor allem im Süden Entwicklungspotential besteht.



Abb. 1: Siedlungsentwicklung, eigene Bearbeitung (Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung 2014: 67)

Eine große Herausforderung für die Stadtverwaltung stellt die Auffindung und Sicherung zusammenhängender Grundstücksflächen für den Wohnbau in neuen Stadtgebieten dar. Aufstockungen und Dachausbauten können hier besonders große Hilfestellungen sein. (vgl. PRENNER 2015: 18) Neben Neubauten steht auch die Gebäudesanierung im Vordergrund, da eine nachhaltige Stadtentwicklung vorrangig durch Nachverdichtung des Gebäudebestandes, also Aufstockungen und Dachausbauten, erreicht werden kann. (vgl. Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung 2016: 52)

In Zukunft wird es auch notwendig sein, kleinere Flächen zu bebauen und zu verdichten. (vgl. PRENNER 2015: 42) Denn in deutschsprachigen Städten wie Wien stieg der Wohnflächenbedarf von etwa 6 m² pro Kopf im Jahr 1900 auf etwa 40 m² pro Kopf heute und die Haushaltsgröße sank in derselben Zeitspanne von durchschnittlich 8 auf 1,75 Personen. (vgl. TEMEL 2004: 10 f.)

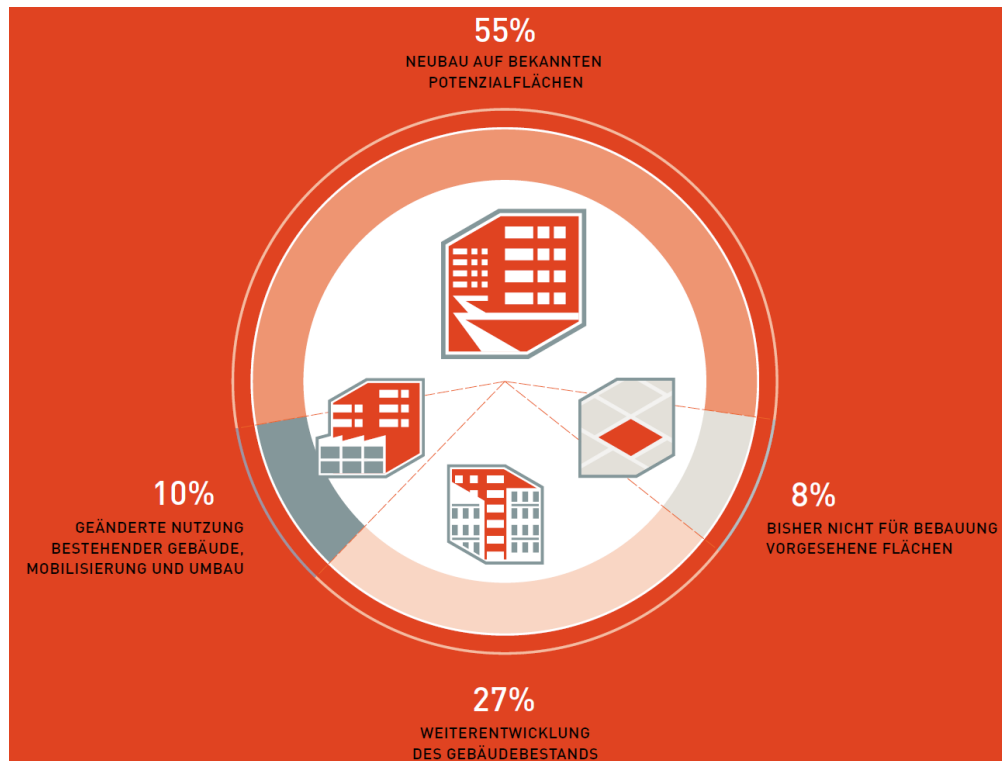


Abb. 2: Herkunftsverteilung der geplanten Wohnungen Wiens von 2014 bis 2025 (Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung 2014: 37)

Die obenstehende Grafik (Abb. 2) veranschaulicht die bis 2025 geplanten Wohnraumschaffungen der Stadtentwicklung Wien und gibt die prozentuelle Verteilung selbiger wider. Aufstockung und Dachausbau können hierbei bis zu 27 % der gesamten Wohnraumschaffung ausmachen, 10 % fallen Nutzungsänderungen von zum Beispiel Industrieflächen zu. Die restlichen 63 % kommen hauptsächlich von Neubauten.

Um eine bestmögliche Ausnützung der Grundflächen, sowohl in der Nachverdichtung als auch im Wohnbau bei neu erschlossenen Flächen, für eine Bebauung zu erreichen, müssen Abstände der einzelnen Gebäude zueinander (z. B. offene, gekuppelte Bauweisen, ...), aber auch Abstände von Nachbargrenzen beachtet werden. (vgl. KIRCHMAYER et al. 2016: 47 ff.) Des Weiteren darf im Wohngebiet und im gemischten Baugebiet bei offener, offener oder gekuppelter, gekuppelter und bei Gruppenbauweise die bebaute Fläche nicht mehr als ein Drittel der Bauplatzfläche sein. Diese Einschränkungen sind aber vor Allem für die Ausnutzung unbebauter Flächen relevant, bei Aufstockung und Dachausbau allerdings nicht.

Grundsätzlich ist bei baulichen Maßnahmen auf die Wahrung des örtlichen Stadtbildes zu achten. (vgl. KIRCHMAYER et al. 2016: 59) Beim Ausbau von Dachgeschossen unter Denkmalschutz stehender Gebäude sind zusätzlich die Bestimmungen des Bundesgesetzes betreffend den Schutz von Denkmälern zu beachten.

„So sind etwa in den Gründerzeitvierteln mit überwiegend dichter Verbauung und eingeschränkter Grünversorgung andere Entwicklungspotentiale und -möglichkeiten

vorstellbar als in Wohngebieten die in den 50er und 60er Jahren entstanden sind (PRENNER 2015: 97).“ Hier spielen, aufgrund von Limitationen durch den Denkmalschutz, vor Allem Dachausbauten eine große Rolle, da Aufstockungen und Dachbegrünungen das Stadtbild negativ beeinflussen könnten. Die Wohnraumschaffung in den zentralen Altstadtbezirken Wiens gestaltet sich aber generell herausfordern, denn:

„Wien ist die Stadt mit dem höchsten Anteil an Gründerzeithäusern in Europa (KIRCHMAYER et al. 2016: V).“

Eine leichte Milderung der Problematik ergibt sich aus Folgendem:

„...in Wien fällt das Weltkulturerbe nicht vollständig unter Denkmalschutz, sondern wird von Schutzzonen gemäß der Wr BauO geschützt.„Die Errichtung von Gebäuden [...] sowie deren Änderung ist nur zulässig, wenn das mit dem Bebauungsplan beabsichtigte örtliche Stadtbild weder gestört noch beeinträchtigt wird.“ (TEMEL 2004: 78).“

Dadurch sind Aufstockungen mit Fassaden im Gründerzeit-Stil und Dachausbauten möglich, wenn auch unter erhöhtem Aufwand für Planung und Bauausführung.

Außerdem wird in Wien für jede neue Wohnung ein verfügbarer PKW-Stellplatz verlangt, weshalb in Erdgeschossen von gründerzeitlichen Häusern immer öfters Garageneinfahrten eingebaut werden müssen. (vgl. TEMEL 2004: 84)

Eine Strategie für ökologisch und ökonomisch nachhaltige Stadtentwicklung ist, neue urbane Landschaften zu schaffen, indem Stadtteile durch Grünzüge verbunden werden. (vgl. KIPAR et al. 2011: 1221) Diese Grünzüge und Grünräume müssen somit Funktionen übernehmen, die in den gegenwärtigen Städten von Straßen und Plätzen erfüllt werden, denn Parkanlagen sind gegenwärtig in sich geschlossene Bereiche einer Stadt. Zu diesen Funktionen zählen Mobilität und unterschiedliche soziale Aktivitäten, wie zum Beispiel Konsum, Kommunikation, Kultur, Freizeitaktivitäten und Handel. Die neuen urbanen Landschaften sollten sich also durch offene Gestaltung, ganztägige Erreichbarkeit, Flexibilität und gute Durchquerbarkeit auszeichnen, zeitgleich aber einen großen Anteil an Grünflächen und Bepflanzungen aufweisen. Alleen wie die Prater Allee sind Beispiele für die gute Umsetzung solcher Grünzüge.

2.1 Aufstockung

Für das Aufstockungspotential müssen die Rahmenbedingungen des Flächenwidmungsplans und der Wiener Bauordnung (BO), sowie allfällige Sonderregelungen für schützenswerte Gebäude beachtet werden. Die Grundlage für das Potential liefert die maximal zulässige Gebäudehöhe, welche im Bebauungsplan durch Bauklassen festgesetzt wird.

Bauklassen: (vgl. WKO 2015: 2)

- I. Gebäudehöhe 2,5 m bis 9 m
- II. Gebäudehöhe 2,5 m bis 12 m
- III. Gebäudehöhe 9 m bis 16 m
- IV. Gebäudehöhe 12 m bis 21 m
- V. Gebäudehöhe 16 m bis 26 m

Die Gebäudehöhe wird von KIRCHMAYER et al. 2016 wie folgt definiert und gemessen:

„Bei Gebäuden an der Baulinie, Straßenfluchtlinie oder Verkehrsfluchtlinie bis zu einer Gebäudetiefe von 15 m gilt als Gebäudehöhe der lotrechte Abstand von der im Bebauungsplan festgesetzten Höhenlage der Verkehrsfläche bis zur obersten Schnittlinie der zulässigen Außenwandfläche der Straßenfront ohne Berücksichtigung vorspringender Gebäudeteile wie Gesimse, Erker udgl mit der Oberfläche des Daches (KIRCHMAYER et al. 2016: 41).“

Die nachfolgende schematische Darstellung zeigt die zulässige Gebäudehöhe nach dieser Definition und die Neigung des Daches (auf welche im nächsten Kapitel näher eingegangen wird).

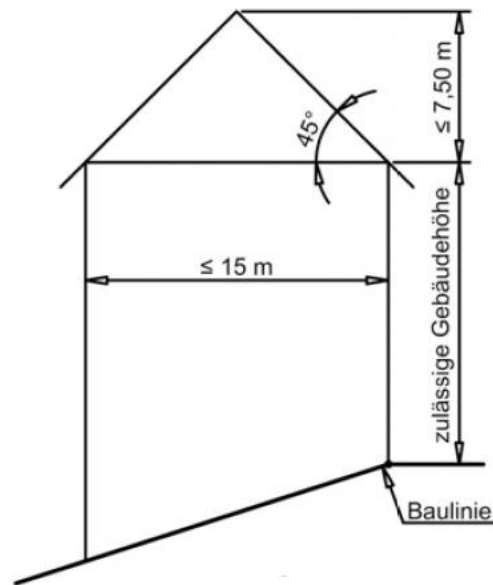


Abb. 3: zulässige Gebäudehöhe (KIRCHMAYER et al. 2016: 42)

Die Stadt Wien stellt den Flächenwidmungs- und Bebauungsplan (FWBP) von Wien und die generalisierte Flächenwidmung Wiens online zum Download bereit. (vgl. MA21 2019b) Die WMTS-Datei „Flächenwidmungs- und Bebauungsplan“ ist eine Zusammenführung der vom Gemeinderat beschlossenen Plandokumente. Aufgrund der Informationsdichte wird der FWBP nur bis zum Maßstab 1:3000 dargestellt, für kleinere Maßstäbe ist nur eine generalisierte Darstellung möglich.

Bei der generalisierten Flächenwidmung werden Flächen in der Darstellung teilweise zusammengefasst und auch die äußeren Grenzen eines Gebäudeblockes werden ohne Erker etc. dargestellt, somit ist nicht nur die Darstellung vereinfacht, sondern dadurch auch der Informationsgehalt geringer.

Für die spätere Analyse wurde der generalisierte Flächenwidmungsplan verwendet und um Details des FWBP ergänzt, da der Flächenwidmungs- und Bebauungsplan von der Stadt Wien nur eingeschränkt und nicht in einem Vektorformat zur Verfügung gestellt wird. Auf die Problematik der Datenverfügbarkeit wird in Kapitel 4.3.1 nochmals genauer eingegangen.

Die Bauklassen sind im FWBP durch römische Zahlen in den jeweiligen Polygonen, im generalisierten Flächenwidmungsplan durch Farbkodierung, abzulesen.



Abb. 4: Vergleich FWBP (links im Bild) und generalisierter FWP (rechts im Bild) (VIENNAGIS 2019a)

Im linken Bild (Abb. 4) ist ein Ausschnitt des Flächenwidmungs- und Bebauungsplans mit allen Details und im rechten Bild die generalisierte Flächenwidmung desselben Gebietes dargestellt.

Tab. 1: Unterschiede FWBP und generalisierter FWP

	<i>Flächenwidmungs- und Bebauungsplan</i>	<i>Generalisierte Flächenwidmung</i>
<i>verfügbare Dateiformate</i>	WMTS	SHP, WFS, KML, PNG, ...
<i>Darstellungsdienst</i>	gekachelte Rasterdaten	Vektordaten oder Rasterdaten
<i>dargestellt werden ...</i>	Flächenwidmungen und Bebauungsbestimmungen (inkl. Schutzzone, Wohnzone, Bausperren)	Flächenwidmungs- und Bebauungspläne in generalisierter Form
<i>Nicht dargestellt werden ...</i>		Bauweise, Bauklasse, gärtnerische Ausgestaltung, (Flucht)linientypen
<i>Kartographische Darstellungsart</i>	Abkürzungen im jeweiligen Polygon	Widmungskategorien durch Farbcodierung ablesbar

2.2 Dachausbauten

„Unter dem Begriff ‚Dachgeschoß‘ versteht die BO also ein über dem letzten Hauptgeschoß gelegenes Nebengeschoß, das vollständig oder zumindest mit Teilen eines Raumes innerhalb des [...] zulässigen Dachumrisses [...] liegt (KIRCHMAYER et al. 2016: 1).“

Als Dachgeschossausbau wird ein Dachboden bezeichnet, wenn dieser für Aufenthaltsräume genutzt wird. Diese dauerhafte Nutzung ist mit baulichen Maßnahmen (Zwischenwänden, Dämmung, Fenster) verbunden. (vgl. KIRCHMAYER et al. 2016: 1 f.)

„Der Ausbau eines Dachgeschoßes wird daher baurechtlich als Zubau zu qualifizieren sein, wenn durch ihn – etwa auch durch ‚Aufklappung‘ des Daches – die Kubatur eines rechtmäßig bestehenden Gebäudes vergrößert wird. (KIRCHMAYER et al. 2016: 2)“

Dachausbauten, wie bereits in der Einleitung erwähnt, ermöglichen einen sehr ökologischen und Platz sparenden Ausbau des Wohnraumangebotes, weshalb sie für zukünftige Stadtentwicklungskonzepte unabdinglich sind. Vor Allem in Neubau-Gegenden und jüngeren Stadtviertel gibt es noch großes Ausbaupotential, denn

„Der Dachgeschoßausbau in Wien konzentriert sich derzeit vor allem auf Gründerzeithäuser in attraktiven innerstädtischen Lagen (BOKU 2017).“

Eine Verlagerung des Dachausbau-Fokus wäre für Wohnraumschaffung nicht uninteressant, da Bauprojekte in Gründerzeit-Vierteln oftmals mit Problemen und Limitationen verbunden sind.

Oft wird unter Berücksichtigung der Wiener Bauordnung (BO) eine Anwendung mit maximaler Kubatur angestrebt. (vgl. TEMEL 2004: 10 ff., 23, 81 ff.) Diese Projekte sind allerdings teilweise fragwürdig, da es dabei oft zu einer „Aufklappung“ der Dachneigung auf die erlaubten 45° kommt. Da die Wiener Gründerzeitdächer nur eine Neigung von 32° bis 37° haben, was im Vergleich zu anderen Städten relativ flach ist, stören solche Aufbauten den Gründerzeit-Stil und stehen oftmals im Widerspruch zur Erhaltung des Stadtbildes. Bei Gründerzeithäusern werden Aufklappungen, Anhebungen in einem gewissen Ausmaß und auch Dachaufbauten (Gauben) erlaubt, jedoch soll ein gründerzeitliches Dach erkennbar bleiben, daher werden andere bauliche Maßnahmen, wie eingeschnittene Terrassen, abgelehnt.

Eine weitere Einschränkung des Dachausbaupotentials ist die Höhe des noch ausbaufähigen Dachgeschosses. Die OIB-Richtlinie 3, welche vom österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) herausgegeben wird, legt eine gesetzlich normierte Raumhöhe fest. Die definierten Raumhöhen für Aufenthaltsräume von Wohnungen sowie Arbeitsräumen müssen mindestens 2,50 m betragen. (vgl. KIRCHMAYER et al. 2016: 118) Bei Dachgeschossen muss diese Mindestraumhöhe von 2,50 m zumindest über der Hälfte der Fußbodenfläche eingehalten werden, Flächen mit einer Raumhöhe von weniger als 1,50 m bleiben bei der Flächenberechnung unberücksichtigt.

Dies bedeutet, dass bis zu 50 % der Grundfläche der Dachwohnungen in Wien also auch über eine geringere Höhe als 2,50 m verfügen können. Eine Analyse des Dachausbaupotentials unter Berücksichtigung dieser zusätzlichen Einschränkungen würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen, weshalb hier lediglich über das Volumen sowie Raumhöhen ab 3 m das Ausbaupotential kalkuliert wird, unter Vernachlässigung der 50 % möglicher Flächen unter 2,50 m Raumhöhe.

2.3 Dachbegrünung

„Eine weitestgehend vergessene Reservefläche in Bezug auf die Schaffung eines verbesserten Lokal- bzw. Mikroklimas ist die Möglichkeit der Dach- und Fassadenbegrünung. Im Besonderen bietet die intensive bzw. extensive Dachbegrünung in der Stadt eine Möglichkeit nicht nur punktuell den stadtklimatischen Effekt zu verringern. Ein positiver thermischer Effekt der Dachbegrünung ist die Minderung von Temperaturextremen. Während sich Kiesdächer ... auf bis zu 80°C aufheizen, weisen begrünte Dächer Oberflächentemperaturen von lediglich 20°C bis 25°C auf (HENNINGER et al. 2017: 478).“

Durch eine Dachbegrünung kommt es einerseits zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur, andererseits aber auch zu einer verbesserten urbanen Luftqualität (vgl. HENNINGER et al. 2017: 479, HÜFING et al. 2009: 7 ff.). Zusätzlich entsteht neuer Lebensraum für Flora und Fauna und die Pflanzen auf dem Dach haben Auswirkung auf die Abflussgeschwindigkeit bei Niederschlagsereignissen. (vgl. VALI 2011: 3 f.) Für die ansässige Bevölkerung bedeutet dies, dass die Energiekosten für die darunterliegenden Wohnungen reduziert und der Wohlfühlfaktor aufgrund der Begrünung erhöht wird.

Die Möglichkeiten zur Nutzung eines Daches gehen weit über eine ausschließliche Begrünung hinaus, unter anderem liefern geeignete Dächer auch Potential für Urban Gardening und Urban Farming, oder, falls keine Begrünung möglich oder erwünscht ist, gibt es auch andere Optionen wie Nutzung geeigneter Dachflächen zur Energieproduktion mittels Photovoltaik-Anlagen.

Um herauszufinden, welche Dächer in Wien prinzipiell zur Begrünung geeignet sind, wurde von der Stadt Wien der Gründachpotentialkataster erstellt. Die genaue Herangehensweise der Entstehung und Auswertung kann in der Literatur von VALI nachgelesen werden. (vgl. VALI 2011)

Bei Dächern mit einer Neigung von 0-5° ist ohne große Schwierigkeiten sowohl eine intensive als auch eine extensive Begrünung möglich. (vgl. MA22 2019a) Eine Intensivbegrünung bezieht sich auf begehbarer Wiesen mit Bäumen etc., also hauptsächlich auf Dachgärten oder Gemüsebeete, während unter Extensivbegrünung eine Begrünung verstanden wird, welche sich weitgehend selbst erhalten kann, denn diese Dächer sind nicht begehbar. Da diese Form der Begrünung andere Anforderungen an die Dächer stellt, wie zum Beispiel Ausbildung eines Wasserkreislaufes und kleinen Ökosystems, ist die

Anzahl geeigneter Dächer geringer. Im Gegensatz zu extensiv begrünten Dächern ist bei intensiv begrünten Dächern Pflege und künstliche Bewässerung notwendig.

Im Musterbezirk Landstraße, welcher für diese Arbeit als Untersuchungsgebiet gewählt wurde, fallen 31,2 % der Gesamtfläche auf Betriebsbaugebiete und Industriegebiete. (VALI 2011: 11 f.) Das absolute Gründachpotential (Beschränkung auf Dachflächen mit 0-5° Neigung) im 3. Bezirk sind 51,2 ha, was im Verhältnis zur gesamten Dachfläche im Bezirk 21,4 % entspricht. Ein höheres Potential ist nur in den äußeren Bezirken (Liesing, Simmering, Favoriten, Donaustadt, Floridsdorf) vorhanden. Baulich-statische Faktoren oder auch rechtliche Bestimmungen (Denkmalschutz, Schutzgebiete, Schutzobjekte) wurden für die Berechnung nicht berücksichtigt.

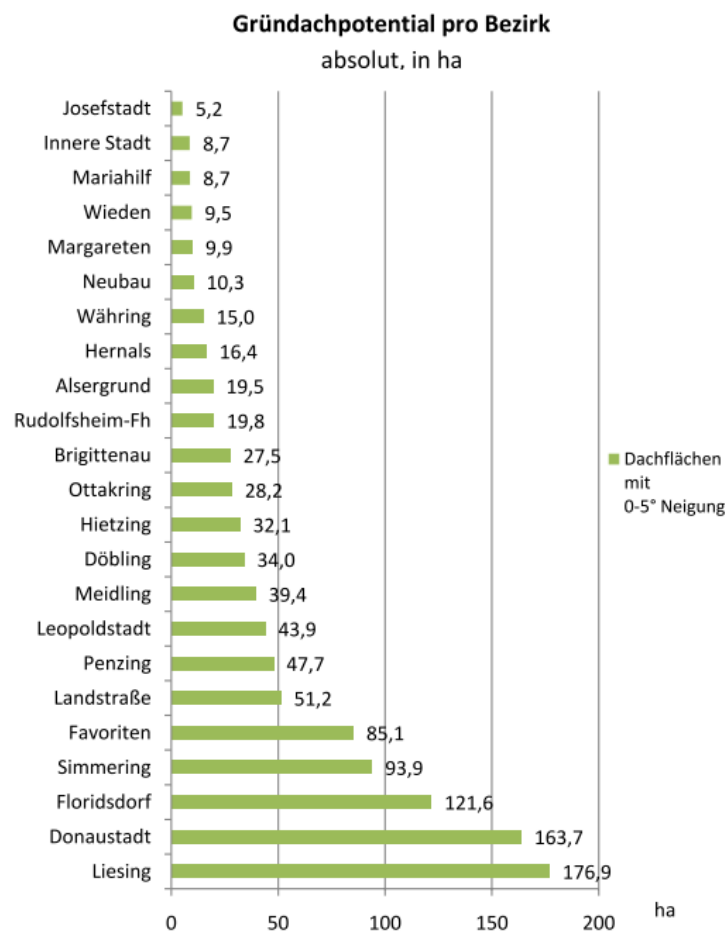


Abb. 5: Gründachpotential pro Bezirk, in ha (VALI 2011: 12)

Ein anderes Projekt der Stadt Wien kam anhand der Berechnung des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) zu dem Ergebnis, dass bereits 10 ha der Dachflächen im 3. Bezirk begrünt sind. (vgl. HOFFERT et al. 2010: 8 ff.) Die Zahl ist allerdings nur als Richtwert zu sehen, da bei der Auswertung drei Schwächen der Datengrundlage nicht vollständig eliminiert werden konnten, nämlich Schattenbereiche, Übershirmungen von Bäumen und Verzerrungen.

„Grünräume werden von den Menschen heute deutlich intensiver und auf vielfältigere Art und Weise genutzt als in der Vergangenheit (MA18 2014: 114).“ In Summe besteht Wien zu über 50 % aus Grünflächen, welche auch zukünftig erhalten bleiben sollen. Da aber, wie bereits erwähnt, auch der Bedarf nach Wohnraum steigt, kann die Verlegung von existierenden Grünflächen auf die Dächer umliegender Gebäude einen guten Kompromiss zwischen Nachverdichtung und Grünraumschaffung darstellen. So könnte beispielsweise ein kleiner Stadtpark zur Schaffung neuer Wohnbauten mit begrünten Flachdächern genutzt werden, wodurch der Wohnraum geschaffen würde, ohne die vorhandenen Grünflächen zu reduzieren.

Warum Grünräume zufrieden machen und diese schlussendlich nicht als eigenes „System in der Stadt“ gesehen werden sollten, wurde von unterschiedlichen Wissenschaftlern erforscht. (vgl. KIPAR et al. 2011; LEHNER et al. 2011: 3, ASTELL-BURT et al. 2019) LEHNER et al. 2011 geht sogar so weit zu sagen, dass zukünftige Grünräume nicht wie gegenwärtige Parkanlagen als Inseln in einer steinernen Stadt, sondern als Entwicklungsachsen nachhaltiger Lebensweisen zwischen Stadtteilen gesehen werden sollen. Unter anderem haben sich auch die nachfolgenden Publikationen mit dieser Thematik beschäftigt.

Eine aktuelle Studie fand heraus, dass sich Bäume in der Stadt positiv auf das seelische Wohlbefinden und die mentale Gesundheit des Menschen auswirken. (vgl. ASTELL-BURT et al. 2019) Die nachstehende Grafik (Abb. 6) verdeutlicht die Wichtigkeit der Grünräume, speziell derer mit einer großen Baumanzahl, für die psychische Stabilität und Gesundheit der Bevölkerung. Auf der X-Achse ist ein Skalenwert nach Kessler für den psychologischen Stress abgebildet, wobei höhere Werte einen höheren Stress bedeuten. Auf der Y-Achse sind die erreichbaren Grünraumarten in % angegeben. Es ist zu erkennen, dass der psychologische Stress niedriger wird, je höher der Anteil erreichbaren Grünraumes ist. Außerdem ist eine Korrelation zwischen dem prozentuellen Wert der Baumüberschirmung des Grünraumes und dem psychologischen Stress erkennbar. Blaue Kreise (Prevalence) symbolisieren die Verbreitung psychologischen Stresses und orange Dreiecke (Incidence) tatsächliche Zahlen von Vorfällen.

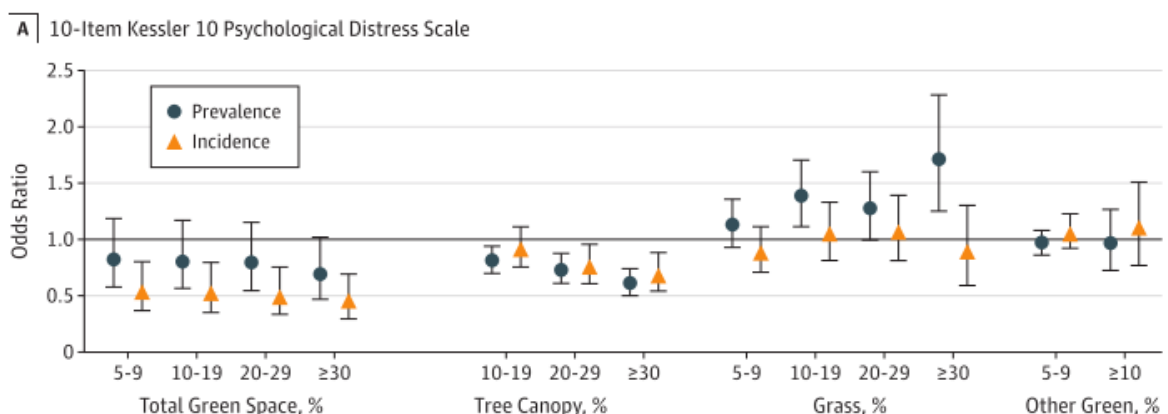


Abb. 6: Zusammenhang Grünraum und Psychische Erkrankungen (ASTELL-BURT et al. 2019: 18)

Die Studie von ROE et al. identifizierte drei unterschiedliche Gesundheitsgruppen und konnte eine Relation zwischen diesen Gruppen und Stressbewältigung herstellen, sowie Zusammenhänge von besagten Gesundheitsgruppen und Zugängen zu städtischen Grünflächen aufzeigen (Abb. 7). (vgl. ROE et al. 2017) Außerdem wurden folgende primäre Motivationen für den Besuch einer Grünfläche erörtert und als Begründung für die durch Grünräume geschaffene Zufriedenheit postuliert:

- Entspannung und Ruhe
- Frische Luft
- Treffpunkt mit Freunden und Familie
- Sport treiben

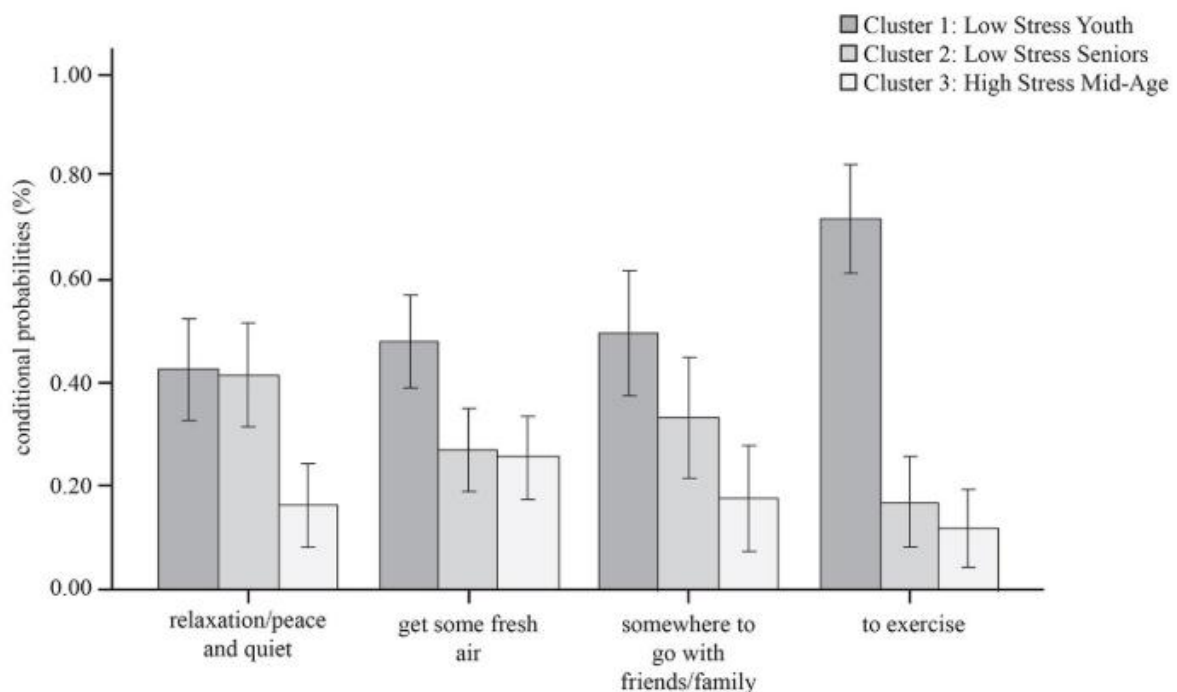


Abb. 7: primäre Motivation für Grünraumbesuch (ROE et al. 2017: 13)

Die Forschungsgruppe um ZHANG et al. kam zu einem ähnlichen Ergebnis und stellte fest, dass die Nachbarschaftszufriedenheit von der Grünraumqualität abhängt und mit dem Wohlbefinden (der generellen Zufriedenheit) verknüpft ist. Daher kann gesagt werden, dass qualitative Grünflächen zu glücklicherer Bevölkerung führen. (vgl. ZHANG et al. 2017: 5) Vorteile und Nutzen, die Grünanlagen in der Nachbarschaft bieten, fördern die

- Lebensqualität,
- Gesundheit,
- Freizeitnutzung,
- soziale Interaktion.

„Researchers and policy makers, therefore, need to pay attention to the quality of the neighborhood green spaces, which may be an important welfare enhancing approach (ZHANG et al. 2017: 8).”

3 Einführung 3D-Stadtmodelle

„3D-Stadtmodelle [...] sind Modellierungen von Stadt- und Landschaftsobjekten in unterschiedlichen Detaillierungs-Stufen (level of detail, LoD), die neben der Geometrie und dem Aussehen auch die Semantik (Bedeutung, Thematik) und die Topologie (Beziehungen, Nachbarschaften) der Objekte beschreiben (COORS et al. 2013: 3).“

Das Haupthindernis zu Beginn der Erstellung erster 3D-Stadtmodelle war das Fehlen von 3D-Stadtdateien. (MOORE 2002: 259 f.) Das traf sowohl auf die Geometrie (z-Koordinate) von Gebäuden als auch auf aufwendig zu erfassenden Attributdaten, welche der Geometrie zugeordnet werden könnten, zu. Der Bedarf dieser Daten führte zur Entwicklung verschiedener Datenerfassungsmethoden. Durch erste automatische Methoden zur Berechnung von Gebäudehöhen aus Luftbildern konnten diese Höheninformationen leichter verfügbar gemacht werden. Für eine dreidimensionale Darstellung sind also x-, y-, z-Koordinaten für das entsprechende Gebiet notwendig. (vgl. BILL 2016: 11 ff.)

„Durch die rasante Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie durch Fortschritte in der (semi-)automatischen Datenerfassung ist es möglich geworden, urbane Geodaten in ihrer dreidimensionalen Ausdehnung zu erfassen und somit ein virtuelles Abbild der realen Welt in digitaler Form zur Verfügung zu stellen (COORS et al. 2016: 13).“

Lange Zeit konzentrierte sich die Geoinformatik ausschließlich auf die 2D-Ebene (x-,y-Koordinaten), was hier nochmals verdeutlicht wird:

„Models of buildings by floor have been handled as ‘layers’, i.e. 2D slices across the city (MOORE 2002: 258).“

Zusätzlich zu den oben erwähnten 2D-, und 3D-Ebene gibt es noch die sogenannten 2,5D- und 4D-Präsentationsmöglichkeiten. Bei einem 2,5D-Datenmodell ist die dritte Dimension nur als Attribut der zweidimensional modellierten Objekte verfügbar. (vgl. BILL 2016: 12 f.) Dies trifft z.B. auf das Baukörpermodell der Stadt Wien zu, da für eine räumliche Darstellung die Gebäudegrundrisse um ein bestimmtes Attribut der Höheninformation extrudiert werden müssen.

In der Stadtplanung gibt es bereits einige Pionierarbeiten auf 4D-Ebene (Tab. 2), insbesondere wenn es um umweltrelevante Sachverhalte geht. Konkret heißt das, thematische 3D-Darstellungen um eine zeitliche Komponente zu erweitern. (vgl. SCHAEFEN et al. 2003: 174 ff.) Bei der beispielhaften Annahme, dass sich sowohl Gebäudebestände als auch naturwissenschaftliche Aspekte der Erde im Laufe der Zeit verändern, ist es naheliegend, dass 4D- bzw. sogar 5D- (drei räumliche und zwei zeitliche Koordinaten) Modelle interessante potentielle Entwicklungsmöglichkeiten bieten. Die nachfolgende Tabelle (Tab. 2) fasst die Dimensionen von Geodaten, welche für die Modellierung in der Geoinformation relevant sind, zusammen.

Tab. 2: Dimensionen von Geodaten (vgl. SCHAE BEN et al. 2003: 174 ff.)

<i>Dimensionen</i>	<i>Bekannte Parameter</i>
2D	x-, y-Koordinate
2,5D	x-, y-Koordinate und Attribut Höhe
3D	x-, y-, z-Koordinate
4D	x-, y-, z-Koordinate und Zeit
5D/nD	x-, y-, z-Koordinate und Zeit (2- bzw. n-mal)

Viele Gemeinden und Städte verfügen über 3D-Gebäudemodelle und einige von diesen beschäftigen sich schon seit vielen Jahren mit der Weiterentwicklung und Verbesserung dieser 3D-Modelle. (vgl. COORS et al. 2016: 408) Die Datenbeschaffung für die Erstellung von LOD2-Modellen ist und war je nach Stadt unterschiedlich. So generierten einige Städte ihr LOD2-Modell aus Laserscandaten, andere verwendeten photogrammetrische Verfahren für die Modellierung von LOD2-Dächern. Für großflächiges Texturieren der Gebäude wurden Luftbilder oder Schrägluftbilder herangezogen.

Als Grundlage für flächendeckende Gebäudemodelle werden die entsprechenden Gebäudehöhen benötigt. (vgl. COORS et al. 2016: 21 f.) Diese Information musste lange Zeit aus dem Liegenschaftskataster aus Stockwerkszahl und Stockwerkshöhe herausgelesen werden. Seit einigen Jahren werden luftgestützte Laserscans (Airborne Laserscanning ALS) durchgeführt, aufgrund welcher flächendeckende 3D-Modelle einfacher verwirklicht werden können.

3.1 Erstellungsprozess eines 3D-Stadtmodells am Beispiel Wien

Bis zum endgültigen, optisch ansprechenden 3D-Stadtmodell sind einige Prozesse bei der Erstellung zu durchlaufen. Zuerst muss eine Datei über überwiegend generalisierte Grundrisse der abzubildenden Gebäude vorhanden sein. Bei dieser Vereinfachung der Grundrisse werden meist Gebäudeerker etc. entfernt, um möglichst einfache Polygone für die Darstellung zu erhalten. Der dreidimensionale Körper wird durch Extrusion des zweidimensionalen Gebäudegrundrisses entlang der Z-Achse um einen bestimmten Wert (die Gebäudehöhe) erstellt.

Das dreidimensionale Stadtmodell von Wien besteht aus folgenden Komponenten: (vgl. MA41 2019a)

- Digitales Geländemodell (DGM): Erstellung durch geländerelevante Punkte und Linien der Mehrzweckkarte (MZK) und Laserscandaten.
- Flächen-Merzweckkarte (FMZK): Entsteht auf Basis der Linienelemente der MZK.

- Baukörpermodell (BKM): Die Grundrisse der Gebäudeteilflächen stammen aus der FMZK. Diese Grundrisse werden entsprechend ihrer Höhe extrudiert, welche durch Luftbildauswertungen bestimmt wird und die einzelnen Baukörper des BKMs werden am DGM platziert.
- Dachmodell
 - Generalisiertes Dachmodell (LOD2): Prototypische Dachformen werden den Grundrissen in der FMZK und dem Oberflächenmodell (Erfassung durch Airborne Laserscanning) halbautomatisch zugeordnet.
 - Detailliertes Dachmodell (LOD3): Entstehung durch photogrammetrische Auswertung. (Existiert nicht flächendeckend über Wien und wird daher nur projektbezogen erstellt.)



Abb. 8: Ausschnitt Stadtplan 3D, Schloss Belvedere (MA41 2019d)

Für die durchgeführte Praxis sind das Baukörpermodell (BKM) und das generalisierte Dachmodell (LOD2) vom 3D-Stadtplan relevant. Für das Aufstockungspotential wurden BKM und für die potentiellen Dachausbauten LOD2 verwendet (Kapitel 5).

3.2 Detailgrad von Modellen: Level of Detail (LOD)

Für die Analyse ganzer Stadtgebiete ist ein geringerer Detaillierungsgrad sinnvoll, als für die Darstellung von Einzelgebäuden, da eine geringere Detailmenge auch kürzere Rechen- und Darstellungszeiten bedingt. (vgl. COORS et al. 2016: 69 ff., 167, KOLBE et al. 2005: 4 f.) Außerdem können LOD1 und LOD2 derzeit vollautomatisch generiert werden. Daten für höhere Detailstufen müssen für jedes Gebäude separat erhoben werden. Oft werden besondere Gebäude in einem Stadtmodell ausmodelliert und normale Gebäude bleiben schlicht dargestellt.

LOD0 Die Ausdehnung der Objekte auf der Geländeoberfläche wird abgebildet, wodurch die Lage von Objekten sehr einfach visualisiert werden kann. LOD0 ist im Wesentlichen ein 2,5 D-Geländemodell mit einer Luftbildtextur.

LOD1 Objekte werden in einfachen Geometrien abgebildet, das sogenannte „Klötzchenmodell“, entspricht dem Baukörpermodell der Stadt Wien. Werden die Gebäude um ein Luftbild als Textur erweitert, dann entsteht bereits ein realitätsnaher Eindruck. Für Ausbreitungsanalysen oder Planungsszenarien ist das LOD1-Modell bereits geeignet.

LOD2 Gebäude erhalten Dächer möglichst angenähert an ihre reale Form, mithilfe von standardisierten Dachformen. Erker, Vorsprünge, Dachgauben und Türmchen können in die LOD2-Geometrien des Gebäudes eingearbeitet und geometrisch modelliert werden.

LOD3 Diese Modelle, auch als Architekturmodelle bekannt, sind sehr realitätsnah und gut geeignet für Objektplanungen, denn Gebäude erhalten bereits Türen, Fenster, Schornsteine oder Balkone. Diese Detailstufe findet gegenwärtig erst in kleinen Ausschnitten Anwendung, ganze Stadtmodelle gibt es noch nicht.

LOD4 Das LOD4 vervollständigt das LOD3, indem die Gebäude auch Innen modelliert werden, um etwa Fluchtwege und Einrichtungen zu planen.

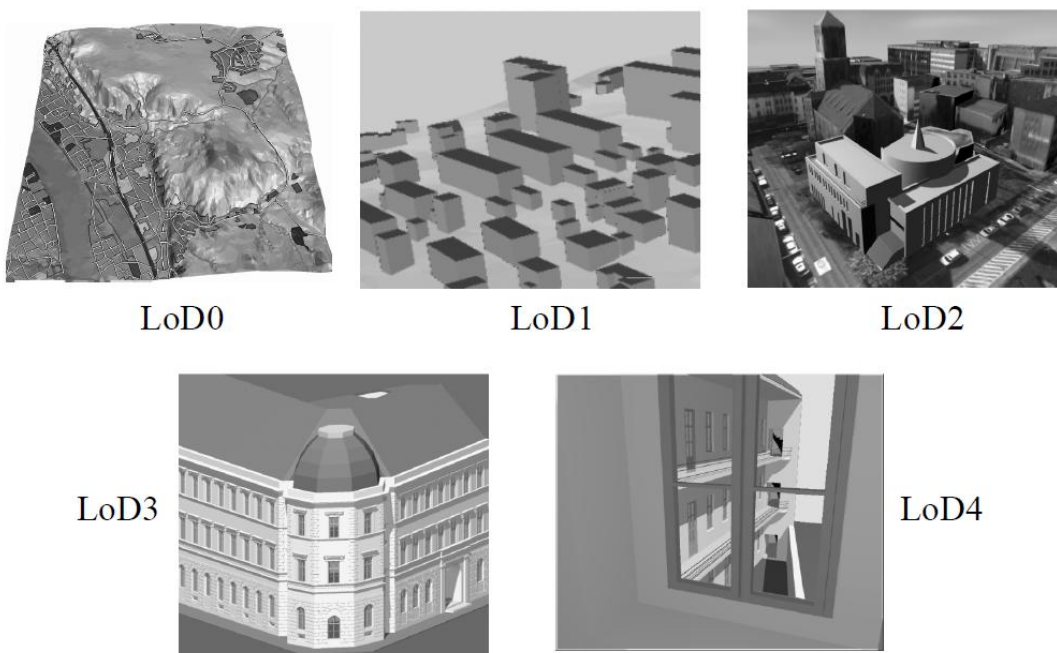


Abb. 9: Level of Detail (KOLBE et al. 2005: 5)

3.3 Anwendungsbereiche für 3D-Modelle

“Virtual 3D city models provide important information for different aspects of disaster management. First, they memorize the shape and configuration of a city. In case of severe destruction of infrastructure e.g. caused by earthquakes, immediate access to this reference data allows to quickly assess the extent of the damage, to guide helpers and last but not least to rebuild the damaged sites. Second, 3D city models enable 3D visualizations and facilitate localization in indoor and outdoor navigation. Augmented reality systems provide helpers with information that is visually overlaid with their view of the real world. Such systems need 3D city models in order to compute the positions and occlusions of the overlay graphics. Third, 3D escape routes inside and outside of buildings can be determined with an appropriate city model. Fourth, in flooding scenarios 3D city models allow to identify even affected building storeys (KOLBE et al. 2005: 1).”

Diese von KOLBE et al. umfangreiche beschriebene Anwendung im Katastrophenmanagement zeigt die Wichtigkeit von 3D-Stadtmodellen in der Stadtplanung. Der wichtigste „Anwendungsbereich“ ist die Stadtplanung selbst, gefolgt von den Bereichen Umweltschutz, Tourismus und Verkehrsplanung. (vgl. COORS et al. 2016: 25 f.)

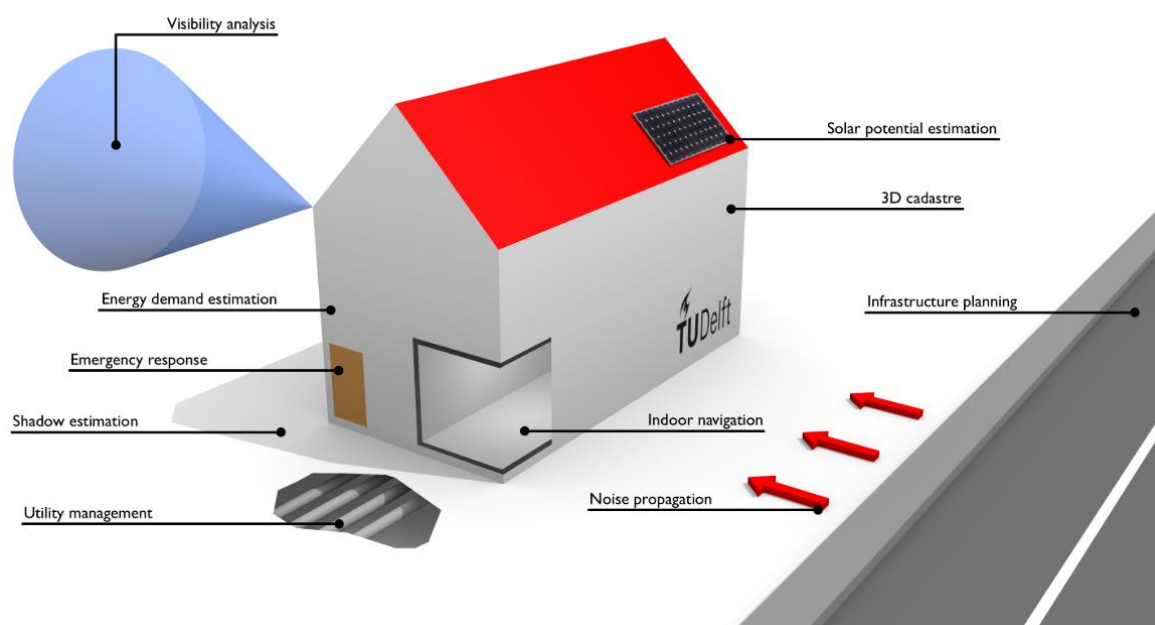


Abb. 10: Anwendungsbereiche für 3D-Modelle (BILJECKI et al. 2015: 2843)

3D-Modelle finden Anwendung in der Stadtplanung in Form von Sichtbarkeitsanalysen, Solarpotentialanalysen, Wärmebedarfskarten oder Luftschadstoffprognosen. (vgl. COORS et al. 2016: 367 f.) Die Anwendung von 3D-Modellen ist vielfältig, so zeigt die Grafik (Abb. 10) zusätzlich noch weitere Bereiche wie Notfallvorsorge, Indoor-Navigation, Schattenwurfanalyse, Netzdokumentation, 3D-Kataster, Lärmausbreitung oder Infrastrukturplanung. (vgl. BILJECKI et al. 2015, COORS et al. 2013) Auch Beleuchtungssimulationen spielen bei der nächtlichen Beleuchtung von Sehenswürdigkeiten oder Fußgängerzonen eine Rolle.

Bei der Planung von neuen Gebäuden kommen meist Sichtbarkeitsanalysen (Von wo aus wird das Gebäude sichtbar sein? Welches Fenster im neuen Gebäude hat den besten Ausblick?), aber auch Schattenanalysen, vor allem bei der Planung von Windenergieanlagen (Tages- und Jahreszeiten werden berücksichtigt), zur Anwendung. (vgl. COORS et al. 2013: 5 ff.)

In dem Literatur-Review von BILJECKI et al. sind 29 Anwendungsgebiete definiert, welche in zwei Gruppen unterteilt werden können. Manche Anwendungen kommen ohne Visualisierung aus, andere brauchen die 3D-Präsentation für das Verständnis der Ergebnisse. (vgl. COORS et al. 2016: 369) Als Beispiel kann hier die Solarpotentialanalyse angeführt werden, welche auch ohne 3D-Darstellung aussagekräftig ist. Im Gegensatz dazu sind 3D-Objekte für eine Sichtbarkeitsanalyse essentiell.

Tab. 3: Notwendigkeit der 3D-Visualisierung nach Anwendung (COORS et al. 2016: 369)

<i>3D-Visualisierung notwendig</i>	<i>3D-Visualisierung nicht notwendig</i>
Sichtbarkeitsanalyse	Solarpotentialanalyse
Geovisualisierung	Energiebedarfsschätzung
Schattenwurfanalyse	Lokalisierungsunterstützung
Stadtplanung	Nutzraumkalkulation
Lärmausbreitungsanalyse	Gebäudeklassifizierung
Archäologie	

3.4 Visualisierung von 3D-Stadtmodellen

Viele Regionen und Bundesländer verfügen bereits über 3D-Stadt- und Landschaftsmodelle oder es wird am Aufbau dieser Modelle gearbeitet. (vgl. COORS et al. 2016: 21 ff.) Nicht nur Städte und Kommunen arbeiten daran, sondern auch Unternehmen der freien Marktwirtschaft. Staatlich erstellte Modelle sind teilweise frei verfügbar und über das Internet aufrufbar oder als Open Data downloadbar. Ein Format zur Verteilung der Daten ist CityGML, auf welches im Kapitel 4.1.1 näher eingegangen wird.

Da CityGML aber sehr viel Informationen enthält und somit auch einen hohen Anspruch an die PC-Leistung und Viewer-Anwendungen hat, kann CityGML bisher nur von Fachleuten genutzt werden und die Suche nach optimalen Viewerslösungen für das breite Publikum geht weiter. (vgl. COORS et al. 2016: 23) Lange Zeit wurden 3D-Stadtmodelle für jeden frei verfügbar gemacht, indem CityGML-Modelle in KML (Keyhole Markup Language) konvertiert wurden, um über den altbekannten digitalen Globus Google Earth visualisiert zu werden. (vgl. COORS et al. 2016: 319)

Seit einigen Jahren wird immer häufiger WebGL (Web Graphics Library) für die direkte Website-Einbindung und hardwarebeschleunigte Darstellung von 3D-Modellen verwendet.

(vgl. COORS et al. 2016: 319) Entweder wird die Visualisierung direkt mit WebGL, einer 3D-Grafik-Programmierschnittstelle für JavaScript, umgesetzt oder eine JavaScript-Bibliothek (z.B. ThreeJS, X3DOM, CesiumJS) wird genutzt.

Im Jahr 2011 wurde WebGL entwickelt, Esri entwickelte seine Adaption für ArcGIS 2013. (vgl. ANDREWS et al. 2019) Esri bzw. ArcGIS baut bei der eigenen webbasierten Visualisierung direkt auf WebGL auf:

„WebGL (Web Graphics Library) is a JavaScript API that uses the graphics card (GPU) of your computer to display 2D or 3D graphics. WebGL is already used to render data in 3D SceneViews (EKENES 2017).”

“A SceneView displays a 3D view of a Map or WebScene instance using WebGL (ESRI 2019f).”

Auch auf 2D-Ebene werden bereits VectorTileLayer im MapView mit WebGL gerendert und seit kurzem auch Feature Layers. (vgl. EKENES 2017) WebGL hat hierbei den Vorteil, dass Rendern schneller abgeschlossen ist und zusätzlich mehr Daten in einer Ansicht angezeigt werden können.

Für die Ergebnisdarstellung der praktischen Durchführung ist die Präsentation als 3D-Modell für das Aufstockungspotential und Dachausbaupotential relevant, für das Gründach nicht zwingend notwendig, allerdings ist durch die 3D-Darstellung zu sehen, bei welchen Dächern es sich um Flachdächer handelt. Eine webbasierte Darstellung erfolgte im Zuge dieser Arbeit nicht, jedoch ist dies, wie die Literatur soeben beschrieben hat, als SceneView möglich. Hierfür müsste zuerst eine lokale Szene in ArcGIS Pro erstellt werden, die anschließend als Web Scene auf ArcGIS Online geladen und von dort schlussendlich mit anderen Personen geteilt werden kann.

4 Datengrundlagen und Datenformate

Für die Analysen wurden zum Großteil frei verfügbare Daten der Stadt Wien verwendet. Die Stadt Wien bietet im Rahmen des Open Government Data Portals Geodaten in vielen unterschiedlichen Dateiformaten, welche direkt heruntergeladen oder über Live-Zugriff auf die Datenserver der Stadt Wien durch die ESRI Software bezogen werden können. Die OGD-Daten der Stadt Wien stehen unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 Lizenz (CC BY 4.0), dies bedeutet, die Daten dürfen bearbeitet, geteilt oder kommerziell genutzt werden, allerdings muss der Urheber genannt werden. (vgl. STADTWIEN 2019b) Die verwendeten Daten, falls nicht anders angegeben, stammen von Open Data Österreich: „Datenquelle: Stadt Wien – data.wien.gv.at“ oder dem „Geodatenviewer der Stadtvermessung Wien“ unter <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/>.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden Datenformate, welche für die Erstellung eines Stadtmodells von Bedeutung sein können, aufgezeigt und kurz erläutert. Speziell die unterschiedlichen Dateiformate, auf 2D- und 3D-Ebene, welche für die Durchführung der Praxis von Relevanz waren, werden näher beleuchtet.

4.1 Vektorbasierte 3D-Datenformate – Standards für Gebäudemodelle

Das generalisierte Dachmodell (LOD2) der Stadt Wien kann über den Geodatenviewer als CityGML- oder DXF-Format bezogen werden. Für die Analyse in ArcGIS Pro wurde somit das City-GML-Format für den Dritten Bezirk heruntergeladen.

4.1.1 GML

Geographic Markup Language (GML) ist eine XML-basierte (Extensible Markup Language) Auszeichnungssprache für Modellierung, Austausch und Speicherung von geographischen Informationen, wie zum Beispiel Geometrie, Koordinaten, Zeit oder Attribute unterschiedlicher geographischen Objekte. (vgl. KRESSE et al. 2004: 177 ff., MATHIAK et al. 2005: 24 f.) In GML gibt es fünf geometrische Datentypen:

- Punkt (Point),
- Linie (Line),
- Rechteck (Box),
- geschlossener Linienzug (LinearRing) und
- Polygon (Polygon).

XML wiederum ist eine Auszeichnungssprache, welche in Form einer Textdatei hierarchisch kategorisierte Daten und Informationen speichert. (vgl. MATHIAK et al. 2005:

24 f.) Spezielle Sprachen, die auf der Trägersprache XML aufbauen, werden durch die enorme Internetpräsenz in vielen Lebenslagen immer interessanter. GML ist nur eine dieser Sprachen, welche Geodaten und Karten im Web präsentiert.

„XML describes a class of data objects stored on computers and partially describes the behavior of programs which process these objects. Such objects are called XML documents (FARSI 1999: 436).“

Übersetzt bedeutet diese XML Definition, dass eine XML Datei, zusätzlich zur oben erläuterten Definition, auch das Verhalten von XML-verarbeitenden Programmen beschreibt.

Web Services sind ein gutes Beispiel für XML-basierte Kommunikation von Maschine zu Maschine. (vgl. SCHÖNING 2003: 121 f.) Daten im XML-Format behalten ihre Semantik welche für die Weiterverarbeitung und den Datenaustausch zwischen Programmen eine hohe Relevanz hat. Als Semantik ist im geoinformatischen Kontext die Bedeutung eines Objektes zu verstehen, also die Informationen, die über die Geometrie hinausgehen. In ArcGis wird die Semantik eines Objektes meist als Attribute dargestellt, wobei sie nicht darauf beschränkt ist, da sie auch die Bedeutung eines Objektes im geographischen Kontext umfasst. Allerdings beinhalten XML-Dokumente keine Informationen über die Darstellung der Daten. (vgl. FARSI 1999: 438)

Dadurch sind sowohl XML als auch GML maschinell wie vom Menschen lesbar und können in Textbearbeitungsprogrammen angezeigt und bearbeitet werden (vgl. Schöning 2003:121)

4.1.1.1 CityGML

Für bestimmte Zwecke bzw. Anwendungsbereiche gibt es GML Spezialisierungen, so entspricht CityGML dieser Spezialisierung für Gebäudemodelle. (vgl. COORS et al. 2016: 17) CityGML bietet mehr als derzeit mit Stadtmodellen umgesetzt wird, da bei Ausnutzung des vollen Potentials nicht nur Gebäude abgebildet werden könnten, sondern die gesamte uns umgebenden Welt dreidimensional dargestellt werden kann. Hierfür gibt es Module für Gewässer, Vegetation, Straßen, Brücken, Tunnel, Straßenlaternen und vieles mehr.

“CityGML is an open data model and XML-based format for the storage and exchange of virtual 3D city models. [...] The aim of the development of CityGML is to reach a common definition of the basic entities, attributes, and relations of a 3D city model. This is especially important with respect to the cost-effective sustainable maintenance of 3D city models, allowing the reuse of the same data in different application fields (OGC 2019).“

Übersetzt bedeutet diese CityGML Definition:

„CityGML ist ein auf frei verfügbaren Daten und XML-basiertes Dateiformat zwecks Speicherung und Austausch von 3D-Stadtmodellen. [...] Das Ziel der Entwicklung von CityGML ist eine allgemeine Definition der Grundentitäten, Attributen und Verhältnissen eines 3D-Stadtmodelles. Dies ist besonders für die kosteneffiziente, nachhaltige

Instandhaltung von 3D-Stadtmodellen wichtig, wodurch eine Wiederverwendung derselben Daten in unterschiedlichen Anwendungsgebieten ermöglicht wird (OGC 2019).“

Die Special Interest Group 3D (SIG 3D) hat den CityGML Standard für dreidimensionale Stadtmodelle erarbeitet und im Jahr 2008 wurde CityGML als internationaler Standard vom Open Geospatial Consortium (OGC) verabschiedet. (vgl. SIG3D 2019) OGC-Standards können im Gegensatz zu ISO-Standards kostenfrei heruntergeladen werden. (vgl. COORS et al. 2016: 13 ff.)

Eine einfache Definition von CityGML bieten NAGEL et al. 2007:

„CityGML ist ein Datenmodell für die Darstellung und den Austausch von semantischen 3D-Stadtmodellen (NAGEL et al. 2007: 152).“

Stadtmodelle finden, wie bereits in Kapitel 3.3 erwähnt, vor allem in Präsentation, Planung und Simulation, also dort, wo die dritte Dimension eine Rolle spielt und Darstellungen in drei Ebenen das Verständnis eines Sachverhaltes erleichtern, Anwendung (z. B. Planung Telekommunikationsnetze, Simulation von Hochwasserereignissen, Prognose Lärm- und Schadstoffimmissionen, Katastrophenschutz).

Der CityGML-Import des generalisierten Dachmodells (LOD2) wird im praktischen Teil der Arbeit näher beschrieben (Kapitel 5.3.1).

4.1.1.2 3D-Datenformat: generalisiertes Dachmodell (GML)

Das generalisierte Dachmodell (LOD2) der Stadt Wien gibt es, wie bereits erwähnt, in zwei Formaten (CityGML, DXF), für die Praxis wurde das CityGML-Format geladen und in ArcGIS Pro eingespeist. (vgl. MA41 2019b) Definition zu GML siehe Kapitel 4.1.1 und Informationen über den Level of Detail des Dachmodells siehe Kapitel 3.2.

Der Datensatz verfügt über Attribute zur Dachneigung und Dachorientierung, wodurch südlich orientierte Dachteile oder auch Flachdächer ausfindig gemacht werden können. Jeder Gebäudeteil verfügt über einen eindeutigen Adresscode, über den einzelne Gebäude als Ganzes angesprochen werden können. Die GML-Datei besteht bei Import in ArcGIS aus fünf unterschiedlichen Feature Classes (WallSurface, RoofSurface, GroundSurface, BuildingPart, Building) und zwei Tabellen.

Für die Praxis verwendete Feature Classes der GML-Datei:

RoofSurface

GroundSurface

4.1.1.3 Alternativen zu CityGML: KML, IFC

Neben CityGML gibt es auch noch andere Standards für Gebäudemodelle, näher erläutert werden Keyhole Markup Language (KML) und Industrial Foundation Classes (IFC). (vgl. COORS et al. 2016: 20 f.), aber auch die 3D-Formate, welche in ArcGIS Pro direkt eingespeist werden können (Kapitel 4.1.2).

Durch den häufigeren Einsatz von virtuellen Globen ist KML als Format für die Visualisierung dreidimensionaler Geodaten Standard geworden. KML wurde durch Google Earth bekannt, wird allerdings auch von anderen digitalen Globen wie Cesium unterstützt. Das Datenformat KML ist im Gegensatz zu CityGML ein rein grafisches Austauschformat, dient also vorrangig der Visualisierung, denn es transportiert keine Semantik der Objekte. (vgl. NAGEL et al. 2007: 162)

Bei IFC handelt es sich um eine standardisierte Beschreibung von Gebäudemodellen. Dieser Standard findet vor allem im Bauwesen Anwendung, wo ein gesamter Lebenszyklus eines Gebäudes von der Planung bis zum Abriss erstellt werden kann. (vgl. NAGEL et al. 2007: 155) Bisherige Formate wie DXF (Drawing Interchange File Format) können zwar die graphische Darstellung liefern, allerdings können diese Formate nicht die Vielfalt der Gebäudemodellinformationen übertragen. (vgl. LINGNER 2018, NAGEL et al. 2007: 155)

Der Detaillierungsgrad von IFC-Modellen ist weitaus höher als der von CityGML-Gebäudemodellen, allerdings ist der Schwerpunkt auch ein anderer. (vgl. COORS et al. 2016: 21) So liefert IFC detailreiche Modelle von einzelnen Gebäuden und CityGML eignet sich für die Modellierung ganzer Städte und für unterschiedliche Analysen eines umfangreichen Gebäudebestandes.

4.1.2 Weitere 3D Datenformate

In ArcGIS Pro können folgende 3D Formate direkt über das Geoprocessing Tool „Import 3D Files“, welches sich in der 3D Analyst Toolbox befindet, importiert werden:

- Collada (.dae)
- 3D Studio Max (.3ds)
- VRML oder GeoVRML (.wrl)
- OpenFlight (.flt)
- Wavefront Object-Modell (.obj)

COLLADA (.dae), COLLABorative Design Activity, ist ein offen lizenziertes Dateiformat auf XML Basis, welches zur einfachen und verlustfreien Übertragung dreidimensionaler Daten zwischen unterschiedlichen Anwendungen dienen soll. Es verfügt über ein lokales Koordinatensystem, welches für geographische Anwendungen erst in ein definiertes Koordinatensystem überführt werden muss. COLLADA wird überwiegend für dreidimensionale Grafikdarstellungen zur Video- und Spielproduktion eingesetzt. (vgl. BARNES 2006)

3D Studio MAX (.3ds) wurde von Autodesk entwickelt und ist eine „Software für Modellierung und Rendering in 3D für Designvisualisierungen, Games und Animation“. Das Software-eigene Dateiformat .3ds enthält hauptsächlich Geometrie-Informationen

sowie ein lokales Koordinatensystem. Allerdings handelt es sich hierbei um binäre Dateien, weshalb sie nur maschinell gelesen werden können. (vgl. AUTODESK 2019)

Virtual Reality Modeling Language (.wrl) ist ein Text-basiertes Dateiformat zur Beschreibung interaktiver 3D-Objekte und Welten. Es wurde speziell für die Anwendung im Internet entwickelt und verfügt über ein lokales Koordinatensystem. (vgl. CAREY et al. 1997: 1 ff.) Die Erweiterung der VRML zur GeoVRML verläuft über die Zuweisung von Knotenpunkten, über die das lokale kartesische Koordinatensystem an ein geographisches Koordinatensystem (vgl. RHYNE 1999: 441).

Wavefront Object (.obj) wurde 1989 von Wavefront entwickelt und dient dem offenen Austausch dreidimensionaler Darstellungen im Bereich der Animationen. Es ist im ASCII Format geschrieben, also für Mensch und Maschine lesbar, und verfügt ebenfalls nur über ein lokales Koordinatensystem. (vgl. MURRAY et al. 1996: 946 ff.)

Open Flight (.flt) ist ein binäres Dateiformat, welches von der Software „Creator“ verwendet wird. Es enthält die Geometrie diverser dreidimensionaler Objekte und ein lokales Koordinatensystem. Aufgrund seiner langjährigen Existenz und der einfachen Austauschbarkeit der Daten ist es eines der am häufigsten verwendeten Datenformate für Flugsimulatoren und wird sogar von der NASA verwendet. (vgl. PRESAGIS 2018: 17 ff.)

“Der Informationsgehalt eines 3D-Stadtmodells beschrieben in CityGML geht folglich weit über rein grafische Datenformate wie VRML oder X3D hinaus (NAGEL et al. 2007: 153).“

Keines der Formate verfügt über ein definiertes Koordinatensystem, mit Ausnahme des GeoVRML-Formates. (vgl. ESRI 2019a) Von den hier vorgestellten weiteren 3D-Formaten fand keines Anwendung im praktischen Teil der vorliegenden Arbeit, jedoch sollte hiermit ein Teil des weiten Spektrums der dreidimensionalen Darstellung und Datenverarbeitung aufgezeigt werden.

4.2 Vektorbasierte ESRI Datenformate

4.2.1 3D - Multipatch

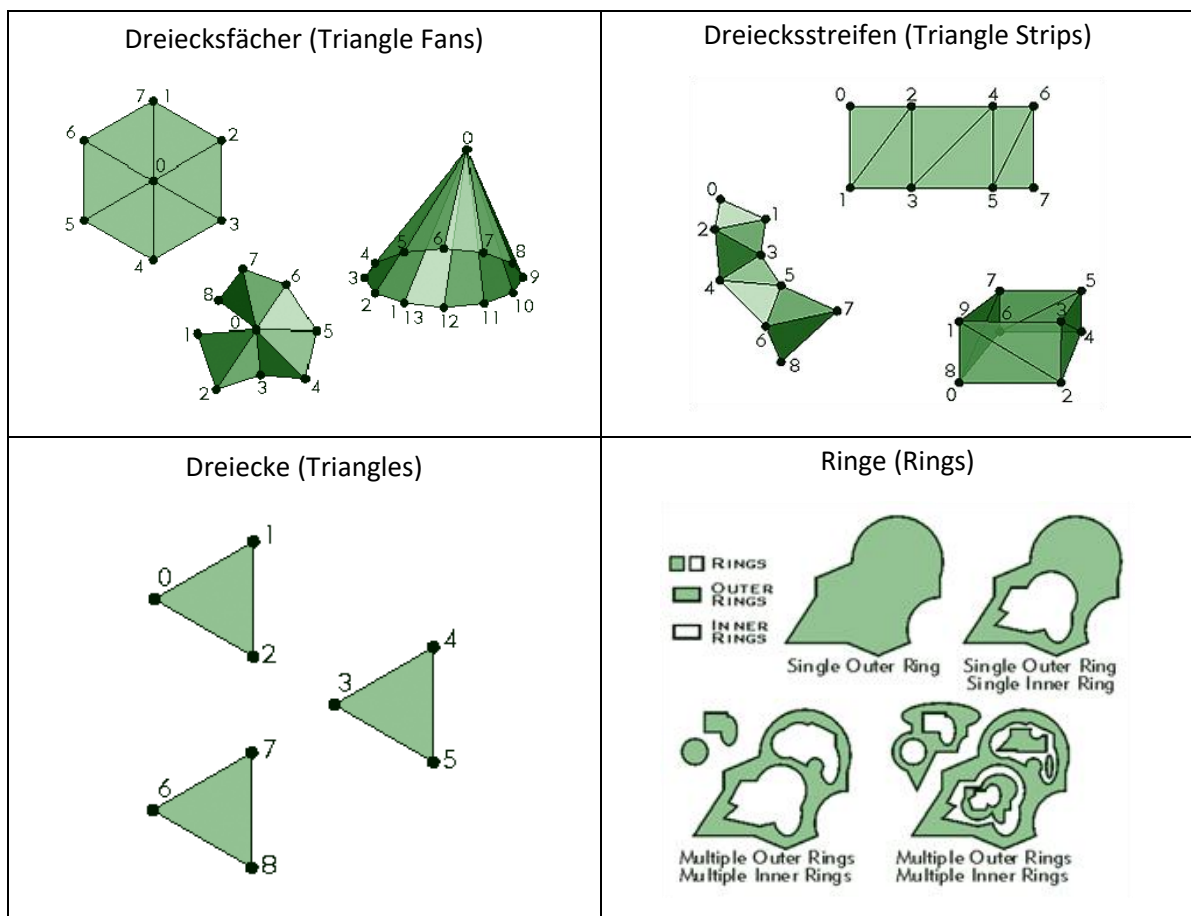
Das Multipatch-Dateiformat wurde von ESRI im Jahr 1997 entwickelt und wird für die Darstellung von 3D-Objekten verwendet. (ESRI 2012: 1)

„Generally, when we talk about 3D data, we mean 2.5 D data. Rasters, TINs, and terrains are surfaces that store exactly one z value for each x, y value pair. Also, when we turn points, lines, or polygons into solids, we’re really just extruding 2D coordinates by a set of specified values. True 3D geometric structures are represented in 3D Analyst by multipatch features. Multipatches are made of planar 3D rings and triangles stitched together to model objects like spheres, trees, rooftops, or buildings with overhanging features (KENNEDY 2009: 10 f.).“

In ArcGIS kann über die Attribut Tabelle und das Feld „Shape“ erkannt werden, welcher Geometrie-Typ in der Feature Klasse gespeichert ist, in diesem Fall ist der Typ MultiPatch.

Die sonst üblichen 3D-Objekte in entsprechenden Darstellungen sind meist nicht mehr als extrudierte 2D-Objekte, also Flächen, die um eine Höhe ergänzt werden. Durch diese Art der Näherung eines realen Objektes werden wichtige Teilaspekte, wie der Überhang einer zum Beispiel Brücke, ignoriert und gehen verloren. Ein 3D-Objekt, welches in der Datenbank eine Zeile umfasst, also ein Multipatch-Feature repräsentiert, besteht aus einer Vielzahl von Geometrien und Mustern. (vgl. ESRI 2012: 1 ff.) Bei den Geometrien handelt es sich um Dreiecke, Dreiecksflächen, Dreieckstreifen oder Ringe, welche unterschiedlich miteinander kombiniert werden können (Tab. 4). So können 3D-Objekte nicht nur näherungsweise, sondern auch deutlich detaillierter dargestellt werden und auch auf denselben räumlichen Koordinaten Platz finden (zum Beispiel Brücken über Straßen, Gebäude über Parkgaragen etc.).

Tab. 4: mögliche Bestandteile eines Multipatch-Features (ESRI 2012: 3 ff.)



Multipatch-Features beschreiben natürliche 3D-Objekte (z.B. Gebäude, Bäume, Brücken, ...), wobei die Hülle aus Multipatch Geometrien modelliert wird. Multipatches speichern Z-Werte als Teil der Koordinaten, welche zum Erstellen der 3D-Objekte benötigt werden. Falls dies nicht der Fall ist, kann der Basis-Z-Wert des Multipatches auch

mithilfe eines Feature-Attributes modelliert werden, hier kann es bei den Analyseoptionen allerdings zu Einschränkungen kommen. Idealerweise sind Multipatch-Features geschlossen, denn dann stehen zusätzliche Analysewerkzeuge zur Verfügung und es kann das Volumen korrekt definiert werden. Mit dem Tool „Is Closed 3D“ kann überprüft werden ob die Multipatch-Features korrekt geschlossen sind. (vgl. ESRI 2019e) Falls dies nicht der Fall, allerdings für Folgeprozesse erwünscht ist, kann mit dem Tool „Enclose Multipatch“ ein offenes Multipatch-Feature geschlossen werden.

„There are two basic ways to create 3D features. You can either digitize them in ArcMap, using a TIN or an elevation raster as the source for z values, or you can convert existing 2D features to 3D. When you convert features to 3D, you can get the z values from a TIN or raster surface, from a field containing elevation values in the feature attribute table, or you can set a single value that assigns a constant elevation to all the vertices in the feature layer.

Multipatch features can also be created in a variety of ways. CAD data can be imported and viewed as is; 2D polygon features can be interpolated to a multipatch feature class, using a TIN surface for the Z values; and 3D models in other formats such as 3D Studio, VRML, OpenFlight, and Sketchup can be imported to multipatch features within a geodatabase. (KENNEDY 2009: 275)“

Multipatch-Features können durch den Import von vorhandenen 3D-Modellen, durch das Tool „Import 3D Files“ (Kapitel 4.1.2), erstellt werden. Weitere Möglichkeiten sind das Geoverarbeitungswerkzeug „Layer 3D To Features Class“ oder das Programmieren in ArcPy mit ArcObjects. (vgl. ESRI 2019e)

Für den Export von Multipatch-Features ist anzumerken, dass mit dem Tool „Multipatch To Collada“ auch eine KML-Datei, welche z.B. in ArcGlobe oder CityEngine importiert werden kann, abgespeichert wird, allerdings viele Export-Formate wie VRML in ihrer weiteren Nutzung eingeschränkt sind (vgl. ESRI 2016):

“It is important to note that ArcScene and ArcGIS Pro are 3D GIS applications and the majority of 3D modeling formats only write out static models that oftentimes do not store X,Y, or Z coordinate information. These are imported as static shapes originating at 0,0 in Cartesian coordinate space (ESRI 2016).“

Für die Praxis wurde das generalisierte Dachmodell als GML verwendet, durch das Einlesen in ArcGIS Pro entstanden Feature Classes, welche ausschließlich Multipatch Features beinhalten. Diese Features besitzen alle eine Z-Koordinate, sind allerdings nur teilweise geschlossen.

4.2.2 2D - Shapefile

Der Großteil der in der Praxis verwendeten Daten sind Shapefile-Dateien. Das Dateiformat Shapefile, welches von ESRI entwickelt wurde, ist wohl das bekannteste Format für 2D-Geodaten im Vektorformat. (vgl. ESRI 2019g) Bei Shapefiles handelt es sich um ein nicht topologisches Format zum Speichern der geographischen Position und der

Attributinformationen von geographischen Objekten (Punkte, Linien oder Polygone/Flächen).

Ein Shapefile besteht aus mindestens drei Dateien (vgl. ESRI 1998: 2):

- Main file: .shp – Speichert die Geometriedaten eines Datensatzes.
- Index file: .shx – Verknüpft Sachdaten (.dbf) mit der Geometrie (.shp) über einen gemeinsamen Index.
- dBASE table: .dbf – Enthält beliebige Feature-Attribute.

Für die Praxis verwendete SHP-Dateien:

Bezirksgrenze (SHP)

BKM (SHP)

Generalisierter Flächenwidmungsplan (SHP)

Realnutzung (SHP)

Öffentlich zugängliche Grünflächen und Zugangspunkte (SHP)

Straßengraph (SHP)

4.3 rasterbasierte 2D-Daten

In der durchgeführten Praxis zu dieser Arbeit kamen zwei 2D-Rasterdatenformate zum Einsatz. Konkret handelt es sich um den Flächenwidmungs- und Bebauungsplan und um den Gründachpotentialkataster, welche als WMTS bzw. als WMS frei verfügbar sind. Zu den Web-Services der Stadt Wien auf Basis der Open Geospatial Consortium (OGC) Standardisierung gehören Web Map Tile Service (WMTS), Web Map Service (WMS) und Web Feature Service (WFS). (vgl. DIGITALESWIEN 2013)

4.3.1 Flächenwidmungs- und Bebauungsplan (WMTS)

Der Flächenwidmungsplan als Vektordatensatz von der MA 21 (Stadtteilplanung und Flächennutzung) darf nicht für diese Arbeit verwendet werden und daher wurde mit alternativen Datensätzen gearbeitet. Diese alternativen Datensätze sind der Flächenwidmungsplan als WMTS und der generalisierte Flächenwidmungsplan als SHP. Über den Web-Service stünden auch noch gültige Plandokumente zur Verfügung. (vgl. MA21 2019a)

WMTS ist ein Standard des Open Geospatial Consortium OGC, um Karten digital im Web über zwischengespeicherte Bildkacheln zur Verfügung zu stellen. Der WMTS besteht aus Millionen von Bildkacheln, welche für fix vorgegebene Maßstäbe vorgeneriert sind und

somit die Geschwindigkeit der Kartenvisualisierung maximiert wird. (vgl. DIGITALESWIEN 2013)

„The Web Map Tile Service (WMTS) described in this standard builds on earlier efforts to develop scalable, high performance services for web based distribution of cartographic maps (MASÓ et al. 2010: xi).“

„Das Web Map Tile Service ist ein Dienst, um Geodaten kachelbasiert hoch performant bereitzustellen. Er wird daher in der Regel überall dort verwendet, wo ein extrem schneller Kartenaufbau erforderlich ist beziehungsweise mit extrem hohen Zugriffszahlen zu rechnen ist (DIGITALESWIEN 2013).“

Mit WMTS können skalierbare Karten mit einem hohen Leistungsanspruch online dargestellt werden. Der Service stellt eine Möglichkeit dar kartographische Karten webbasiert zu verteilen. Unter der Verwendung eines Webserver wird der WMTS-Dienst zur Verfügung gestellt und kann anhand eines Links im GIS implementiert werden.

„The goal of providing a WMTS enabled service is to be performance oriented and scalable. Therefore, servers must be able to return tiles quickly. A good way to achieve that is to use locally stored pre-rendered tiles that will not require any image manipulation or geo-processing. ... The purpose of a WMTS service is to serve maps divided in individual tiles (MASÓ et al. 2010: 6).“

Der Flächenwidmungs- und Bebauungsplan (FWBP) stellt die Grundlage für die Ermittlung des Aufstockungspotentiales dar. Da die entsprechenden Informationen nicht als leicht weiterzuverwendende Attribute vorhanden sind, mussten diese Bestimmungen für die praktische Durchführung händisch überarbeitet werden. Für einen kleinen Referenz-Gebäudeblock wurde dies für die Berechnungen auch gemacht, indem der generalisierte Flächenwidmungsplan um die tatsächlichen Informationen des FWBPs ergänzt wurde. Der genaue Workflow für den gesamten Bezirk wird in Kapitel 5.2 erläutert.

4.3.2 Gründachpotentialkataster (WMS, TIFF)

Der Gründachpotentialkataster ist über das OGD Portal nur als WMS frei verfügbar und daher wurde auf Anfrage von der Stadt Wien für die Durchführung der Analyse für diese Masterarbeit zugänglich gemacht. Dieser wurde innerhalb einer Geodatenbank als FGDBR (File Geodatabase Raster) bereitgestellt, welcher für die durchzuführende Praxis als TIF exportiert wurde, um eine separate Datei, außerhalb der GDB, für die durchzuführenden Tools als Ausgangsdatei zu haben. (MA41 2019c)

Mit dem Web Map Service (WMS) können Geodaten kartenbasiert direkt aus der Geodatenquelle abgerufen werden. (vgl. DIGITALESWIEN 2013) Die abgerufenen Kartenausschnitte entsprechen immer dem aktuellen Stand der Originaldatenquelle und sind immer Rasterbilder, auch wenn die Ausgangsdatei ein Vektorformat ist.

Bei einem TIFF-Format (Tagged Image File Format), kurz auch TIF, handelt es sich um ein Dateiformat zur Speicherung von Bilddaten (Rasterdaten). (vgl. MURRAY et al. 1996: 880 ff.) Die TIFF-Spezifikation wurde 1986 von Aldus Corporation für das Speichern von gescannten Schwarz-Weiß-Bildern und desktop publishing applications entwickelt und wurde später von Adobe übernommen. Beim TIFF-Format handelt es sich um ein Dateiformat mit verlustfreier Komprimierung durch LZW (Lempel-Ziv-Welch-Algorithmus), zusätzlich kann ein Alphakanal (Transparenz) eingebunden werden.

Die Erstellung des Gründachpotentialkatasters erfolgte im Jahr 2011, indem von der Stadt Wien (MA 22) eine flächendeckende Analyse des Begrünungspotentials auf den Dächern Wiens durchgeführt wurde. (Abb. 5) (vgl. MA22 2019b) Für die Potentialanalyse wurden ALS-Daten aus dem Jahr 2007 verwendet. Dächer mit einer Neigung von 0 – 5 Grad werden als Dächer mit entsprechendem Gründachpotential bezeichnet. (Abb. 11) (vgl. VALI 2011) Auch eine Bestanderhebung von Gründächern wurde vor einigen Jahren bereits durchgeführt. (vgl. HOFFERT et al. 2010)

Da die Dächer mit einer Neigung von 0 – 5 Grad sowohl für intensive als auch für extensive Begrünung geeignet sind, entsprechen diese den Idealbedingungen um die Möglichkeit der Errichtung eines „Parks am Dach“ in der durchgeführten praktischen Gründachpotentialanalyse näher zu analysieren.

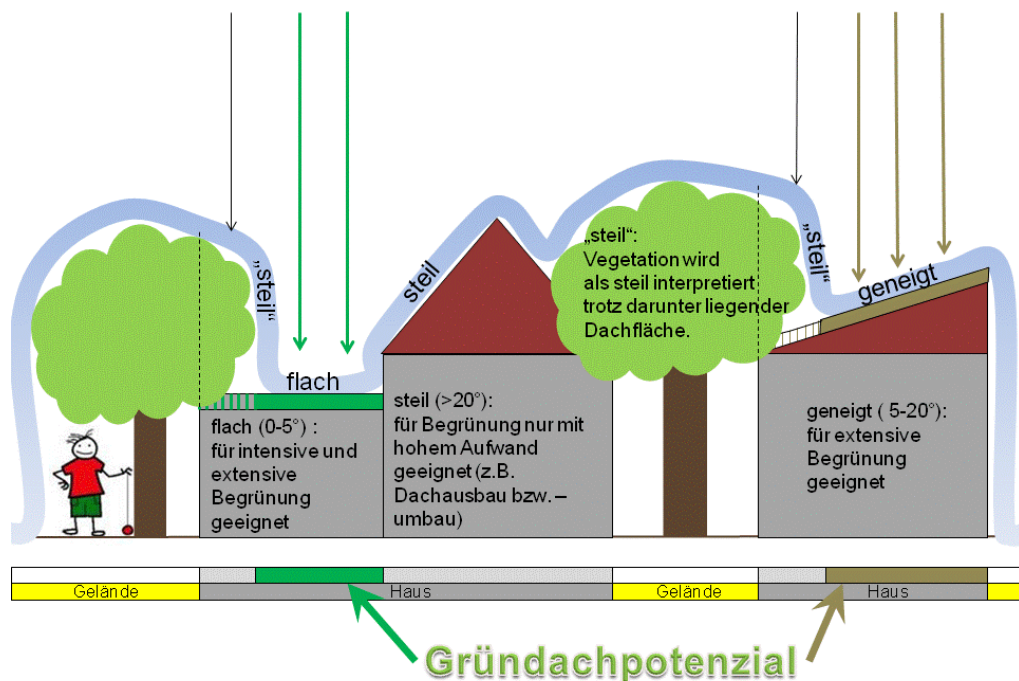


Abb. 11: schematische Darstellung Gründachpotential (MA22 2019b)

4.4 Gegenüberstellung der vorgestellten Dateiformate

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 5) werden die in diesem Kapitel vorgestellten Datenformate nochmals kurz aufgelistet und die wichtigsten Eigenschaften und Unterschiede zwischen den Formaten dargestellt.

Tab. 5: Gegenüberstellung von Dateiformaten

<i>Dateiformat</i>	<i>Dimension</i>	<i>Vektor/Raster</i>	<i>Verfügbarkeit</i>	<i>Haupteinsatzzweck</i>
CityGML	3D	Vektor	offline	Stadtmodelle (Analysen, Simulationen, ...), Datenformat zum Austausch raumbezogener Objekte
KML	2D/3D	Vektor/Raster	offline	Visualisierung auf Globen
IFC	2D/3D	Vektor	offline	Gebäudemodelle im Bauwesen
SHP	2D/3D	Vektor	offline	Darstellung von Objekten als Punkt, Linie, Fläche, Multipatch
WMTS	2D	Raster	online	Darstellung von kachelbasierten, vorgenerierten Karten
WMS	2D	Raster	online	Geodatendarstellung als Karten
TIFF	2D	Raster	offline	Bilder

5 Erstellung unterschiedlicher Potentiale über die Dachlandschaft Wiens

In diesem Kapitel wird die Analyse der zuvor definierten Potentiale, welche in Kapitel 2 näher erläutert wurden, durchgeführt. Das Potential für eine ökologische Wohnraumschaffung wird untersucht, indem bestehende Gebäude aufgestockt und deren Dächer ausgebaut werden, ohne Verbauung von vorhandenen Grünflächen oder sonstiger unbebauter Flächen. Ebenso sollen bestehende Dächer auf ihre Tauglichkeit als neuen Grünraum untersucht werden, um die Lebensqualität in dicht besiedelten Regionen zu verbessern.

Für die Analyse wurde der dritte Wiener Gemeindebezirk (Landstraße) als Untersuchungsgebiet gewählt, da dieser Bezirk sowohl als Exempel für die innerstädtischen Wohngebiete in Gründerzeitvierteln, als auch für dünnbebaute Randbezirke mit einer lockereren Siedlungsstruktur und einer höheren Anzahl an Industriegebäuden herangezogen werden kann. Durch die Vielfältigkeit dieses Bezirks kann die Automatisierbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte gut auf Unregelmäßigkeiten überprüft werden und daraus auf die Tauglichkeit der Analyse für die Anwendung auf andere Bezirke geschlossen werden.

Tab. 6: Potentiale und ihr Daten-Hauptbestandteil

<i>Potential</i>	<i>Wichtigste Daten</i>
Aufstockungspotential	Baukörpermodell (BKM/LOD1) FWBP
Dachausbaupotential	Generalisiertes Dachmodell (LOD2)
Gründachpotential	Gründachpotentialkataster öffentlich zugängliche Grünflächen/Parks

5.1 Verwendete Software und relevante Werkzeuge für die Realisierung

In diesem Kapitel werden die verwendete Software und die relevanten Werkzeuge für die Durchführung der Analyse näher beschrieben und erläutert.

5.1.1 verwendete Software

Die praktische Arbeit wurde fast vollständig in ArcGIS Pro (Version 2.2.4) durchgeführt, ausschließlich die Netzwerkanalyse wurde in ArcMap (Version 10.6.1) berechnet, da die Erstellung eines neuen Netzwerk-Datasets noch nicht im ArcGIS Pro implementiert ist.

Zusätzlich zu aussagekräftigen Analyseergebnissen wird eine Automatisierung der Analyse mittels ModelBuilder angestrebt. Für jedes Potential wird ein separates Model mit den benötigten Tools erstellt. Durch die hohe Anzahl und Vielfalt an Geoverarbeitungswerkzeugen wird idealerweise eine automatische Durchführung für räumliche Analysen von GIS-Daten erreicht, indem nach Fertigstellung eines Models bei erneuter Berechnung nur noch der Dateipfad der Input-Dateien geändert werden muss. Bei der Automatisierung im Model Builder kommen unterschiedliche Geoverarbeitungswerkzeuge (Geoprocessing Tools) und teilweise auch Iteratoren zum Einsatz.

5.1.2 relevante Werkzeuge

In diesem Kapitel wird kurz auf die hauptsächlich verwendeten Werkzeuge und Tools eingegangen, als auch die Anwendung von Iterationen und Netzwerkanalysen erläutert.

5.1.2.1 Geoverarbeitungswerkzeuge

Die Geoverarbeitung kann als Rahmen für eine Sammlung von Werkzeugen zur Verarbeitung von geographischen und zugehörigen Daten gesehen werden. (vgl. ESRI 2019h) Daher wird sie für die Automatisierung von GIS-Aufgaben sowie zur Modellierung und Analyse verwendet (Abb. 12).

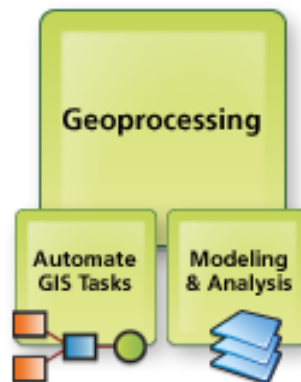
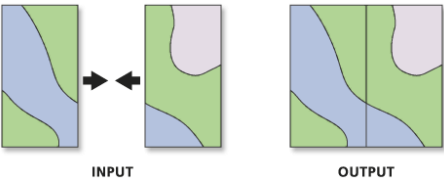
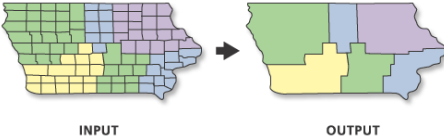
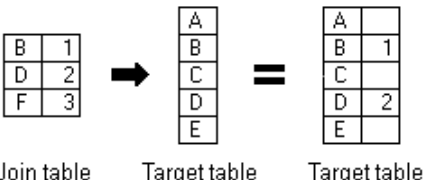
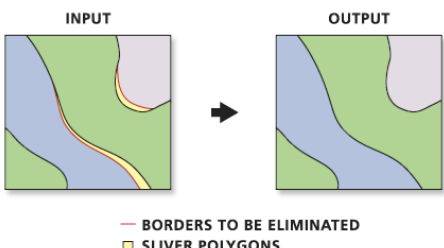


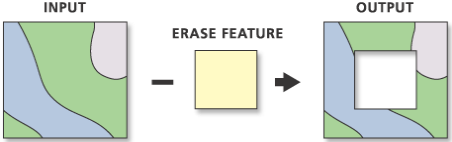
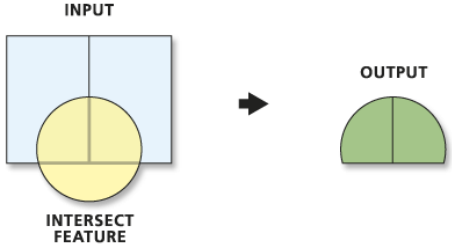
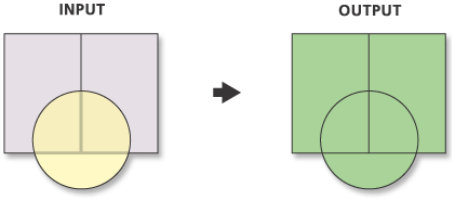
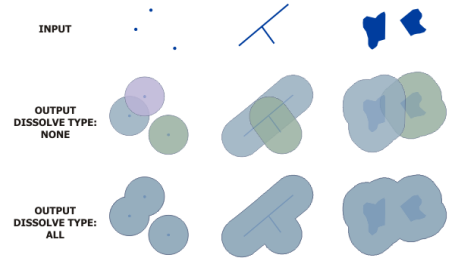
Abb. 12: Geoverarbeitung (ESRI 2019h)

Dabei ist zu beachten, dass ein Geoverarbeitungswerkzeug immer eine Operation für ein bestimmtes Dataset (z.B. Feature Class, Raster, Tabelle, ...) ausführt.

Tab. 7: am häufigsten verwendete Toolboxen und Tools (ESRI 2019b)

<i>Toolbox und Tool</i>	<i>Definition der Werkzeuge</i>
<i>Data Management Toolbox</i>	In dieser Toolbox finden sich Werkzeuge für die Entwicklung, Verwaltung und Pflege von Feature-Classes, Datasets, etc.

Merge „Zusammenführen“  Abb. 13: Tool Merge	Dieses Werkzeug ermöglicht es, Datasets aus mehreren Quellen in ein neues, einzelnes Ausgabe-Dataset zusammenzuführen. Alle Eingabe-Feature-Classes müssen über denselben Geometrietyp verfügen.
Dissolve „Zusammenführen“  Abb. 14: Tool Dissolve	Mit diesem Tool können Features basierend auf Attributen aggregiert werden. Durch das Zusammenführen können Multipart-Features entstehen, also einzelne Features, die nicht zusammenhängende Elemente enthalten (z.B. Hawaii).
Add Join  Abb. 15: Tool Add Join	Die Datensätze aus der Verknüpfungstabelle (Join Table) werden der Zieltabelle (Target Table) hinzugefügt. Hier kann ausgewählt werden ob alle Datensätze in der Zieltabelle erhalten bleiben (Abbildung links) oder nur passende Datensätze beibehalten werden sollen.
select layer by attribute	Auswahl einer Teilmenge des Datensatzes anhand einer Attributabfrage mittels SQL-Ausdruck.
select layer by location	Auswahl von Features in einem Layer auf Grundlage einer räumlichen Beziehung (intersect, within, contains, have their center in, ...) zu Features in einem anderen Layer.
add und calculate field	Erstellung und Berechnung von Werten für ein neues Feld anhand eingegebener Python-Ausdrücke.
Eliminate „Entfernen“  Abb. 16: Tool Eliminate	Polygone werden entfernt, indem sie mit benachbarten Polygonen (größte Fläche oder längste gemeinsame Grenze) zusammengeführt werden. Die kleinen Restflächen entstehen oftmals durch die Anwendung von Intersect oder Union.

<i>Analysis Toolbox</i>	Diese Toolbox enthält Werkzeuge für grundlegende GIS-Vorgänge (Puffer erstellen, Statistiken berechnen, ...).
Erase „Radieren“  Abb. 17: Tool Erase	Auf Basis der Überlagerung der Eingabe-Features und der Radieren-Features kann eine neue Ausgabe-Feature-Class entstehen. Dabei wird vom Input der überlagerte Bereich der Erase-Features gelöscht.
Intersect „Überschneiden“  Abb. 18: Tool Intersect	Mit diesem Werkzeug wird ein geometrischer Schnittpunkt von Features berechnet. Die Feature-Teile, die in allen Eingaben vorkommen, werden in die Ausgabe-Feature-Class aufgenommen. Als Eingabe-Features können Punkt-, Multipoint-, Linien- oder Polygon-Features gewählt werden.
Union „Vereinigen“  Abb. 19: Tool Union	Dieses Werkzeug ermöglicht das geometrische Vereinigen der Eingabe-Features. Alle Features werden inklusive ihrer Attribute in die Ausgabe-Feature-Class geschrieben.
Buffer  Abb. 20: Tool Buffer	Es werden Pufferpolygone mit einem festgelegten Abstand um die Eingabe-Features (Punkt, Linie, Fläche) erstellt. Beim puffern von Polygonen können auch negative Abstände verwendet werden, dabei werden die Grenzen der Polygone um den angegebenen Abstand verkleinert.
Spatial Join	Hierbei handelt es sich um eine räumliche Verbindung, bei welcher Attribute eines Features basierend auf der räumlichen Beziehung mit den

	Attributen eines anderen Features verknüpft werden.
Summary Statistics	Bei der Summenstatistik werden die berechneten Statistiken (Summe, Mittelwert, Minimum, Maximum, ...) in einer Tabelle ausgegeben und gespeichert.
<i>3D Analyst Toolbox</i>	Diese Toolbox ermöglicht eine Vielzahl von Analyse- und Datenmanagementvorgängen für Oberflächenmodelle und 3D-Vektordaten.
MultiPatch Footprint  Abb. 21: Tool MultiPatch Footprint	Aus einer dreidimensionalen Multipatch-Features-Class wird ein Polygon-Footprint erstellt, welcher die zugrundeliegende zweidimensionale Fläche des 3D-Objektes darstellt.
Enclose Multipatch	Mit diesem Tool werden aus offenen Multipatch-Features geschlossene Multipatch-Features erstellt. Bereits geschlossene Features bleiben unverändert.
Is Closed 3D	Dieses Werkzeug überprüft, ob Multipatch-Features geschlossene sind, da nur ein geschlossenes Feature ein Raumvolumen vollständig umschließt.
Add Z Information	Der Eingabe-Feature-Class werden Attribute mit Informationen zu Höhereigenschaften hinzugefügt. Bei einem Multipatch-Feature können damit Z-Eigenschaften wie minimaler oder maximaler Z-Wert hinzugefügt werden.

5.1.2.2 Iteratoren

Das wiederholte Ausführen von Arbeitsabläufen wird Iterieren genannt und daher wird eine solche Ausführung Iteration genannt. Iterieren bedeutet, dass ein Prozess immer wieder wiederholt wird, wodurch ein gewisser Grad an Automatisierung erreicht wird. Bei der Iteration im ModelBuilder können für jede Iteration andere Einstellungen oder Daten verwendet werden. Pro Modell kann allerdings immer nur ein Iterator zum Einsatz kommen. Soll der Iterator nicht auf alle Werkzeuge angewendet werden, so muss das Modell separat gespeichert werden und kann in das Hauptmodell als Submodell bzw. Modellwerkzeug integriert werden.

Im ArcGIS-ModelBuilder können unterschiedliche Iteratoren, Auswahl je nach Aufgabenstellung, angewendet werden. Beispiele hierfür sind Iteratoren, die über Feature Classes, Rasters, Workspaces oder Feature Selections iterieren, aber auch For- oder While-Schleifen. Bei der Verwendung des Iterators Feature Classes wird bei der Durchführung jede Feature Class in einem Workspace durchlaufen. Wird der Iterator Feature Selection ausgewählt, dann wird jedes Feature in einer Feature Class oder einer Gruppe von Features mit gemeinsamen Attributen iteriert. (vgl. ESRI 2019d)

5.1.2.3 Netzwerkanalyse

„Formal definiert sind Netzwerke als Mengen von Knoten und Kanten (LANGE 2013: 373).“

Netzwerke sind Systeme in welchen Knoten und Kanten miteinander verbunden werden (z.B. Straßen = Kanten, Kreuzungen/Haltestellen = Knoten; Ver- und Entsorgungsleitungen (Wasser und Abwasser) = Kanten, Kunden/Kanalschächte = Knoten). Unter Kanten können Linien oder Edges und unter Knoten können Punkte oder Junctions verstanden werden. An einem Netzwerkknoten bestehen meist Übergänge von einer Netzwerkkante zu anderen. (vgl. LANGE 2013: 372 f.) Den Kanten eines Netzwerkes können Widerstandswerte für beide Richtungen zugewiesen werden, welche Auskunft darüber geben, ob es sich bei den jeweiligen Kanten um zum Beispiel Einbahnstraßen etc. handelt.

Um Analysen mit einem Netzwerk durchführen zu können, wird in ArcGIS die Erweiterung „ArcGIS Network Analyst“ benötigt. (vgl. ESRI 2019c) Im Zuge der Praxis werden Einzugsgebiete (Service Area) von Parks im Dritten Bezirk ermittelt. Ein Einzugsgebiet ist jener Bereich, der alle zugänglichen Straßen umfasst, das sind Straßen, die sich innerhalb einer definierten Grenze befinden. Dabei kann zum Beispiel ein 5-Minuten-Einzugsgebiet ermittelt werden, in welchem alle Straßen, die innerhalb dieser Zeit von dem jeweiligen Punkt entfernt sind, erreicht werden können oder, wie in der vorliegenden Arbeit, die Entfernung in Meter von einem Parkeingang.

5.2 Aufstockungspotential in m² und m³

Für die Analyse werden ausschließlich bereits bestehende Gebäude untersucht, da nur das Aufstockungspotential ermittelt wird und keine unbebauten Flächen für neue Wohnraumschaffung in Anspruch genommen werden sollen.

Für das Aufstockungspotential, also das Höhenpotential für neue Stockwerke der einzelnen Gebäude, wurde das Baukörpermodell (BKM), welches als LOD1 von der Stadt Wien zur Verfügung gestellt wird, als Grundlage verwendet. Die „Blattschnitte“ des BKMs für den Dritten Bezirk wurden vom Geodatenviewer der Stadtvermessung als SHP-Datei heruntergeladen. Die Attribute des BKMs (z.B. absolute Gebäudehöhe der Dachtraufe (O_KOTE)), werden um Informationen des Flächenwidmungsplanes ergänzt.

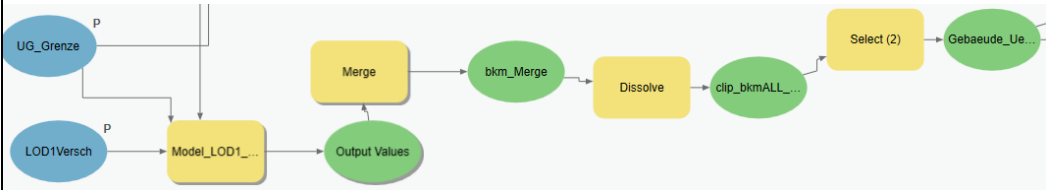
Der detaillierte Flächenwidmungsplan liegt im OGD-Format (Open Government Data) nur als WMTS-File vor. Da eine Automatisierung der Analyse angestrebt wird und sich die Attribute der WMTS-File nicht auf eine lokale Feature Class übertragen lassen, wurde mit dem generalisierten Flächenwidmungsplan gearbeitet. Bei der Stadt Wien wurde der detaillierte FWP angefragt, allerdings darf dieser nicht zur Verfügung gestellt werden, weshalb für die vorhandenen Widmungsklassen im generalisierten FWP erlaubte maximale Gebäudehöhen angenommen wurden, um die Automatisierbarkeit der Methode zu evaluieren. Für ein vorab definiertes Testgebiet wurde der generalisierte FWP per Hand um die Details des tatsächlichen FWBP erweitert, um die Genauigkeit und Verwendbarkeit der automatisierten Datenerstellung beurteilen zu können. Als Testgebiet wurden die Gebäudeblöcke rund um den Pauluspark im Dritten Wiener Gemeindebezirk ausgewählt.

5.2.1 Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung

Nach dem Download der Baukörpermodell-Blattschnitte wurden diese in ArcGIS Pro eingelesen und aufbereitet. Im Anschluss wird auch der generalisierte Flächenwidmungsplan aufbereitet und mit den Daten des BKM's verknüpft.

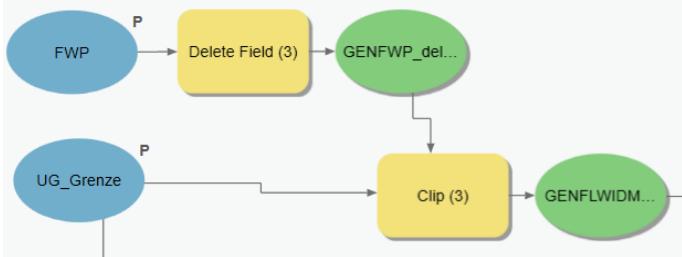
Tab. 8: Arbeitsschritte Aufbereitung BKM-Daten

Tool	Beschreibung
Iterate Feature Classes;	Um alle BKM-Dateien des Dritten Bezirkes zusammenfügen zu können, wurden diese über eine Iteration eingelesen (Iterate Feature Classes). Diese Iteration wird schlussendlich als Submodel im Model verwendet, da der Iterator nicht über das gesamte Modell laufen soll.
Clip; Delete Field; Collect Values	Die LOD1-Shapefiles wurden auf die Bezirksgrenzen zugeschnitten (clip), nicht benötigte Attribute gelöscht (delete field) und die Ausgabewerte erfasst (collect values). Die Ausgabe von „collect values“ dient als Eingabe für den nächsten Schritt der Zusammenführung.
	Abb. 22: Iterator zum Einlesen der BKM-Daten (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)
Merge	Zusammenführen der einzelnen Blattschnitte des Dritten Bezirks zu einer Feature Class.

	Parameter: Input Datasets: BKM (Ergebnisse vom Iterator)
Dissolve	Gebäude, welche auf zwei Blattsnitte aufgeteilt waren, werden durch diesen Schritt wieder zusammengeführt, damit sie für das weitere Vorgehen als ein Polygon vorhanden sind. Parameter: Input Features: BKM (Ergebnis von Merge) Dissolve Field: FMZK_ID
Select	Im Anschluss werden Polygone, welche Gebäude oder Überbauung darstellen, selektiert, da nur diese tatsächliches Potential aufweisen. Ein Flugdach oder ein Glashaus sind für die weitere Analyse nicht relevant, da diese nicht ausgebaut werden können und somit auch kein Potential für einen Gebäudeausbau zur Verfügung stellen. Parameter Expression: LAYER is equal to Gebäude Or LAYER is equal to Überbauung
 Abb. 23: Aufbereitung der BKM-Daten (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	

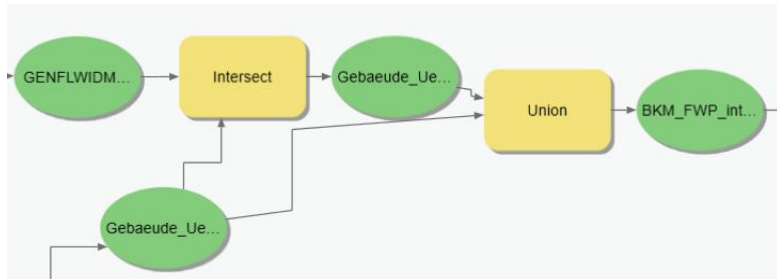
Nach diesem ersten Schritt liegt eine Datei mit dem Baukörpermodell des Dritten Bezirks vor, welches ausschließlich Gebäude oder Überbauungen beinhaltet.

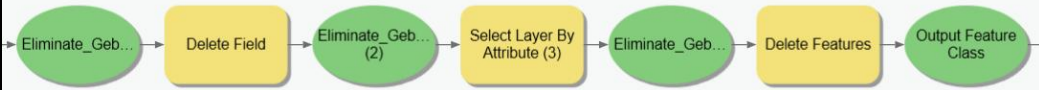
Tab. 9: Arbeitsschritte Aufbereitung generalisierter Flächenwidmungsplan

Tool	Beschreibung
Delete Field	Nicht benötigte Felder werden gelöscht.
Clip	Der generalisierte FWP wird auf den Dritten Bezirk beschränkt.
 Abb. 24: Aufbereitung des generalisierten FWP (ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	

Der generalisierte FWP ist nun auf den Dritten Bezirk beschränkt.

Tab. 10: Arbeitsschritte Verknüpfung BKM und generalisierter FWP

<i>Tool</i>	<i>Beschreibung</i>
Intersect	Erstellung einer neuen Feature Class durch überschneiden des digitalen FWPs und der Gebäude (BKM). Das Ergebnis sind Flächen, welche exakt flächendeckend sind. Parameter: Input Features: generalisierter FWP vom 3. Bezirk, Baukörpermodell vom 3. Bezirk Attributes to join: all attributes Output Type: Same as input
Union	Durch Intersect wurden die Gebäude (BKM) mit dem FWP geschnitten, allerdings bleiben hier nur exakt deckende Flächen übrig und daher wurde im Anschluss die Funktion Union durchgeführt. Durch Union werden die genauen Gebäudegrenzen (welche dem BKM entsprechen) wiederhergestellt, die zuvor durch das Überschneiden mit dem digitalisierten Flächenwidmungsplan teilweise gelöscht wurden. Parameter: Input Features: Output Intersect, Baukörpermodell vom 3. Bezirk Attributes to join: all attributes Gaps Allowed
	 Das Diagramm zeigt den Workflow der Datenverarbeitung. Es beginnt mit einem grünen Oval 'GENFLWIDM...', das in einen gelben Prozessblock 'Intersect' führt. Ein zweites grünes Oval 'Gebäude_Ue...' führt ebenfalls in den 'Intersect'-Block. Der Output von 'Intersect' ist ein weiteres grünes Oval 'Gebäude_Ue...'. Dieses fließt in einen zweiten gelben Prozessblock 'Union', der zusätzlich das ursprüngliche 'Gebäude_Ue...' als Input erhält. Der finale Output des 'Union'-Blocks ist ein grünes Oval 'BKM_FWP_int...'. Abb. 25: Gebäude-Polygone (BKM) durch Flächenwidmung geteilt (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)
Select Layer By Attribute (2x)	In diesem Schritt wurden zuerst Flächen, welche keiner Flächenwidmung zugewiesen wurden, selektiert. Denn Flächen ohne Widmung können in der Analyse nicht berücksichtigt werden, da diesen keine erlaubte Gebäudehöhe zugewiesen werden kann. Daher müssen diese Polygone nochmals unterschieden werden und zwar in Gebäude welche außerhalb der Widmungszone liegen und Gebäude welche irrtümlicherweise keine automatische Zuordnung bekommen haben. New selection expression: <code>WIDMUNGSKL = ' _ '</code> Im anschließenden Schritt wurden Gebäudeteile auf welche zweiteres zutrifft

Eliminate (2x)	folgendermaßen behandelt. Die Flächen welche keine Widmungsklasse besitzen, also Teile von Gebäuden, welche aufgrund der Generalisierung außerhalb des FWP liegen, wurden mittels zweimaliger Durchführung von Eliminate zum entsprechenden Gebäude hinzugefügt. Diese zwei Werkzeuge müssen zweimal ausgeführt werden, da nach der Erstanwendung nicht alle Flächen eliminiert wurden. Diese noch zuordenbaren Flächen grenzten bei der erstmaligen Durchführung von Eliminate allerdings an eine Fläche, welche im ersten Durchlauf auch noch keine Widmungsklasse besaß.
	 Abb. 26: Gebäudegrenzen optimieren (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)
Delete Field	Attribute, welche für den weiteren Vorgang nicht relevant sind, werden gelöscht.
Select Layer By Attribute	Erneutes markieren von Features ohne Widmungsklasse, da diese Gebäude darstellen, welche vollständig außerhalb des generalisierten FWP liegen und ihnen daher keine erlaubte Höhe zugeordnet und folglich kein Ausbaupotential berechnet werden kann. New selection Expression: WIDMUNGSKL = ' _ '
Delete Features	Die selektierten Features werden gelöscht.
	 Abb. 27: Export von Polygonen mit Widmungsklassen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

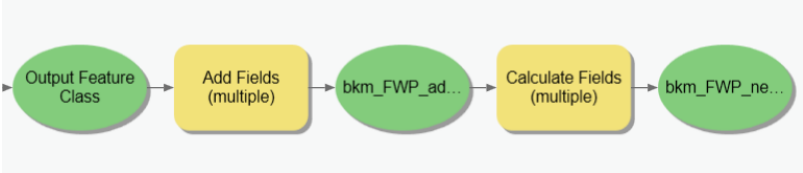
In Tab. 10 wurden die Arbeitsschritte für die Teilung der Polygone im BKM durch den generalisierten FWP beschrieben. Am Ende bleiben nur Polygone übrig, welchen eine Widmungsklasse des generalisierten FWP zugeordnet werden kann.

Das Ergebnis des bisherigen Modells zeigt Gebäudeflächen (BKM), welche durch den Flächenwidmungsplan geteilt wurden und in der entsprechenden Attributtabelle sind die relevanten Informationen von beiden Ursprungsdateien, BKM und generalisierter FWP, enthalten.

5.2.2 Workflow der Durchführung des Aufstockungspotentials

Da bis jetzt nur die Ausgangsdateien sorgfältig aufbereitet wurden erfolgt in diesem Kapitel die Berechnung und Analyse des bebaubaren Potentials. Hierfür wurden neue Spalten erstellt und berechnet.

Tab. 11: Volumenberechnung des Aufstockungspotentials

<i>Tool</i>	<i>Beschreibung</i>
Add Fields	Neue Felder werden hinzugefügt. Field Name: Traufenhöhe, zulässige Höhe , bebaubares Potential, potKubatur
Calculate Fields	Berechnung der neu hinzugefügten Felder. Expression: Traufenhöhe = !O_KOTE_!-!HOEHE_DGM_! (absolute Gebäudehöhe der Dachtraufe (O_KOTE) – absolute Geländehöhe (HOEHE_DGM)) Zulässige Höhe = assignheight(!WIDMUNGSKL!) Code Block: def assignheight(WIDMUNGSKL): if (WIDMUNGSKL == 'GB' or WIDMUNGSKL == 'WO' or WIDMUNGSKL == 'WOGV'): return 21 if (WIDMUNGSKL == 'IG' or WIDMUNGSKL == 'GBBG'): return 16 if (WIDMUNGSKL == 'GBGV'): return 9 else: return 1 baubare Potential = !zulaessigeHoehe!-!Traufenhoehe! (zulässige Höhe – Traufenhöhe) potKubatur = !shape.area!*!baubPotential! (Fläche * bebaubare Potential)
	 Abb. 28: Berechnung des Aufstockungspotentials in m und m³ (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Als Ergebnis für das Aufstockungspotential liegen Werte in Meter und die daraus resultierende potentielle Gesamtkubatur in Kubikmeter vor. Für die Errechnung des baubaren Potentials sind die zulässige Höhe und die Traufenhöhe notwendig. Bei der Traufenhöhe handelt es sich um die absolute Gebäudehöhe der Dachtraufe über dem Gelände, auf dieser Höhe befindet sich meistens auch die Dachrinne eines Hauses. (vgl. Hagelstein N., 2019) Die Traufhöhe wurde hier als Referenz verwendet, da im Falle einer Aufstockung ein etwaiger Dachstuhl abgebaut würde, weshalb die Starthöhe für die Aufstockung der Traufhöhe entspricht.

Tab. 12: Einschränkung Aufstockungspotential auf ganze Stockwerke und Realnutzung Wohnen

<i>Tool</i>	<i>Beschreibung</i>
Add Fields	Neue Felder werden hinzugefügt. Fields Name: Anzahl Stockwerke, Höhe Stockwerke, Potential Wohnfläche, Potential Wohnkubatur
Calculate Fields	Berechnung der neu hinzugefügten Felder. Für ein Stockwerk wird eine Höhe von 3 m angenommen, deshalb muss die bebaubare Höhe durch 3 teilbar sein, weshalb eine restlose Division durchgeführt wurde. Für die potentielle Wohnfläche wird die Grundfläche für jedes potentielle zusätzliche Stockwerk angenommen. Im Gegensatz zur Fläche ist für die Berechnung der potentiellen Wohnkubatur die Höhe aller möglichen Stockwerke relevant. Expression: Stockwerke = !baubPotential!//3 Höhe Stockwerke = !stockwerke!*3 Potential Wohnfläche = !Shape_Area!*!stockwerke! Potential Wohnkubatur = !Shape_Area!*!HoeheStockwerke!
Select Layer By Attribute	Mit diesem Schritt wurde eine Auswahl der Realnutzung für die Analyse getroffen. Die Gebäude werden auf Wohngebäude beschränkt. Parameter: Layer Name: Realnutzung New Selection Expression: Nutzung_L0 is Equal to Wohn- u. Mischnutzung (Schwerpunkt Wohnen)
Select Layer By Location	Einschränkung der Gebäudeteile, welche sich mit der ausgewählten Realnutzung des vorangegangenen Schrittes überschneiden. Diese werden separat als neue Feature Class abgespeichert.
Copy Features	Parameter: Input Feature Layer: RoofSurface (Ausgangsdatei) Relationship: Intersect Selecting Features: Realnutzung
Select	Auswahl von Polygonen mit bestimmten Kriterien.

Layer By Attribute	New Selection Expression: baubPotential is Greater Than or Equal to 3 and potWohnKubatur is Greater Than or Equal to 120 and potWohnFlaeche is Greater Than or Equal to 40
Copy Features	
	Abb. 29: Ermittlung Stockwerke und Einschränkung des Aufstockungspotentials durch weitere Kriterien (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Bei diesem finalen Arbeitsschritt zum Aufstockungspotential wurde noch berücksichtigt, dass nicht das gesamte Höhen- und Kubaturpotential gleichermaßen genutzt werden kann, da bewohnbare Räume über bestimmte Raumhöhen verfügen müssen. Außerdem müssen neue Wohnungen eine Mindestfläche und eine Mindestkubatur aufweisen. Zusätzlich wurden die potentiell in Frage kommenden Flächen auf die Realnutzung mit Schwerpunkt Wohnen beschränkt, da davon auszugehen ist, dass bei dieser Nutzung am ehesten neue Wohnungen entstehen. Abschließend wurde die Grundflächen auf eine Mindestfläche von 40 m² und die Traufenhöhe auf eine Mindesthöhe von 3 m beschränkt.

5.2.3 Automatisierung

Für die automatische Berechnung wurden zulässige Gebäudehöhen angenommen. Für einen exemplarischen Gebäudeblock (Kapitel 6.1) wurden die tatsächlichen zulässigen Höhen herangezogen, um etwaige Ungenauigkeiten und Unregelmäßigkeiten festzustellen.

Durch die Verwendung eines Models im Model Builder lässt sich die Analyse automatisiert für unterschiedliche Bezirke oder auch nur kleinere Stadtteile anwenden. Zur Entwicklung des Models wurde ein kleiner Ausschnitt des dritten Bezirks herangezogen, die erfolgreiche Automatisierung schlussendlich am gesamten Bezirk erfolgreich getestet.

Auch bei den Potentialen Dachausbau und Gründach wurde diese Herangehensweise zur Verifizierung der erfolgreichen Automatisierung genutzt.

5.3 Potential Dachausbau in m² und m³

In diesem Kapitel wird das Potential bezüglich eines Dachausbaus untersucht. Für diese Berechnungen müssen Kriterien wie Dachneigung, verfügbare Raumhöhe, Grundfläche

und Volumen berücksichtigt werden. Daher wurde für diese Analyse das LOD2 genutzt, in welchem bereits einige dieser Informationen als Attribute enthalten sind.

5.3.1 Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung

Die LOD2 Dateien sind nach dem Download zusätzlich in einem Unterordner abgespeichert. Für den Import in ArcGIS Pro müssen allerdings alle GML-Dateien in einem Ordner sein. Daher wurden diese durch ein Python-Skript automatisch aus den Unterordnern in einen neu erstellten Ordner verschoben.

```

1 import os
2 pfad = "E:\\...\\LOD2"
3 neupfad = "E:\\...\\LOD2Versch"
4
5
6 for Dateiordner, Ordner, Dateiname in os.walk(pfad):
7     for name in Dateiname:
8         os.rename(os.path.join(Dateiordner, name), os.path.join(neupfad, name))
9
10 print('Done')
```

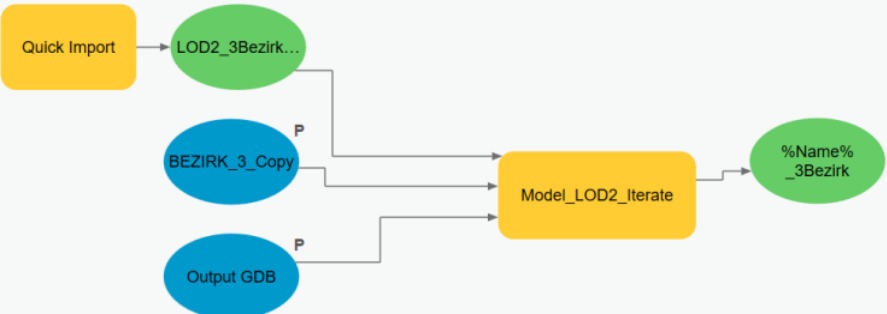
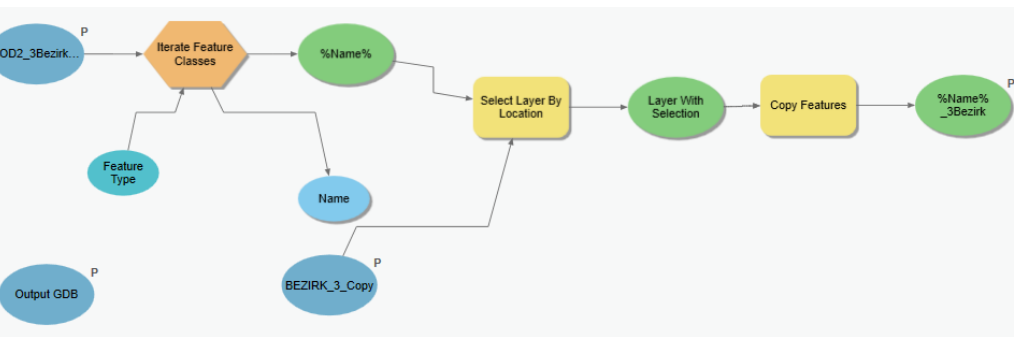
Abb. 30: LOD2 – automatisiert Dateien verschieben mit Python

Der Befehl „os.walk()“ durchläuft sämtliche Unterordner (Dateiordner) und Ordner sowie Dateien in einem angegebenen Zielverzeichnis. Im Zuge der ersten „for“ Schleife wird für jeden Ordner, Unterordner und jede Datei die nachfolgende „for“ Schleife durchgeführt. Diese benennt jede Datei im Ergebnis von „os.walk()“ um, wobei zu beachten ist, dass der Dateiname in Python stets aus dem gesamten Pfad der Datei besteht. Dadurch kann durch das Umbenennen der Datei (Ändern des Pfades im Dateinamen) die Datei verschoben werden.

Nachdem die richtige Ordnerstruktur hergestellt wurde und die Dateien entsprechend abgespeichert waren, wurden diese mit einem dafür vorgesehen Werkzeug in ArcGIS Pro importiert.

Tab. 13: Laden der LOD2-Dateien

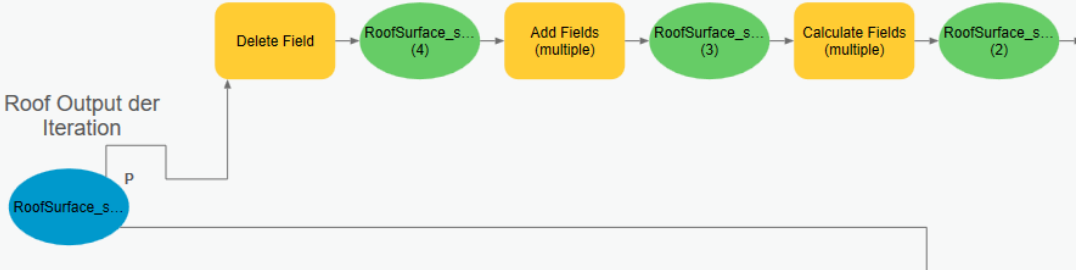
Tool	Beschreibung
Quick Import	Laden der LOD2 Dateien mit dem Data Interoperability Tool. Parameter: Input Dataset Format: CityGML GML SRS Axis Order: 1,2,3 Nach dem Import der LOD2 Dateien wird ein Submodel (Model_LOD2_Iterate) eingefügt und durchgeführt.

	 Abb. 31: Import der GML-Dateien (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)
Iterate Feature Classes: Select Layer By Location; Copy Features	Dieses Submodel beschränkt die Feature Classes der GML-Dateien mithilfe eines Iterators auf den Dritten Bezirk. Das Analyse Tool Clip ist hier nicht anwendbar, da die Bezirksgrenzen in 2D vorliegen und das LOD2 in 3D. Die Features innerhalb des Bezirkes werden selektiert und als neue Feature Class abgespeichert.
	 Abb. 32: Iterator LOD2: Zuschnitt auf den Dritten Bezirk (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Die weiteren Schritte können nun auf die Daten des Dritten Bezirkes beschränkt durchgeführt werden. Die GML-Dateien bestehen unter anderem aus fünf Feature Classes, wobei nicht alle für die Analyse benötigt werden. In dem folgenden Abschnitt wird die Feature Klasse RoofSurface, also jene mit den Dachflächen, näher analysiert, indem neue Attribute durch die bereits vorhandenen Attribute errechnet werden.

Tab. 14: Aufbereitung der Dachflächen – RoofSurface

Tool	Beschreibung
Delete Field	Felder, welche für die weitere Analyse nicht benötigt werden, wurden gelöscht.
Add Fields	Das Attribut „Dachneigung“ muss vom Typ Text in eine Zahl umgewandelt werden, da nur so eine weitere Berechnung möglich ist.

Calcu -late Fields	Für die Erstellung von Dachtyp-Kategorien war es nötig, ein Flachdach mit 0 Grad zu definieren. Der Dachtyp wurde folgendermaßen bestimmt: Expression: <code>dachtyp(!Dachneigung_90!)</code> Code Block: <pre>def dachtyp(Dachneigung_90): if (Dachneigung_90 >= 0 and Dachneigung_90 <= 5): return 0 if (Dachneigung_90 > 5 and Dachneigung_90 <= 30): return 1 if (Dachneigung_90 > 30): return 2 else: return -1</pre>
	 Abb. 33: Dachtyp bestimmen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Der Dachtyp liefert einen ersten Überblick über die vorhandenen Dächern und unterteilt diese in vordefinierte Kategorien. Dächer mit einer Neigung unter 5 Grad werden von der Stadt Wien als Flachdächer definiert. Dächer von 30 Grad sind für Gästezimmer oder Hobbyräume geeignet, ab 35 Grad werden eine bestimmte Mindestraumhöhe und ein damit verbundener hoher Wohnkomfort erreicht.

5.3.2 Workflow der Durchführung des Dachausbaupotentials

In diesem Unterkapitel wird das Dachausbaupotential berechnet. Im ersten Schritt müssen geschlossene Geometrien erstellt werden, da nur aus vollständigen Hüllen ein Volumen berechnet werden kann. Für Gebäude kann diese durch das Tool „Merge“ der drei Multipatch Feature Classes (GroundSurface, RoofSurface, WallSurface) erfolgen. (vgl. COORS et al. 2016: 399 ff.) Durch das Tool „Layer to 3D Feature Class“ werden alle Features mit gleicher `gml_parent_id` zu einer Multipatch-Geometrie zusammengefügt, also es werden also alle Einzelgeometrien zu je einem Gebäude zusammengefasst. Mit dem Tool „Is Closed 3D“ wurde allerdings festgestellt, dass durch diese Herangehensweise weniger als 20 % der Gebäudeblöcke geschlossen sind. Daher musste noch zusätzlich das Tool „Enclose Multipatch“ angewendet werden. In meiner praktischen Durchführung

wurde für die Volumenberechnung der Dächer daher sofort das Tool „Enclose Multipatch“ angewendet, da dieses Tool den Großteil der Gebäude bzw. Dächer schließt.

Tab. 15: Volumenberechnung der Dachteilflächen

<i>Tool</i>	<i>Beschreibung</i>
Is Closed 3D	Mit diesem Tool wurde bestimmt, ob die einzelnen Features ein Raumvolumen vollständig umschließen. Das Ergebnis zeigt, dass fast alle Features nicht geschlossen sind.
Enclose Multipatch	Erstellung von geschlossenen Features. Parameter: Grid Size: 0,25
Add Z Information	Durch diesen Schritt erhalten die einzelnen Features neue Attribute mit Informationen über den höchsten und niedrigsten Z-Wert und über das vom Dachteil eingeschlossene Volumen. Parameter: Output Property: Lowest Z Highest Z Volume
Add Join	Die Ergebnisse des vorangegangenen Schrittes werden zu der Ausgangsdatei hinzugefügt. Parameter: Layer Name: RoofSurface (Ausgangsdatei) Join Table: RoofSurface (Volumenberechnung) Join Fields: Object ID
	Abb. 34: Volumenberechnung der Dachteilflächen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Das Tool „Enclose Multipatch“ wird während der Durchführung, aufgrund der Datenmenge immer langsamer und daher dauert der Rechengvorgang mehrere Stunden, weshalb die gewählte Grid Size als optimal angesehen wurde. Bei der Grid Size handelt es sich um die Auflösung, die zum Erstellen der geschlossenen Multipatch-Features verwendet wird. Umso kleiner die Grid Size, umso mehr Features werden erfolgreich geschlossen, aber die Rechendauer erhöht sich drastisch. Die Grid Size wurde so gewählt,

dass möglichst viele geschlossene Geometrien entstehen, der Prozess allerdings vollständig abgeschlossen werden kann, da der Durchlauf bei kleinerer Grid Size immer länger dauert, bzw. nicht vollständig durchgeführt wird, einen Software-Absturz verursacht oder fehlerhaft ist.

Der Versuch, diesen Vorgang durch eine Iteration (Iterate Feature Selection) zu beschleunigen bewirkte das Gegenteil. Auch eine For-Schleife erzielte nicht das gewünschte Ergebnis, da hier der Durchlauf in einer akzeptablen Geschwindigkeit erfolgte, allerdings die Originale ID nicht erhalten blieb und so das Ergebnis nicht zu der 3D-Ausgangsdatei „gejoint“ werden konnte.

In diesem Schritt wurden geschlossene Geometrien erstellt, der höchste und niedrigste Höhenwert (Z-Wert) ermittelt und das Volumen der einzelnen geschlossenen Dachteile berechnet. Diese einzelnen Dachteile werden im nächsten Schritt, mithilfe einer übergeordneten ID, zu einem Gebäudedach aufsummiert.

Tab. 16: Berechnung Volumen, Höhe und Grundfläche des Dachausbaus pro Dachfläche

<i>Tool</i>	<i>Beschreibung</i>
Summary Statistics	Volumen der Dachteile wird für jedes Gebäudedach summiert. Parameter: Statistic Field: Volumen Statistic Type: Summe Case Field: GML Parent ID
Add Join	Die Summenbildung des Volumens wird zur Ausgangsdatei hinzugefügt. Parameter: Layer Name: RoofSurface (Ausgangsdatei) Join Table: Summary Statistics Join Fields: GML Parent ID
Add Field Calculate Field	Berechnung der Höhe des maximal möglichen Dachausbaus. Expression: $HoeheDachausbau = Z\text{-Max} - Z\text{-Min}$
Join Field	Für die Grundfläche, welche für den Dachausbau zur Verfügung stehen würde, wurde das entsprechende Attribut der GroundSurface-Datei hinzugefügt. Parameter: Input Table: RoofSurface (Ausgangsdatei) Join Table: Ground Surface Join Field: Flaeche

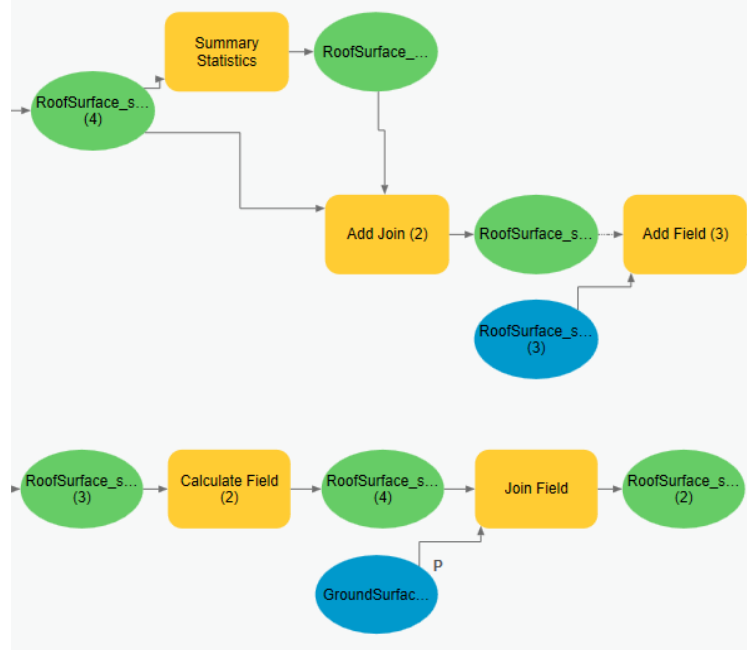


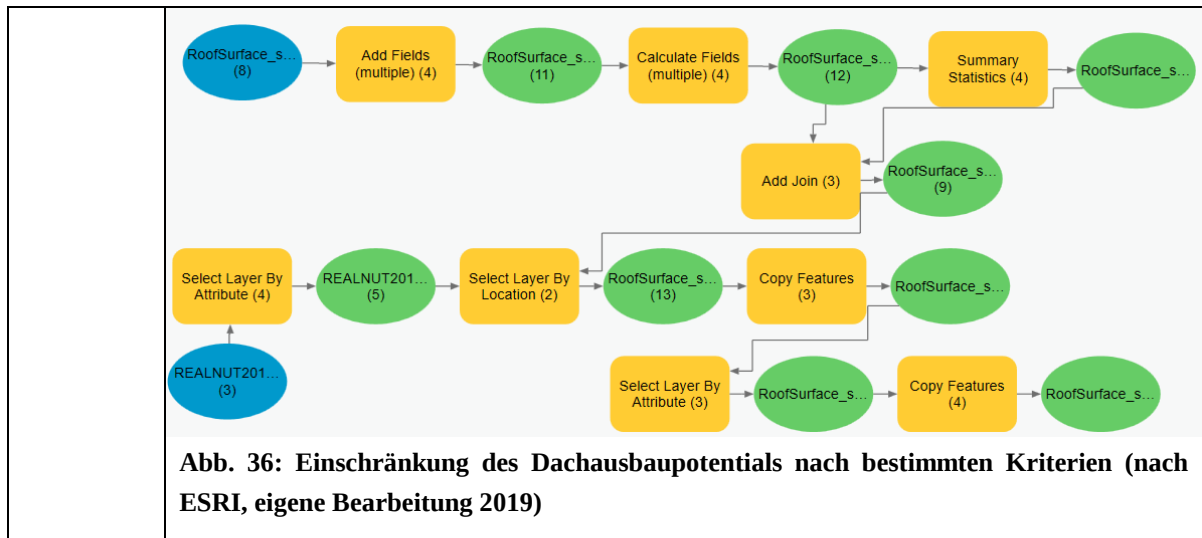
Abb. 35: Berechnung von Volumen, Höhe und Grundfläche des Dachausbaus pro Dachfläche (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Für jedes Gebäudedach wurde das Gesamtvolumen, die Grundfläche und die maximale Höhe, welche für den Dachausbau zur Verfügung steht, ermittelt. Diese Werte betreffen das gesamte Dach und sind nicht vollständig nutzbar. Das ermittelte Gesamtvolumen (Tab. 15 bzw. Tab. 16) bezieht sich auf das gesamte Dachvolumen, also das von einem einzelnen Multipatch-Feature umschlossene Raumvolumen, dieses ist höher als das tatsächlich nutzbare Dachausbauvolumen, welches im nächsten Schritt (Tab. 17) ermittelt wird.

Tab. 17: Einschränkung Dachausbaupotential auf ganze Stockwerke und Realnutzung Wohnen

Tool	Beschreibung
Add Fields	Hinzufügen von neuen Feldern und Berechnung dieser. Für ein neues Stockwerk wird eine Höhe von 3 m angenommen, daraus ergeben sich ganze Stockwerke und folglich auch die Gesamthöhe der Stockwerke. Für das
Calculate Fields	Potential der Nutzfläche als auch der Nutzkubatur ist die Dachform ausschlaggebend. Für die Berechnung wurde einheitlich für jeden Dachteil der Querschnitt eines rechtwinkligen Dreieckes angenommen, näher Erläuterung und Formelherleitungen in den Ergebnissen (Kapitel 6.2).
	Expression: $\text{Stockwerke} = \text{!HoeheDachausbau!} // 3$ $\text{HoeheStockwerke} = \text{!stockwerke!} * 3$ $\text{NutzVolumen} = \text{!RoofSurfaceVolume!} * (\text{!HoeheDachausbau!} * \text{!HoeheDachausbau!} - 3 * 3) / (\text{!HoeheDachausbau!} * \text{!HoeheDachausbau!})$ $\text{NutzFlaecheStockwerke} = \text{NuFlae}(\text{!HoeheDachausbau!}, \text{!FlaechePolygon!}, \text{!stockwerke!})$

	Code Block: <pre>def NuFlae(HoeheDachausbau, FlaechePolygon, stockwerke): x=FlaechePolygon*((HoeheDachausbau-3)/HoeheDachausbau) for i in range (1, int(stockwerke)): x=x+x*(HoeheDachausbau-i*3)/(HoeheDachausbau-(i-1)*3) return x</pre>
Summary Statistics	Es wird das nutzbare Gesamtvolumen und die nutzbare Gesamtfläche für ein ganzes Gebäudedach ermittelt. Parameter: Statistic Fields: NutzVolumen, NutzFlaecheStockwerke Statistic Type: Summe Case Field: gml_parent_id
Add Join	Die Erkenntnisse der Summary Statistics werden zur Ausgangsdatei als neue Attribute hinzugefügt.
Select Layer By Attribute	Mit diesem Schritt wurde eine Auswahl der Realnutzung für die Analyse getroffen. Die Gebäude werden auf Wohngebäude beschränkt, da z.B. Kirchen (welche in der Berechnung oft ein hohes Potential hätten) nicht zur Verfügung stehen und andere Nutzungsarten (andere soziale Einrichtungen, Industrie...) nur sehr eingeschränkt ausgebaut werden können. Parameter: Layer Name: Realnutzung New Selection Expression: Nutzung_L0 is Equal to Wohn- u. Mischnutzung (Schwerpunkt Wohnen)
Select Layer By Location	Einschränkung der Dachteile (Ergebnis Tab. 16), welche sich mit der ausgewählten Realnutzung des vorangegangenen Schrittes überschneiden. Diese werden separat als neue Feature Class abgespeichert.
Copy Features	Parameter: Input Feature Layer: RoofSurface (Ausgangsdatei) Relationship: Intersect Selecting Features: Realnutzung
Select Layer By Attribute	Die geeigneten Dächer werden durch bestimmte Kriterien beschränkt.
Copy Features	Expression: Dachtyp is Equal to 2 and HoeheDachausbau is Greater Than or Equal to 3 and Sum_NutzVolumen is Greater Than or Equal to 120 and Sum_NutzFlaecheStockwerke is Greater Than or Equal to 40



Die potentiellen Dächer wurden anhand bestimmter Kriterien eingeschränkt. Es handelt sich um Gebäude mit Realnutzung Schwerpunkt Wohnen, die Dächer haben eine Dachneigung von größer gleich 30 Grad, die Höhe des Dachausbaus ist größer gleich 3 m, dadurch werden nur noch ganze Stockwerke berücksichtigt, die Fläche ist mindestens 40 m² und das Volumen mindestens 120 m³. Die hier verwendeten Werte wurden so gewählt, dass im jeweiligen Dach zumindest eine Wohnung von ungefähr 30 m² Platz findet. Die Einschränkung über ein Volumen von 120 m³ dient dazu, bei Vorhandensein entsprechender Grundfläche und maximaler Höhe sicherzustellen, dass ein zu steiles Dach die Nutzung nicht negativ beeinflusst.

5.4 Gründachpotential in m²

In diesem Analyseabschnitt wird nach Flachdächern, welche optimal für einen „Park am Dach“ geeignet sind, gesucht, indem die Entfernungen zu bereits bestehenden Grünflächen mit einer Netzwerkanalyse untersucht werden. Damit durch die Nachverdichtung und die Wohnraumschaffung auch genügend Grünraum für jede einzelne Person zur Verfügung steht, muss in diesem Kontext auch an neue Möglichkeiten zur Grünraumschaffung gedacht werden. Mehr Grünflächen innerhalb der Stadt steigern nicht nur die Lebensqualität der dort lebenden Menschen, sondern sorgen auch für ein besseres Stadtklima, indem sie als natürliche Stadtklimaanlage fungieren.

5.4.1 Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung für die Netzwerkanalyse

Tab. 18: Aufbereitung Grünflächen und Straßen für die Netzwerkanalyse

Tool	Beschreibung
Buffer	Bezirksgrenzen werden gepuffert, damit auch für Gebäude am Rand des Bezirks mögliche erreichbare Grünflächen in angrenzenden Bezirken berücksichtigt werden.

	Parameter: Distance: 1000 Meter
Clip	Die Zugänge der öffentlichen Grünflächen, welche sich mit dem Buffer-Feature überlagern, werden extrahiert.
Spatial Join	Attribute der Grünflächen werden zu den entsprechenden Zugangspunkten hinzugefügt. Parameter: Target Features: öffentliche Grünflächen Zugänge (Punkte) Join Features: öffentliche Grünflächen (Flächen) Join Operation: join one to one Match Option: Closest Search Radius: 5 Meter
	Für die Netzwerkanalyse müssen noch die Straßen (Linien) und Parkzugänge (Punkte) soweit aufbereitet werden, dass diese für die Berechnung und im weiteren Sinne natürlich auch für den Fußgänger genutzt werden können.
Snap	Die Zugänge zu den Parks werden an die nächstgelegene Kante (Edge) des Straßengraphen verschoben. Parameter: Input Features: Parkzugänge (Punkte) Snap Environment: Features: Straßengraph (Linien) Type: Edge Distance: 30 Meter
Split Line at Point	Der Straßengraph wird mit den Punkten der Parkzugänge geteilt. Dieses Ergebnis wird für die Netzwerkanalyse verwendet.
Händische Korrektur	Da bereits eine sehr große Distanz von 30 m für das Tool Snap gewählt wurde, mussten noch 3 Parkzugänge im gesamten Bezirk verschoben werden, da es zu diesen Eingängen keine offiziell erfasste Straße gibt (z.B. Eingang Schloss Belvedere, Abb. 38). Diese Zugänge werden für die Netzwerkanalyse verwendet.

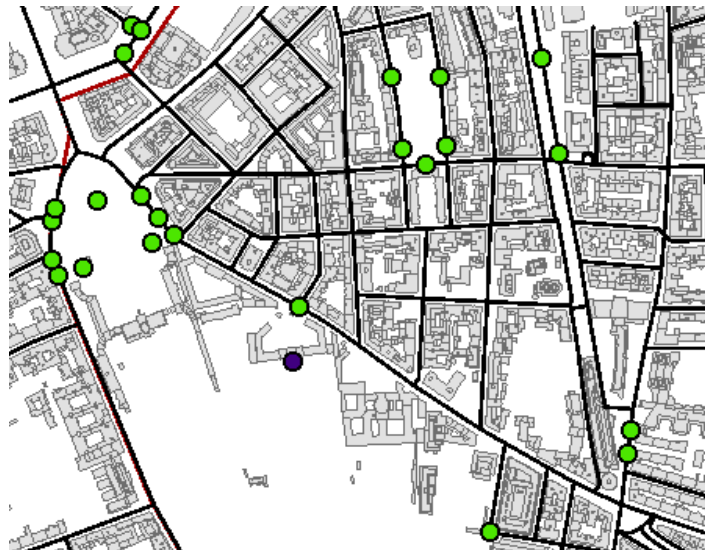
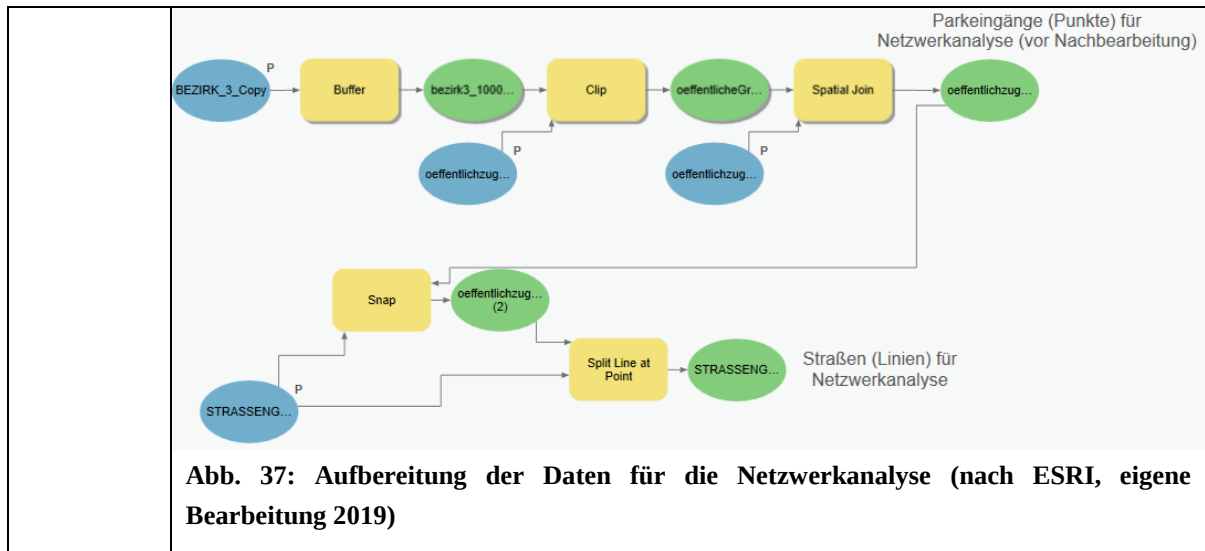


Abb. 38: Parkeingänge (Punkte) und Straßen (Linien)

Dieser Kartenausschnitt (Abb. 38) zeigt einen zu verschiebenden Parkeingang (lila), da dieser auf keinem fußgängergeeigneten Weg liegt, die korrekten Parkeingänge (grün) und die Straßen, welche für die Netzwerkanalyse verwendet wurden.

5.4.2 Erstellung der Netzwerkanalyse

Für die Analyse der Einzugsgebiete der Parks im Dritten Bezirk wird die Erweiterung „ArcGIS Network Analyst“ benötigt. Zuerst wurde im ArcMap ein Network Dataset erstellt und in diesem die Feature Klassen, welche an der Analyse beteiligt sind, selektiert. Für die Entfernungsrechnung werden Meter festgelegt, diese Längen beziehen sich auf die Shape_Length der Straßenlinien.

Anschließend wurde eine Service Area erstellt, alle Parkzugänge als Facilities (zugeordnete Einrichtungen) geladen und als Break wurden 250 m angenommen. Mit Break können verschiedene Polygonunterbrechungswerte gespeichert werden.

Das bedeutet kurz zusammengefasst, dass von allen Parkzugängen im Dritten Bezirk 250 m Einzugsgebiet berechnet werden, da von jedem Gebäude ausgehend eine Grünfläche innerhalb dieser Entfernung erreichbar sein sollte.

5.4.3 Workflow der Datengrundlagen-Aufbereitung Gründachpotentialkataster

Tab. 19: Aufbereitung Gründachpotentialkataster

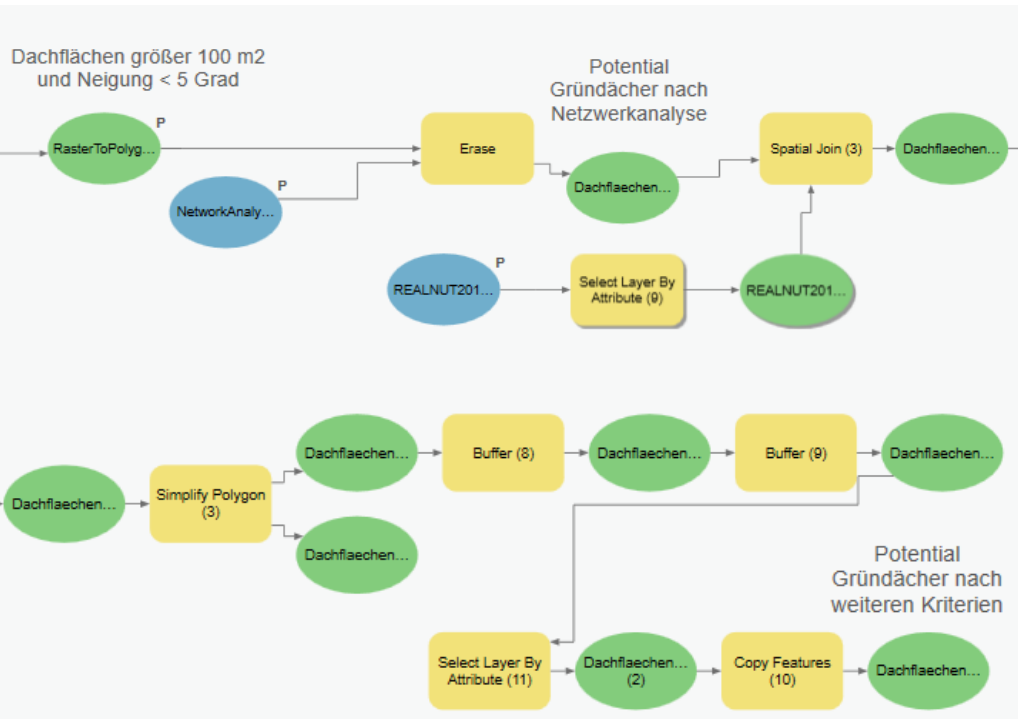
Tool	Beschreibung
Raster to Polygon	Der Gründachpotentialkataster steht als FGDBR (File Geodatabase Raster Dataset) zur Verfügung und wurde in Polygon Features umgewandelt.
Select Layer By Attribute Copy Features	Dachflächenteile mit einer Neigung von < 5 Grad werden selektiert und gespeichert. Im Datensatz haben Dachflächenteile mit der gesuchten Neigung den Gridcode „0“. Parameter: New selection Expression: Gridcode = 0
Select Layer By Attribute Copy Features	Zusätzlich werden zusammenhängende Dachflächenteile mit einer Größe $\geq 100 \text{ m}^2$ als separate Feature Class exportiert. Parameter: New selection Expression: ShapeArea ≥ 100
Abb. 39: Aufbereitung Gründachpotentialkataster (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)	

Die Rasterdatei wurde in Polygone umgewandelt und deren Flächen wurden auf Dachflächen mit einer Neigung von < 5 Grad und einer Größe von $\geq 100 \text{ m}^2$ beschränkt. Die Flächen dieses Zwischenergebnisses haben keinen Bezug zu den zugrundeliegenden Gebäudegrenzen. Dadurch kann ein entstandenes Polygon sich auch über mehrere Dächer erstrecken, was für die Analyse allerdings irrelevant ist, da Parkanlagen auf Dächern auch über mehreren Gebäuden zeitgleich errichtet werden können.

5.4.4 Workflow der Durchführung des Gründachpotentials

Tab. 20: Einschränkung des Gründachpotentials nach bestimmten Kriterien

<i>Tool</i>	<i>Beschreibung</i>
Erase	Überlagerung der Dachflächen (Ergebnis Tab. 19) mit dem Ergebnis der Netzwerkanalyse (Abb. 55). Nur die Bereiche der Dachflächen außerhalb der errechneten Einzugsgebiete durch die Netzwerkanalyse sind für die weitere Analyse relevant.
Select Layer By Attribute	Die potentiellen Gründächer werden im nächsten Schritt durch die Realnutzung weiter eingeschränkt. Es werden die Verkehrsflächen selektiert und anschließend die Selektion invertiert. Parameter: LayerName: Realnutzung New selection Expression: „Nutzung” Begins With „St” Or „Nutzung” is Equal to „weitere verkehrliche Nutzungen” Invert Where Clause
Spatial Join	Attribute der Realnutzung werden zu den potentiellen Gründachflächen gejoinet. Parameter: Target Features: geeignete Dachflächen (Erase Ergebnis) Join Features: Realnutzung (Select Layer By Attribut Ergebnis) Match Option: Intersect
Simplify Polygon	Die Polygone werden vereinfacht. Die Funktion „Simplify Polygon“ muss vor der Einschränkung der Flächenbreite durchgeführt werden, da sonst sehr viele Flächen aufgrund ihrer Porosität wegfallen würden (sie enthalten kleine Polygone in ihren Umrissen). Parameter: Simplification Algorithm: retain weighted effective areas (Zhou-Jones) Simplification Tolerance: 2 m Minimum Area 100 m ²
Buffer (2x)	Das Tool Buffer wird zweimal ausgeführt und zwar zuerst mit einer negativen Distanz und dann mit einer positiven Distanz. Dadurch können Flächen mit einer Breite unter 3 m ausgeschlossen werden. Parameter: Distance: - 1,5 m bzw. + 1,5 m
Select Layer By Attribute	Nochmals müssen die endgültigen potentiellen Flächen nach ihrer Größe selektiert werden. Parameter: New selection Expression: Shape_Area is Greater Than or Equal to 100

Copy Features	Dieses Ergebnis zeigt, welche Flachdachflächen (> 100 m ²) für eine intensive Begrünung geeignet wären, denn in diesen Stadtgebieten besteht Bedarf an Grünflächen, da die nächsten Grünflächen weiter entfernt sind als 250 m (Abb. 57).
	 Abb. 40: Einschränkung des Gründachpotentials (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Flachdächer mit mehr als 250 m Distanz zu einer öffentlichen Grünfläche, können unter Betrachtung zusätzlicher Kriterien als potentielle Gründächer bezeichnet werden. Das Endergebnis dieses Modells präsentiert vereinfachte Polygone mit einer Mindestbreite von 3 m, einer Mindestfläche von 100 m² und Flächen, bei denen es sich um keine Verkehrsflächen handelt.

6 Ergebnisse und Interpretation

6.1 Aufstockungspotential

Ergebnisse Pauluspark

Der generalisierte FWP ist nicht so detailliert wie er für so eine Analyse benötigt wird, daher wurde für ein beispielhaftes Gebiet im 3. Bezirk, dem Pauluspark, neben der automatisierten Analyse (Kapitel 5.2) eine Vergleichsanalyse durchgeführt. Für diese Vergleichsanalyse wurden die benötigten Details und Informationen per Hand eingetragen, weshalb sich diese Methode nur für ein beschränktes Vergleichssystem eignet.

Im konkreten Fall sind im generalisierten FWP (Abb. 41 links) Flächen, welche gärtnerisch auszugestalten und somit im Regelfall nicht für Bebauung vorgesehen sind, nicht erfasst. Diese Details können dem Bebauungsplan entnommen werden. Im rechten Bild wurden diese Flächen für die Detailanalyse dieser Beispielregion zusätzlich erfasst und neue Attribute mit den Informationen des Flächenwidmungsplans erstellt.

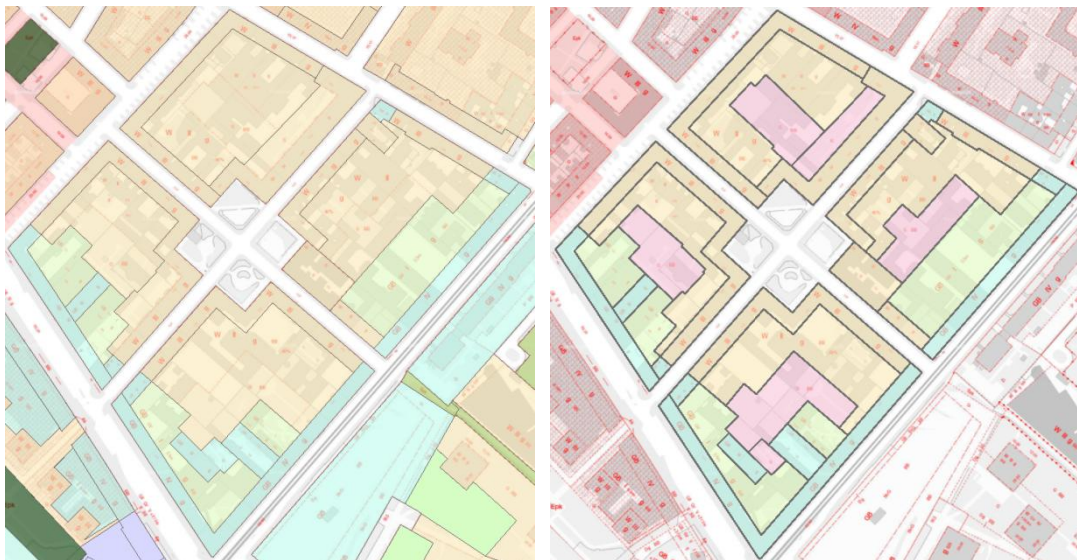


Abb. 41: Vergleich der Widmungsklassen des generalisierter FWP (links) und des FWBP (rechts)

Die automatisierte Berechnung des bebaubaren Potentials wird zusätzlich für den ausgewählten Gebäudeausschnitt mit den tatsächlichen Daten des Flächenwidmungs- und Bebauungsplans durchgeführt, um die Unterschiede und somit die Richtigkeit der automatisch generierten Daten zu validieren. Das Ergebnis (Abb. 42) zeigt, dass zwar Gebäude, welche direkt an der Straße liegen, tendenziell bei den angenommenen Höhen richtige Ergebnisse liefern, allerdings die Gebäude im inneren der Gebäudeblöcke, wo auch der generalisierte FWP an den detaillierten FWBP angepasst wurde, bei der vorliegenden Annahme ein deutlich höheres Potential besitzen, als es tatsächlich der Fall ist. Außerdem ist der oben erwähnte Effekt der Generalisierung der gärtnerisch zu

gestaltenden Flächen zu sehen. Die untere Grafik zeigt das tatsächliche Potential, die obere Grafik die Annahme. Bei einem Potential von 3 m Höhe kann mit einem Ausbau von einem vollwertigen Stockwerk gerechnet werden, da die gesetzlich festgelegte Raumhöhe von 2,5 m eingehalten werden kann. Die gelb eingefärbten Potentiale in der Darstellung sind daher für die Aufstockung zum Großteil nicht geeignet, da diese Gebäude zwar über ein Potential in Meter verfügen, dieses allerdings unter der Grenze von 3 m liegt.



Abb. 42: Vergleich Ausbaupotential Annahme (generalisierter FWP) und FWBP

In dem gezeigten Pop-up Fenstern (Abb. 43) sind die Unterschiede von den tatsächlichen zu den fiktiven Ergebnissen nochmals in Zahlen verdeutlicht. Dabei ist in jeder Darstellung ein exemplarisches Gebäude ausgewählt und die Unterschiede durch die angenommene erlaubte Bebauungshöhe zur tatsächlichen erlaubten Bebauungshöhe durch

gelbe Markierungen hervorgehoben. Neben dem bebaubaren Potential in Meter wurde auch die Kubatur in m^3 , sowohl für die angenommene als auch für die tatsächliche zulässige Höhe, ermittelt. In der oberen Grafik stimmt die Annahme mit der Realität überein, in der unteren nicht.

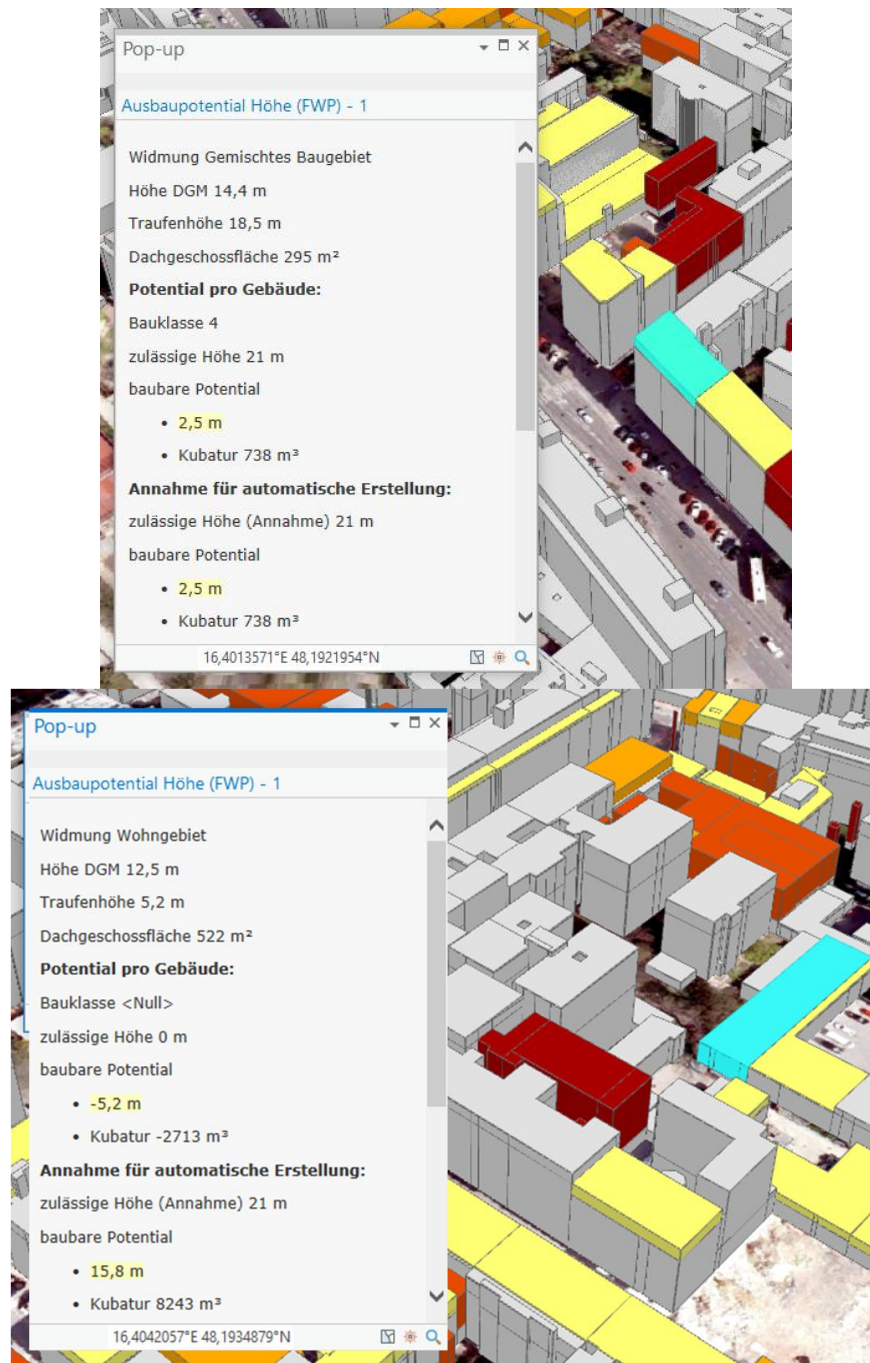


Abb. 43: Vergleich anhand von Attributen zweier Gebäude

Als Referenzebene dient in der dreidimensionalen Darstellung (Abb. 44) die aktuelle Gebäudehöhe, welche die Berührungsebene der in Rottöne und Grüntöne gefärbten Gebäudeblöcke bildet. Ein negatives Potential sagt, dass betroffene Gebäude bereits Höher sind, als die erlaubte Höhe laut Bebauungsplan.

Die kleinflächigen positiven und negativen Ausreißer entstehen meist dadurch, dass einige Gebäude nicht zur Gänze (z.B. Erker) innerhalb einer Widmungsklasse oder nicht exakt deckend mit der FWBP-Linie errichtet wurden.

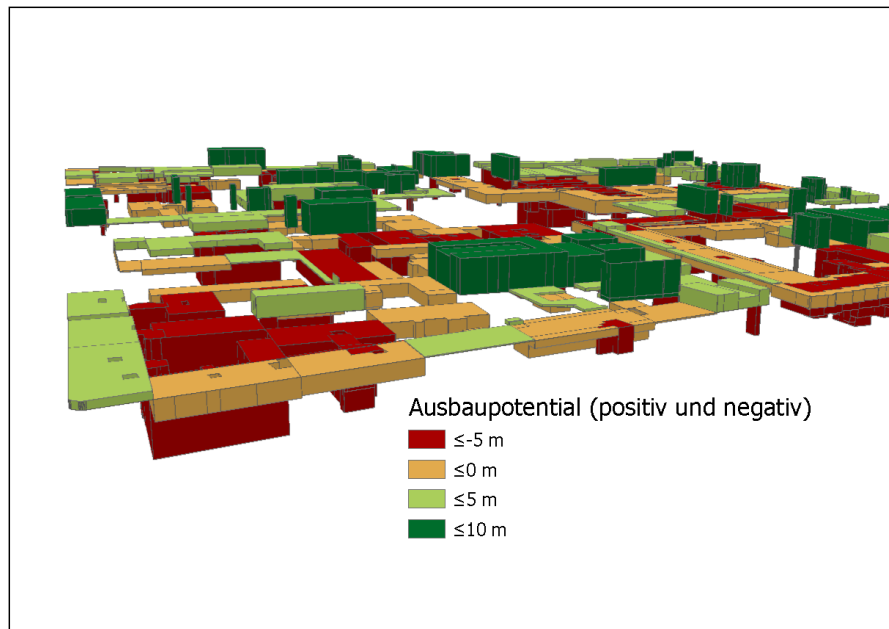


Abb. 44: positives und negatives Aufstockungspotential

Das positive Kubatur-Gesamtpotential im Dritten Bezirk sind fast 5.290.000 m³, davon entfallen 3.100.000 m³ auf die Realnutzung Schwerpunkt Wohnen. Bei der gesamten potentiellen Wohnfläche handelt es sich um 1.760.000 m², wobei sich 1.030.000 m² dem Schwerpunkt Wohnen widmen. Dies bedeutet, dass, bei Annahme einer Wohnungsgröße von 40 m², über 25.000 neue Einzimmerwohnungen innerhalb der Wohn- und Mischnutzung (bei allen Nutzungsarten wären das 44.000 Wohnungen) im Dritten Bezirk durch Aufstockung entstehen könnten. Einzimmerwohnungen haben eine Mindestgröße von 30 m², für die Kalkulation wurde diese Flächenzahl auf 40 m² vergrößert, da neben dem Bau von Wänden auch noch gemeinschaftlich genutzte Flächen, wie das Stiegenhaus, anteilmäßig berücksichtigt werden sollten. Dieses Ergebnis bezieht sich nur auf die automatisch generierten Annahmen der erlaubten Höhe pro Gebäude. Ebenso berücksichtigt das Ergebnis nicht die exakte Raumhöhe, welche tatsächlich für den Bau eines Stockwerkes benötigt wird (Decken-, Bodenaufbau), also handelt es sich um ein beispielhaftes maximal Potential für Einzimmerwohnungen.

Allein der Gebäudeblock (Paulusplatz) hat mit den angenommenen, nicht tatsächlich existenten, zulässigen Höhenwerten mit Einschränkung auf Wohn- und Mischnutzung ein Potential von 74.000 m² bzw. 220.000 m³, was 1.800 neuen Wohnungen entspricht. Mit den tatsächlich zulässigen Höhenwerten, welche aus dem Flächenwidmungs- und Bebauungsplan bekannt sind, ergibt sich aus der automatisierten Analyse ein Potential von 18.000 m² bzw. 55.000 m³, und dies entspricht 460 neuen Einzimmerwohnungen. An diesem Gebäudeblockbeispiel ist ersichtlich, dass die angenommenen Werte stark von den tatsächlichen Werten abweichen, was auch für den gesamten Bezirk angenommen werden

sollte. Daher kann der Schluss gefasst werden, dass das Aufstockungspotential nur durch die exakten Werte aus dem FWBP praktisch nutzbar zu ermitteln ist, da durch die angenommenen Werte ein enormes, nicht vorhandenes Potential entstehen würde. Die Berechnung zeigt aber deutlich, dass die Automatisierung nicht nur gut funktioniert, sondern auch eine gute Möglichkeit neuer ökologischer Wohnraumschaffung aufzeigt.

Limitationen der Berechnung ergeben sich unter anderem aus der Annahme der erlaubten Gebäudehöhe, allerdings auch aus der Vernachlässigung anderer limitierender Faktoren. So wurden etwaige Beschattung vorhandener Gebäude oder schützenswerte Architekturen nicht berücksichtigt, was das Potential weiter reduzieren würde. Auch wurde keine Sichtbarkeitsanalyse sehenswerter Orte und Architekturen durchgeführt, was im Falle einer Aufstockung ebenfalls zu Limitationen und Problemen führen könnte. Da statische Einschränkungen seitens der Gebäudephysik nicht eingerechnet werden konnten, ist die vorliegende Analyse als erstes richtungsweisendes Werkzeug zu sehen, womit analysiert werden kann, bei welchen Gebäuden sich ein genauer Blick auf Aufstockungsmöglichkeiten lohnen könnte.

6.2 Dachausbaupotential

Für einen ersten grafischen Überblick wurden die Dachtypen ermittelt (Tab. 14). Am Dachtyp lässt sich erkennen, welche Dächer überhaupt Potential besitzen, um ausgebaut zu werden, da für die tägliche Nutzung eines Raumes eine Mindestraumhöhe und damit verbunden eine vorteilhafte Dachneigung nötig sind. Die folgenden zwei Grafiken (Abb. 45) zeigen eine exemplarische Darstellung der Dachtypen an zwei Ausschnitten. Diese Kategorisierung der Dachneigung in drei Gruppen veranschaulicht in der Farbe Rot Dachneigungen von über 30 Grad, welche für die in diesem Kapitel durchgeführte Berechnung relevante Dächer für den Dachausbau darstellen.



Abb. 45: Dächer gruppiert nach Dachneigung im Dritten Bezirk (Ausschnitte: Pauluspark links, Kegelgasse rechts)

Das folgende Histogramm (Abb. 46) zeigt die Anzahl der Dächer im Dritten Bezirk, aufgelistet anhand ihrer Dachtypen (von links: Flachdach (0 – 5 Grad), < 30 Grad, > 30 Grad). Diese Verteilung liefert einen ersten Überblick über die vorhandene

Dachlandschaft. Dächer mit > 30 Grad Neigung sind am Häufigsten, diese sind ausbaufähig oder bereits ausgebaut, daher werden diese Dächer im Anschluss genauer analysiert. Bei den Analysen wird nicht zwischen bereits ausgebauten und den ausbaufähigen Dächern unterschieden, da dies nicht aus den Daten hervorgeht. Bereits ausgebaute und somit bewohnte Dachböden könnten nur durch Luftbilder herausgefiltert werden.

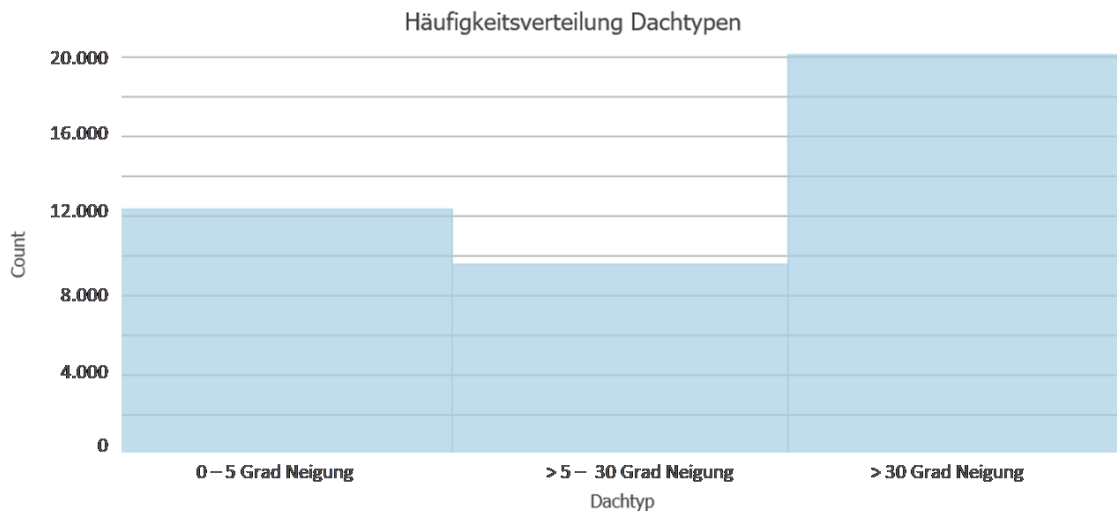


Abb. 46: Häufigkeit der Dachtypen (nach ESRI, eigene Bearbeitung 2019)

Das Tool „Add Z Information“ liefert das Volumen, welches ein Multipatch, also der jeweilige Teil eines Daches, einnimmt. Allerdings ist für den Wohnungsbau nicht das gesamte Volumen nutzbar, da unter einer Mindestraumhöhe kein Ausbau möglich ist. Dies gilt gleichermaßen für die Kalkulation der nutzbaren Dachausbaufläche, wobei sich die Nutzfläche durch das Einbringen mehrerer Stockwerke erhöht. Als Mindestraumhöhe wurden in dieser Arbeit 3 m angenommen, da so nach Einbringen von Fußböden und Deckenverbauen noch 2,5 m lichte Raumhöhe verbleiben sollten.

Um nun das tatsächlich nutzbare Dachvolumen auszurechnen, wird angenommen, dass sich der Großteil der vorliegenden Dachteile durch ein Prisma mit rechtwinkeligem Dreiecksquerschnitt beschreiben lässt. Dies ist für die Dachtypen Pultdach, Satteldach und teilweise auch für Walmdach korrekt, lediglich Sonderdachtypen, wie Turmdächer oder Kuppeldächer, sind dadurch nicht beschreibbar, allerdings entfallen auf diese Dachtypen lediglich ca. 5 % aller Dächer. In Abb. 47 wird ein wie soeben beschrieben angenähertes Dach schematisch dargestellt.

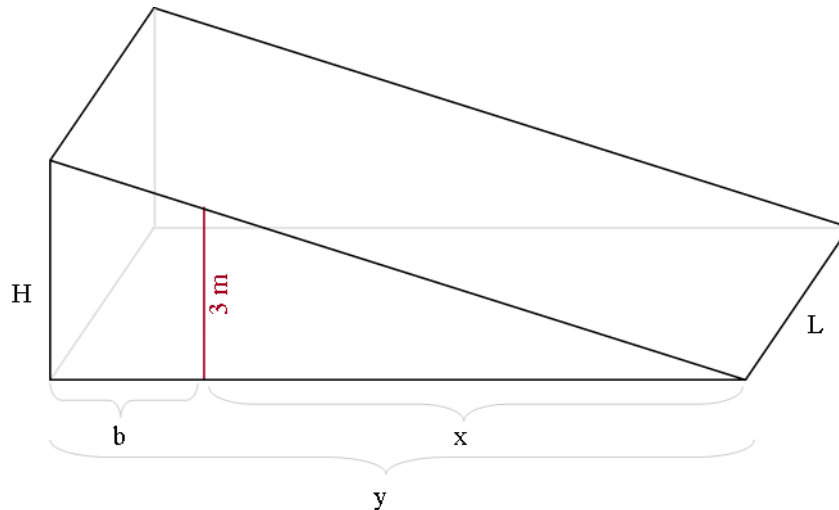


Abb. 47: schematisches Dach für Berechnung der nutzbaren Volumina (eigene Darstellung 2019)

Das Volumen eines solchen Daches (z.B. Pultdach oder Hälfte eines Satteldaches) lässt sich einfach durch die Volumenformel eines Prismas ausdrücken:

$$V = G * H \quad (1)$$

Wobei G die Grundfläche des rechtwinkligen Dreiecks und H die maximale Höhe des Daches sind. G ist hierbei das Produkt der Dachlänge L und der Dachbreite y. Daraus folgt:

$$V = L * y * H \quad (2)$$

Das nutzbare Volumen ist allerdings durch die Raumhöhengrenze von 3 m beschränkt, wodurch die nutzbare Dachbreite b sich aus der Differenz von y und x ergibt. Das Nutzbare Volumen V_b entspricht mathematisch der Differenz des Dachvolumens V (errechnet aus Add Z Information) und dem nicht nutzbaren Volumen V_x :

$$V_b = V - V_x = L * y * H - L * x * 3 \quad (3)$$

Da die Länge des Daches L allerdings nicht bekannt ist, wird eine Berechnung ohne diese Variable angestrebt. Dies kann dadurch erreicht werden, indem man V und V_b in ein Verhältnis setzt und sich den Faktor F_v ausrechnet:

$$F_v = \frac{V_b}{V} = \frac{(L * y * H - L * x * 3)}{(L * y * H)} \quad (4)$$

Dadurch kürzt sich L aus der Gleichung raus. Laut dem Tangenssatz für rechtwinkelige Dreiecke lassen sich x und y wie folgt ausdrücken:

$$y = \frac{H}{\tan \alpha} \quad (5)$$

$$x = \frac{3}{\tan \alpha} \quad (6)$$

Eingesetzt in die vereinfachte Gleichung (4) ergibt sich für F_v :

$$F_v = \frac{\left(\frac{H^2}{\tan \alpha} - \frac{3^2}{\tan \alpha} \right)}{\left(\frac{H^2}{\tan \alpha} \right)} \quad (7)$$

Wodurch sich wiederum $\tan(\alpha)$ raus kürzt. Nach Kürzen und ausmultiplizieren bleibt für den Faktor F_v folgende Gleichung übrig:

$$F_v = \frac{H^2 - 3^2}{H^2} \quad (8)$$

Multipliziert man diesen Faktor mit dem Volumen aus dem „Add Z Information“, erhält man das nutzbare Volumen des jeweiligen Dachteiles V_b . Die gleiche Herangehensweise wird auch für die Berechnung der nutzbaren Fläche G_b herangezogen:

$$G = L * y \quad (9)$$

$$G_b = L * b \quad (10)$$

$$F_G = \frac{(L * b)}{(L * y)} = \frac{b}{y} = \frac{(y - x)}{y} = \frac{\left(\frac{H}{\tan \alpha} - \frac{3}{\tan \alpha} \right)}{\left(\frac{H}{\tan \alpha} \right)} \quad (11)$$

$$F_G = \frac{(H - 3)}{H} \quad (12)$$

Durch Multiplikation des Faktors F_G mit der Grundfläche G ergibt sich dadurch die nutzbare Fläche G_b für das erste Stockwerk. Bei einer Raumhöhe größer als 6 m passen aber mehrere Stockwerke in ein Dach, wodurch sich die gesamte Nutzfläche als Summe mehrerer Nutzflächen (eine pro Stockwerk) ergibt. Bei logischer Betrachtung des Aufbaus der Stockwerke über den rechtwinkligen Dreiecksquerschnitt ergibt sich die Grundfläche G für Gleichung (9) für ein höheres Stockwerk aus der Nutzfläche G_b des darunterliegenden Stockwerkes, wie in Abb. 48 dargestellt ist. Allerdings reduziert sich die Raumhöhe H natürlich um die Höhe aller darunterliegender Stockwerke im Dach, also um $3 * \text{Anzahl der Stockwerke}$. Die gesamte Nutzfläche eines Daches ergibt sich somit aus der Summe sämtlicher Einzelnutzflächen, wie in Gleichung (13) beschrieben.

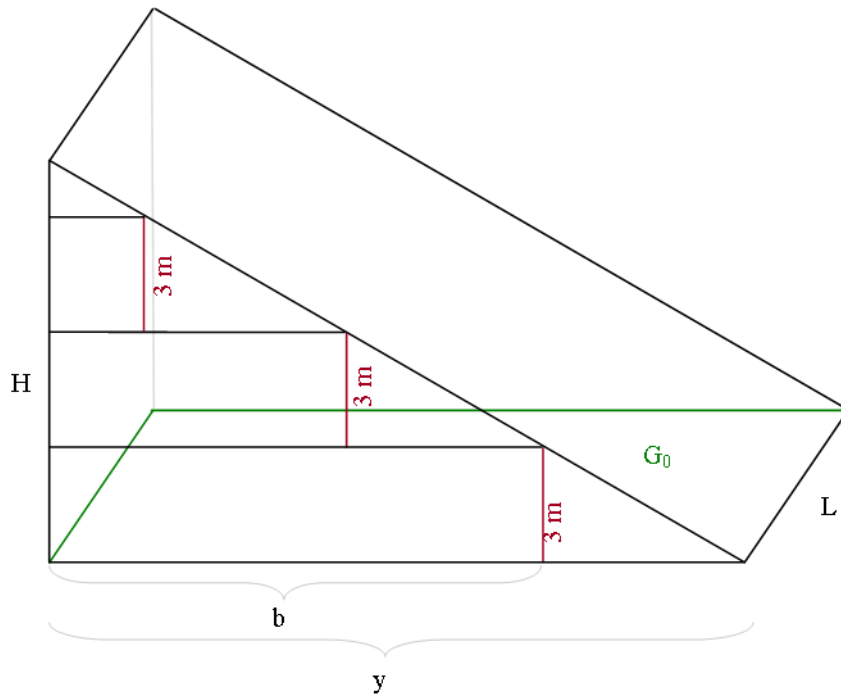


Abb. 48: schematisches Dach für Berechnung der nutzbaren Grundfläche (eigene Darstellung 2019)

$$G_b = \sum_{i=1}^{SwZ} G_{(i-1)} * \frac{(H - i * 3)}{(H - (i - 1) * 3)} \quad (13)$$

Zur Summenbildung wurde im Model Builder (Tab. 17) folgender Python-Code verwendet:

```

1  x = G * (H - 3) / H
2
3  for i in range (1, int(stockwerknummer)):
4      x = x + x * (H - i * 3) / (H - (i - 1) * 3)
5  return x

```

Abb. 49: Python-Code zur Summenbildung

Vor Beginn des For-Loops muss eine Variable x definiert und dieser Variablen ein Wert zugeordnet werden. Der zugeordnete Wert entspricht der Nutzfläche des ersten Stockwerkes eines Daches. Anschließend wird durch die Anzahl an potentiellen Stockwerken iteriert, wobei beim Index 1 (also dem 2. Stock) angefangen wird, da x bereits die Fläche des ersten Stockwerkes enthält. Der Befehl int wandelt die Float-Werte der Stockwerkanzahl in Integer um, da über Floats nicht iteriert werden kann. Hat ein Dach nur Potential für ein einzelnes Stockwerk, wird der Loop übersprungen, da an der Indexstelle 1 keine ganze Zahl mehr steht. Bei zum Beispiel 3 möglichen Stockwerken wird der Loop zweimal ausgeführt und die Summe aller drei möglicher Stockwerke gebildet. Am Ende der Funktion gibt diese dem neu berechneten Feld den Wert von x mittels Befehl return x aus.

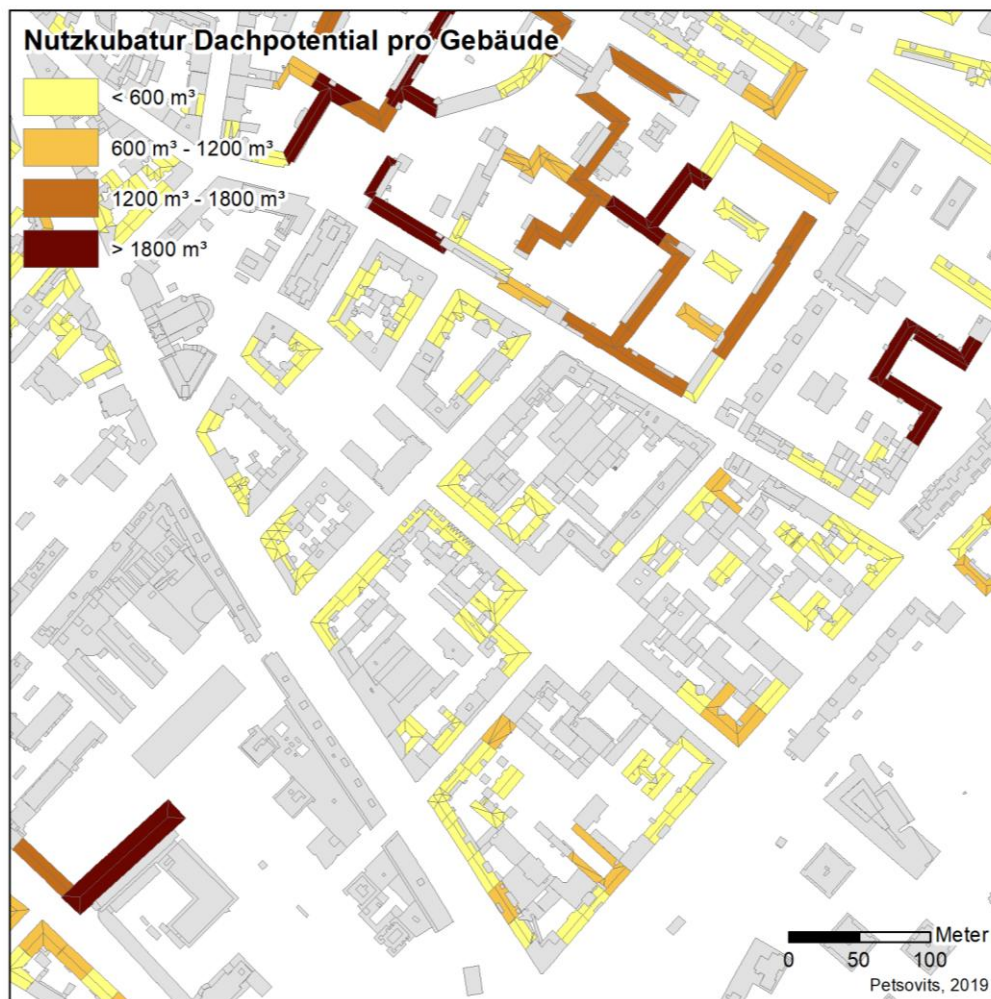


Abb. 50: Potential Kubatur Dachausbau

Obenstehende Grafik (Abb. 50) zeigt die potentiell nutzbaren Volumina im Ausschnitt Pauluspark. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Nutzvolumina nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern überwiegend niedrige Nutzvolumen (< 600 m³) dominieren. Es fällt zudem auf, dass sich hohe Potentiale bei Gebäudeblöcken sammeln, anstatt über alle Blöcke verteilt vorzuliegen. Dies ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass Dächer in ein und demselben Gebäudeblock ähnlich aufgebaut sind, um das architektonische Gesamtbild zu wahren, wodurch ihre Volumina und Dachneigungen näherungsweise ident sind. Ein anderer Grund könnte die mögliche gleichzeitige Errichtung des Blockes sein, da innerhalb eines Bauvorhabens oftmals nur eine Dachform umgesetzt wird. Um diese Vermutungen zu bestätigen, müssten die Dächer der Blöcke natürlich individuell betrachtet und charakterisiert werden, was den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

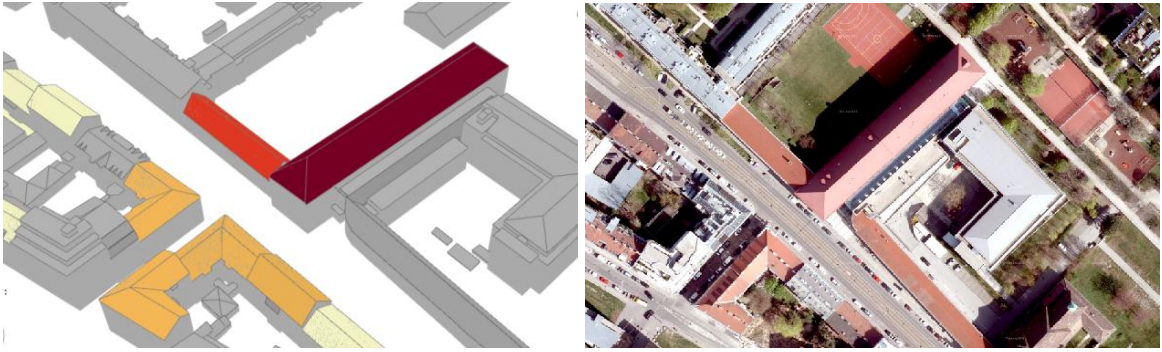


Abb. 51: Beispiel mit hohem Dachausbaupotential im Wohngebiet (VIENNAGIS 2019b)

Bei dem oben gezeigten Gebäude (Abb. 51, dunkelrotes Dach) ist das Gesamtvolumenpotential ($> 8.000 \text{ m}^3$) aber auch das nutzbare Dachvolumen (7.600 m^3), unter Berücksichtigung der gewählten Parameter, im gesamten 3. Bezirk am größten. In der rechten Grafik, dem Luftbild, ist ersichtlich, dass dieses Dach auch tatsächlich noch nicht ausgebaut ist, da es über keine Dachfenster oder ähnliche Strukturen verfügt. Allein in diesem Dach wären, bei einem Mindestvolumen von 120 m^3 pro Wohnung, mehr als 60 neue Wohnungen möglich, was die wirtschaftlichen und vor allem ökologischen Möglichkeiten der vorliegenden Analyse unterzeichnet.

Des Weiteren gibt es noch andere Gebäude, welche ebenfalls ein sehr hohes Potential für einen Dachausbau und der damit verbunden Wohnraumschaffung haben. Im nachfolgenden Bild (Abb. 52) zum Beispiel, besteht ein Potential von etwa 5.000 m^3 bzw. 4.000 m^3 . Das östlichere der beiden roten Gebäude, mit einem Dachausbaupotential von 4.000 m^3 , ist allerdings bereits ausgebaut, was an den Dachfenstern am Orthophoto eindeutig erkennbar ist.



Abb. 52: Beispielgebäude mit hohem Dachausbaupotential im Wohngebiet (Östliches bereits ausgebaut) (VIENNAGIS 2019b)

Die genau definierten Einschränkungen des Ergebnisses können dem beschriebenen Workflow (Tab. 17) entnommen werden. Die potentiellen Dächer wurden anhand bestimmter Kriterien (Nutzungsart, Dachneigung, Höhe, Fläche, Kubatur) eingeschränkt. Die Analyse beschränkt sich auf die Nutzungsart Wohngebiet, da es in diesem Gebiet am

ehesten zu einem Ausbau kommen wird, um weiteren Wohnraum in bereits zur Wohnnutzung verwendeten Gebäuden zu schaffen.

Am häufigsten sind Flachdächer, gefolgt von Satteldächern und Pultdächern, alle weiteren Dachformen sind seltener vertreten. Nicht für jedes Dach wurde in den Daten eine entsprechende Dachform definiert, weshalb diese Information nicht bei allen Dächern genutzt werden konnte. Bei der Annahme, dass der Querschnitt einer Dachteilfläche einem rechtwinkligen Dreieck entspricht, kann für alle Nutzungsarten ein Potential von 200.000 m² bzw. 710.000 m³ angenommen werden. Diese Ergebnisse liefern Potential für 5.000 neue Dachgeschosswohnungen. Bei Einschränkung auf Realnutzung mit Schwerpunkt Wohnen können noch immer *4.000 neue Einzimmerwohnungen* im Dachgeschoss entstehen, da die summierte Nutzfläche aller möglichen neuen Stockwerke 160.000 m² und das Nutzvolumen 580.000 m³ entsprechen.

Laut der „Herkunftsverteilung“ der geplanten Wohnungen Wiens (Abb. 2) machen Aufstockungs- und Dachausbaupotential rund 27 % der neu geschaffenen Wohnungen bis 2025 aus. Dies bedeutet, dass 4.000 mögliche Dachausbauwohnungen einem Anteil an Neuwohnungen von weniger als 27 % der Wohnungen, welche tatsächlich geschaffen werden können, entsprechen. Bei einer Einwohnerzahl des Wiener Gemeindebezirkes Landstraße von 90.000 Einwohnern bedeutet die Schaffung von Wohnraum für 4.000 Menschen einer Einwohnersteigerung von ca. 4 %. Bei einem prognostizierten Bevölkerungszuwachs von +8,3 % könnten folglich knapp die Hälfte der neuen Bevölkerung in ausgebauten Dächern untergebracht werden. (vgl. MA23 2018: 95) Damit kann gesagt werden, dass zumindest im dritten Bezirk der Dachausbau ein massives Werkzeug zur ökologischen Wohnraumschaffung darstellt und die automatisierte Analyse des Potentials wichtige Anwendungen finden könnte.

6.3 Gründachpotential

Die durchgeführte Gründachpotentialanalyse bezieht sich auf Flachdächer und Dächer mit einer Neigung von unter 5 Grad, welche durch das Erstellen der Dachtypen zu einer Kategorie zusammengefasst wurden (Abb. 45, Abb. 46). Außerdem sind nachfolgend präsentierte Erkenntnisse auf Dächer beschränkt, welche über keinen Grünflächenzugang innerhalb von 250 m Fußstrecke verfügen. Die größten Flächen für grüne Dächer gibt es in Industrie- und Gewerbe genutzten Gebieten, dies betrifft sowohl die Anzahl der geeigneten Dächer (Abb. 53), als auch die Summe der Fläche in Quadratmeter (Abb. 54). Bei der Wohnnutzung ist erkennbar, dass es eine hohe Anzahl an geeigneten Dächern gibt, es sich allerdings oftmals um kleinere Dachflächen handelt.



Abb. 53: Anzahl geeigneter Gründachflächen für jede Nutzungsart



Abb. 54: Summe Dachfläche für Gründacheignung je Nutzungsart

Diese Gründachpotentialanalyse wird nicht auf eine bestimmte Nutzung (z.B. Wohngebiet) beschränkt, da gerade Dächer mit Industrienutzung oder soziale Infrastruktur aufgrund ihrer Größe für eine Begrünung ideal sind. Ob diese Dächer dann nur von der entsprechenden Industrie zugehörigen Arbeitern oder von Menschen, welche eine spezielle soziale Infrastruktur in Anspruch nehmen, während der Dauer ihres Aufenthaltes, benutzt werden, muss separat für jede Einrichtung individuell geklärt werden.

Mithilfe einer Netzwerkanalyse wurden von allen Parkzugängen im Dritten Bezirk 250 m Einzugsgebiet berechnet, denn es sollte von jedem Gebäude ausgehend eine Grünfläche innerhalb dieser Entfernung erreichbar sein. Dieses Einzugsgebiet entspricht den in Orange gefärbten Flächen in der Abbildung (Abb. 55). Im Gegensatz zu den Zugängen der Grünflächen, welche als Ausgangspunkt der Berechnung definiert wurden, wurden Gebäudeeingänge nicht mit einbezogen. Dies bedeutet, dass Gebäudeteile, welche innerhalb des Einzugsgebietes liegen, zu diesem auch dazu gezählt wurden und automatisch keinen Bedarf und kein Potential an Dachgrünflächen besitzen, ohne der Möglichkeit, dass der Hauseingangsbereich auf der anderen Seite des Gebäudes liegt, und somit nicht mehr ins Einzugsgebiet von 250 m hineinfallen würde.

Öffentlich zugängliche Grünflächen und dessen Erholungsnutzung wurde von der Stadt Wien folgendermaßen definiert und kategorisiert: (MA22 2019c)

- „lokal bedeutend - auch für eine halbe Stunde Ausrasten geeignet

- regional bedeutend - für einen Halbtagesausflug geeignet
- überregional bedeutend - für einen Tagesausflug attraktiv“

In der Potentialermittlung wurden alle drei Kategorien der Erholungsnutzung gleichwertig behandelt und dieselbe Distanz (250 m), welche Bewohner zur Erreichung von Grünflächen zurückzulegen bereit sind, angenommen.

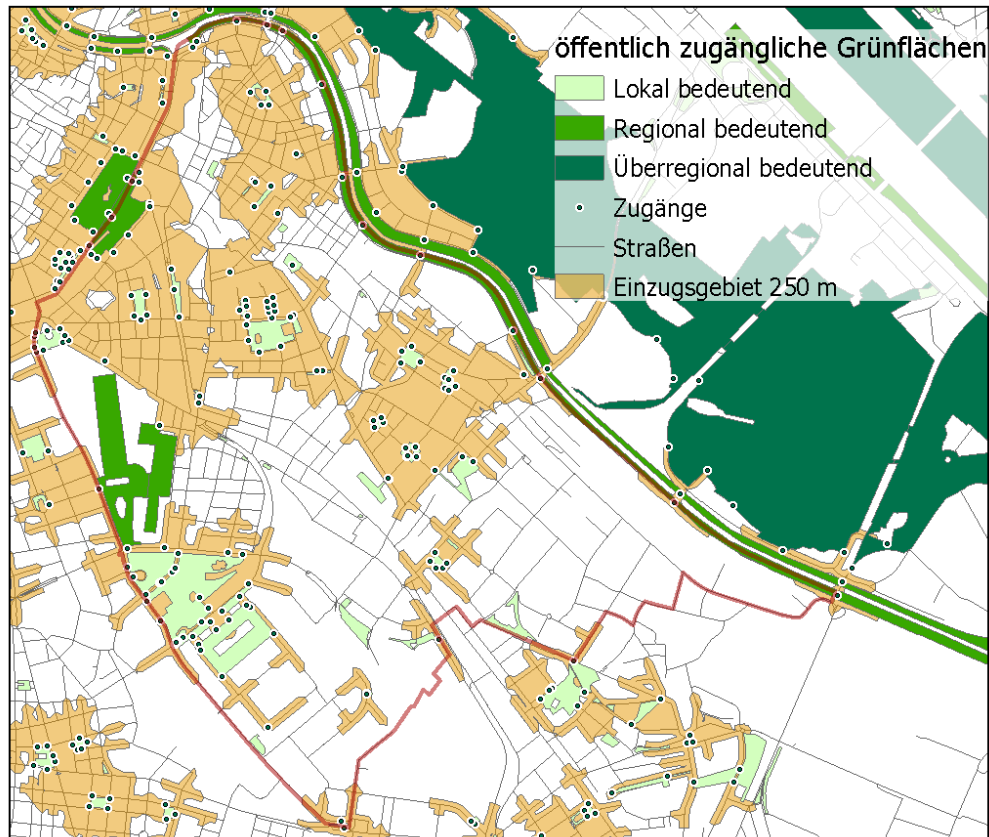


Abb. 55: Netzwerkanalyse zu Einzugsgebieten von 250 m verschiedener Parks

Die unten stehenden Karten zeigen, dass einige Dächer für „Parks am Dach“ geeignet sind, da hier die definierten Kriterien (Entfernung zu öffentlichen Grünflächen, keine Verkehrsfläche, Mindestbreite, Mindestfläche) zutreffen und die nächsten Parkeingänge zu weit entfernt sind. Bei den Ergebnissen handelt es sich um keine Gebäudeanalyse und es wurde kein Bezug zu den Gebäudegrundrissen hergestellt, welcher beim Aufstockungs- und beim Dachausbaupotential sehr wohl vorhanden war. Sollten auf einem Gebäude zwei potentielle Flächen vorhanden sein, dann wurden diese nicht aufsummiert, da diese Flächen in der Realität für den Benutzer nicht verbunden sind. Anders kommt es auch vor, dass mehrere Gebäude durch den Bau über eine idente Höhe verfügen und somit auch die Dächer miteinander verbunden sind und schlussendlich auch über einen gemeinsamen „Park am Dach“ verfügen könnten. Hierbei ist anzumerken, dass Dächer unabhängig von Gebäudemauern miteinander verbunden werden können.

Bei der folgenden Grafik (Abb. 56) werden potentielle Flächen, welche außerhalb des definierten Einzugsgebietes liegen, nach ihrer zugrundeliegenden Nutzungsart unterteilt, in

zwei ausgewählten Kartenausschnitten gezeigt. Bei den gezeigten Gebäudeblöcken ist häufig ein Gründachpotential in Wohn- und Mischnutzung vorhanden.



Abb. 56: Gründachpotential ausgewählter Ausschnitte des dritten Bezirks

Laut Daten der Stadt Wien gab es im Jahr 2005 im gesamten Dritten Bezirk 1400 Dachgrün-Flächen mit einer Gesamtfläche von 5 ha. (vgl. MA41 2019c) Im Jahr 2010 waren bereits 10 ha der Dachflächen im 3. Bezirk begrünt. (vgl. HOFFERT et al. 2010: 8 ff.) Falls diese bereits begrünt Flächen trotz aller Ermittlungskriterien einem Potential entsprechen, so sind diese auch in der Fläche des Gesamtpotentials enthalten.

Aus dem Gründachpotentialkataster der Stadt Wien ist ersichtlich, dass fast 64 ha potentieller Gründächer einer Dachform von 0-5 Grad Neigung entsprechen, wovon etwa

40 ha größer als 100 m² sind. Durch die Anwendung der Netzwerkanalyse haben noch 32 ha ein nutzbares Potential, da keine öffentlichen Grünflächen in unmittelbarer Nähe vorhanden sind. Nach weiteren Einschränkungen bleiben schlussendlich ohne Polygonvereinfachung 25 ha *Gründachflächenpotential* im Dritten Bezirk übrig. Durch die Anwendung von Simplify Polygon (Polygon vereinfachen) ist zwar die grafische Darstellung ansprechender, da die Polygone vereinfacht dargestellt werden, allerdings ist die Aussage über die verfügbare Fläche unzureichend genau. Bei dem berechneten Potential wurde die Geometrie der Potentialflächen nicht weiter berücksichtigt, also wurden keine Einschränkungen, zum Beispiel aufgrund eines bestimmten Verhältnisses zwischen Fläche und Umfang, beachtet.

Einzugsgebiete der Grünflächen abhängig von ihrer Größe

Für andere Fragestellungen, wie zum Beispiel die touristische oder sportliche Nutzung von Grünflächen, könnte die Analyse der Grünflächen weiter eingeschränkt werden, indem die Größe und das damit korrelierende Einzugsgebiet der zu beobachteten Parks herangezogen wird. Für sportliche Betätigungen oder Sightseeing sind Menschen oftmals gewillt, größere Distanzen zurück zu legen, wodurch sich das Einzugsgebiet entsprechend ändern würde.

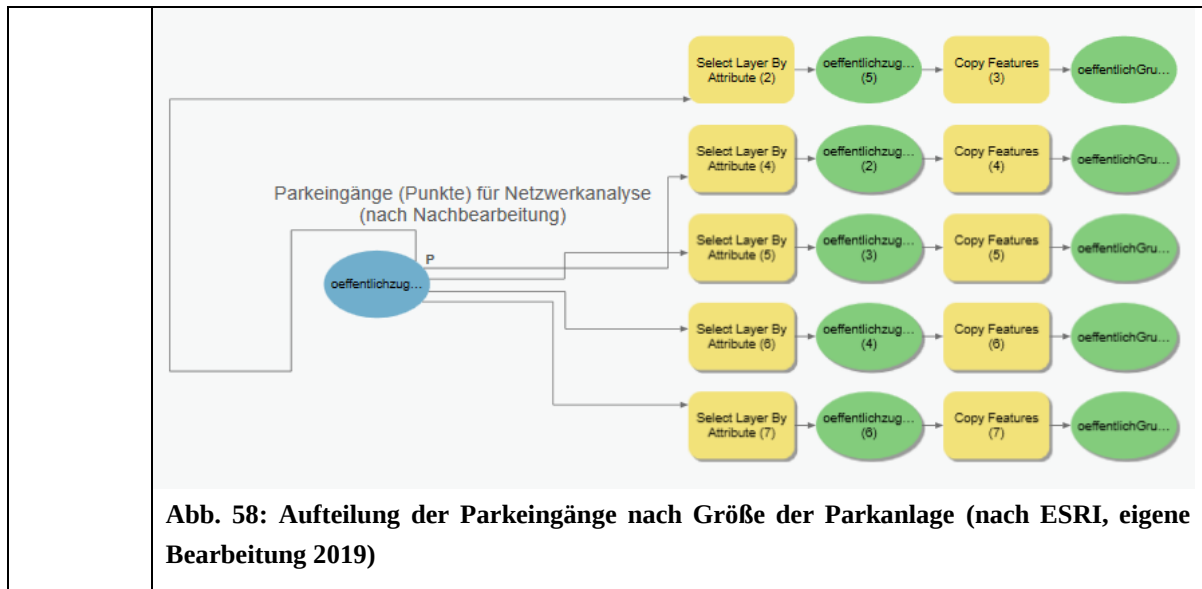
GRÜN- UND FREIRÄUME	EINZUGSBEREICH (m)	GRÖSSE (ha)
Nachbarschaft	250	< 1
Wohngebiet	500	1–3
Stadtteil	1.000	3–10
	1.500	10–50
Region	6.000	> 50
+ Sportflächen		
+ Grünflächen pro Arbeitsplatz (Einzugsbereich 250 m)		

Abb. 57: Grün- und Freiraumkennwerte für Wien (MA18 2015: 9, eigene Bearbeitung 2019)

Diese Information kann folgendermaßen verarbeitet werden.

Tab. 21: Grünflächen gefiltert nach ihrer Größe

Select Layer By Attribute Copy Features	Die Parkeingänge werden je nach Parkgröße selektiert und als separate Features abgespeichert. Parameter: New selection Expression: FLAECHE <= 10000 bzw. FLAECHE > 10000 And FLAECHE <= 30000 bzw. FLAECHE > 30000 And FLAECHE <= 100000 bzw. FLAECHE > 100000 And FLAECHE <= 500000 bzw. FLAECHE > 500000
---	--



Im Anschluss wurde auf die separat erstellten Features jeweils die Netzwerkanalyse angewendet. Die Grafiken (Abb. 59, Abb. 60) zeigen die Einzugsgebiete von Parks unterschiedlicher Größe, orientiert an den Grün- und Freiraumkennwerten für Wien.

Eine Grünfläche mit einer Größe kleiner 1 ha ist für die Bevölkerung einer Nachbarschaft innerhalb eines Einzugsgebietes von 250 m interessant. Im Gegensatz dazu ist eine Grünfläche mit einer Größe von 3 bis 10 ha für die Bevölkerung eines Stadtteils innerhalb eines Einzugsgebietes von 1 km interessant. Je größer eine Grünfläche umso höher ist die Entfernung, die von Einwohnern für das Erreichen derselben zurückgelegt wird. Dies wird durch die Erholungsnutzung (lokal, regional oder überregional bedeutend) einer solchen Fläche zusätzlich verstärkt. Bei der Analyse für potentielle Gründächer wurde für alle Grünflächen einheitlich ein Einzugsgebiet von 250 m angenommen, da allen verfügbaren Grünflächen, unabhängig von ihrer definierten Bedeutung, der gleiche Stellenwert zugewiesen wird (Abb. 55).

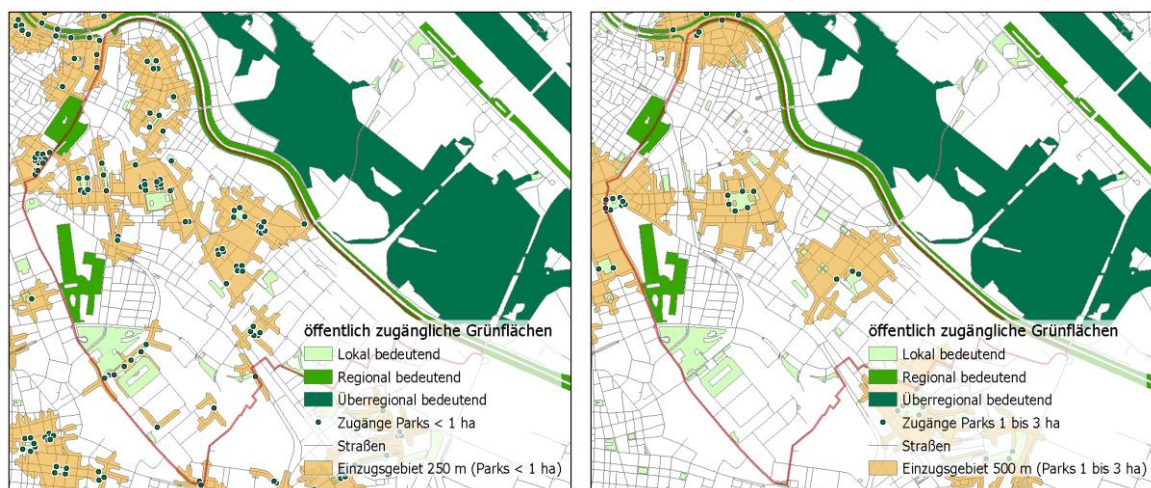


Abb. 59: Berechnung unterschiedlicher Einzugsgebiete von 250 m bis 500 m

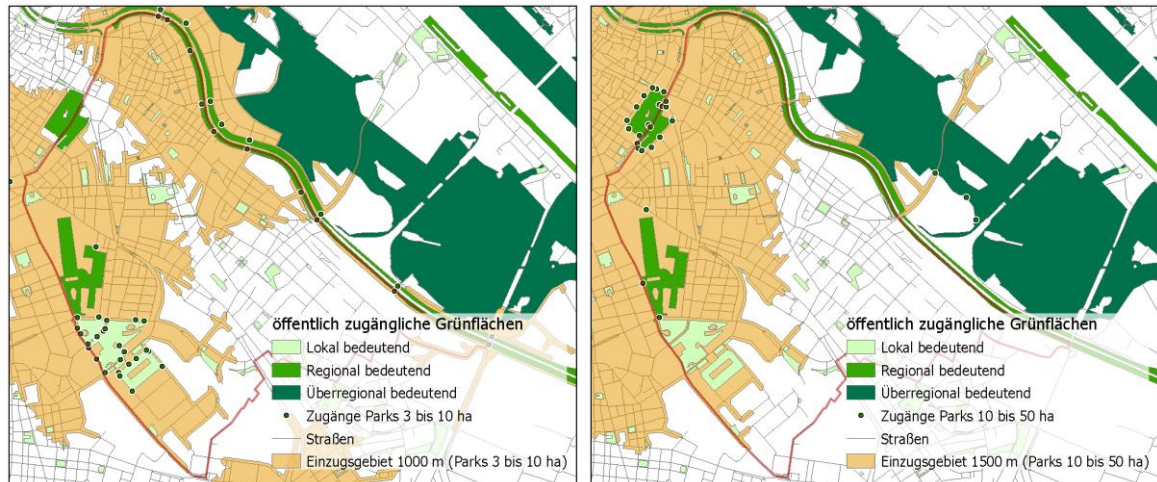


Abb. 60: Berechnung unterschiedlicher Einzugsgebiete von 1 km bis 1,5 km

Aufgrund unzureichender Datenlage wurden die Eingangstüren der in der Analyse berücksichtigten Gebäude nicht einbezogen, wodurch eine gewisse Abweichung zwischen tatsächlicher und kalkulierter Entfernung zu Grünflächen entstehen kann. Außerdem wurden bereits begrünte Dächer ebenfalls ignoriert, da diese nur über Orthophotos hätten identifiziert werden können und, selbst bei korrekter Identifikation, keine Information über die mögliche Nutzung der Begrünung vorhanden wäre. Daher könnten die hier vorgestellten Ergebnisse um die oben bereits erwähnten 10 ha bereits begrünter Dachflächen reduziert werden. (vgl. HOFFERT et al. 2010: 8 ff.)

6.4 Bewertung der Ergebnisse

Aufgrund einiger Ausreißer nach oben sind die Ergebnisse sehr inhomogen und eine Skalenbewertung gegen einen gemeinsamen Maximalwert nicht sinnführend. Daher wird jedes Gebäude, sowohl das Aufstockungs- als auch das Dachausbaupotential betreffend, mit sich selbst verglichen und bewertet. Polygone mit einem hohen Wert besitzen ein hohes Potential mit viel Aufstockungs- und Dachausbaumöglichkeiten und können somit auch einen hohen Beitrag zur ökologischen Wohnraumschaffung beitragen.

6.4.1 Skalenwerte Aufstockung (LOD1) ermitteln

Für die Bewertung des Aufstockungspotentials wird die vorhandene Höhe (Traufenhöhe) und das noch bebaubare Potential herangezogen ($\text{Skalawert} = \frac{\text{baubare Potential}}{\text{Traufenhöhe}} \cdot 100$). Daraus ergibt sich eine prozentuelle Skala, die angibt, um wie viel Prozent der bereits vorhandenen Gebäudehöhe aufgestockt werden könnte.

Für den gesamten Dritten Bezirk kann gesagt werden, dass die Summe aller baubaren Höhenpotentiale dividiert durch die Summe aller Traufenhöhen aufzeigt, um wie viel Prozent der Bezirk als Gesamtes erweitert werden kann. Dadurch konnte ermittelt werden,

dass noch 76 % mehr Wohnnutzung möglich ist, also die Anzahl der Wohnungen noch um 76 % gesteigert werden könnte.

Am Beispiel des Paulusplatzes (Abb. 61) ist allerdings zu erkennen, dass die angenommenen Zahlen weitaus „positivere“ Ergebnisse liefern, als es die tatsächlichen, realen Werte zulassen. Bei den angenommenen zulässigen Werten besteht ein Potential von 168 % und bei zulässigen Höhen aus dem FWBP ein Potential von 86 %. Da der Paulusplatz nur einen geringen Ausschnitt des dritten Wiener Gemeindebezirkes darstellt, kann nicht allgemein um eine Erniedrigung des Potentials auf die Hälfte geschlossen werden.

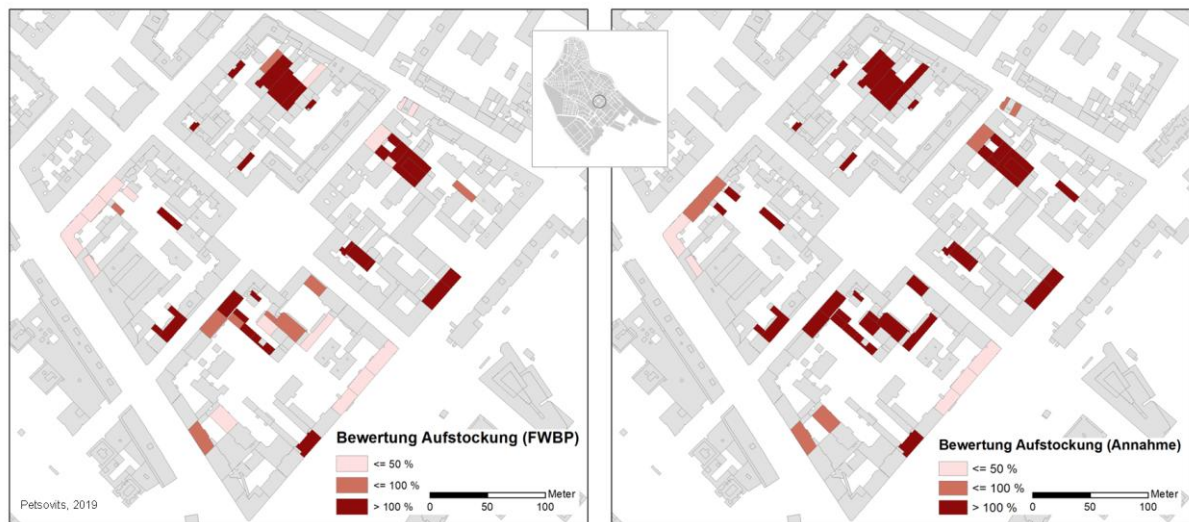


Abb. 61: Skalenbewertung des Aufstockungspotentials, Darstellung Pauluspark – angenommene Höhe, rechts; tatsächliche Höhe, links

Neben der eben gezeigten Vergleichsabbildung werden in der nachfolgenden Grafik (Abb. 62) noch weitere vier Kartenausschnitte präsentiert.

Diese beispielhaften Ausschnitte zeigen, dass der Großteil der Gebäude ein offenes Potential von bis zu 50 % zusätzlich, einige Gebäudeteile ein Aufstockungspotential von über 100 %, erreichen. Die Gebäude mit besonders hohem Potential sind im gesamten Bezirk annähernd gleichmäßig verteilt.



Abb. 62: Bewertung des Aufstockungspotentials im Dritten Bezirk

Die Bewertung der Ergebnisse des Aufstockungspotentials mittels einer auf das jeweilige Gebäude referenzierten Skala ermöglicht es dem Betrachter, schnell und einfach zu erkennen, welches Potential ungefähr im jeweiligen Gebäude schlummert. Dadurch wird die Auswahl, welche Blöcke genauer für eine Aufstockung in Betracht gezogen werden, vereinfacht und die Darstellung des Sachverhaltes übersichtlicher und homogener. Ausreißer sind hierbei Innenhofgebäude (zum Beispiel Fahrradabstellräume, Garagen oder Werkzeugschuppen), die durch die Generalisierung des Flächenwidmungsplanes dieselbe erlaubte Bebauungshöhe zugewiesen bekommen haben, wie die umliegenden Gebäude. Diese Innenhofgebäude können aber nur in den seltensten Fällen aufgestockt werden, da durch ihre Aufstockung bereits existente Wohnungen Außenflächen, Fenster und etwaige Raumlüftungen verlieren würden.

6.4.2 Skalenwerte Dachausbau (LOD2) ermitteln

Für die Bewertung der Kubatur des Dachausbaupotentials wird für jedes Dach das nutzbare Volumen (Nutzkubatur) durch das gesamte Dachvolumen (KubaturMultipatch) dividiert und die Prozente daraus ermittelt ($\text{Nutzkubatur} / \text{KubaturMultipatch} * 100$). Daraus errechnet sich der prozentuelle Anteil des Volumens eines Daches, der für den Ausbau geeignet ist. Auch hier macht der Vergleich eines Daches mit sich selbst mehr Sinn als das Referenzieren gegen ein gemeinsames Maximum, da es auch beim Dachausbaupotential zu positiv-Ausreißern gekommen ist.

In der anschließenden Darstellung (Abb. 63) ist, wie bereits zuvor, der Pauluspark als Beispiel dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Dachausbau oftmals mehr als 50 % Ausbaupotential bietet, was unter anderem darauf zurück zu führen ist, dass lediglich Dächer mit entsprechenden Voraussetzungen zur Analyse zugelassen wurden.

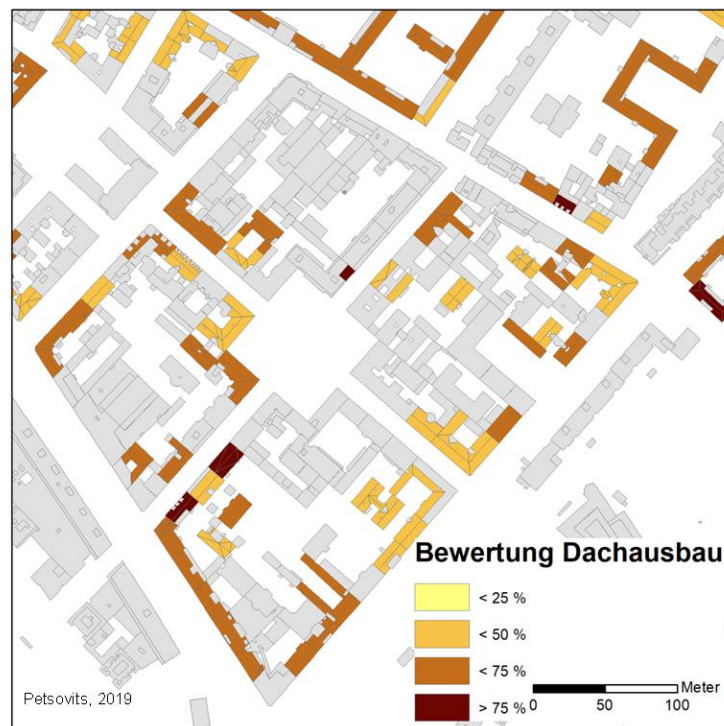


Abb. 63: Skalenbewertung des Dachausbaupotentials, Darstellung Pauluspark

Auch für das Dachausbaupotential werden, neben dem Pauluspark, vier weitere Beispielausschnitte (Abb. 64) aus dem analysierten Bezirk dargestellt. Durch die automatisierte Analyse des gesamten Bezirkes konnte die Funktionstüchtigkeit des Modells auch für den Dachausbau bestätigt werden. Bei Betrachtung des Dachausbaus fällt auf, dass hohe Potentiale weniger gleichverteilt sind wie beim Aufstockungspotential, dafür gibt es kaum bis gar keine Dächer mit unter 25 % Ausbaupotential. Dies ist vermutlich darauf zurück zu führen, dass durch die Einschränkung einer Mindesthöhe von 3 m und einer Mindestfläche von 40 m², fast alle Gebäude mit unter 25 % Ausbaupotential aus der Analyse ausgeschlossen werden.



Abb. 64: Bewertung des Dachausbaus im Dritten Bezirk

Als zweiter nützlicher Skalenwert für das Dachausbaupotential wurde das Verhältnis der Ausbaukubatur zur Gebäudekubatur ermittelt. Dafür musste zuerst die Gebäudekubatur berechnet werden, indem die Grundfläche des Gebäudes mit der Traufhöhe multipliziert wurde. Die Ermittlung des Skalenwertes wurde, wie eben beschrieben, durchgeführt ($\text{Nutzkubatur Dach} / \text{Kubatur Gebäude} * 100$) und sagt aus, um wie viel % mehr Nutzvolumen durch einen Dachausbau erzielt werden kann. Diese Information ist besonders dann von großem Interesse, wenn in einem Bezirk oder Viertel eine besonders hohe Anfrage an Wohnraum entsteht. Die folgende Darstellung (Abb. 65) zeigt den eben beschriebenen Skalenwert für den Gebäudeblock Pauluspark. Durch das deutlich kleinere Volumen eines Daches, im Vergleich zu dem darunter liegenden Gebäude, werden die Skalenwerte natürlich verhältnismäßig niedrig. Lediglich ein Gebäude im gewählten Ausschnitt erreicht mehr als 30 % potentieller Volumenerhöhung.

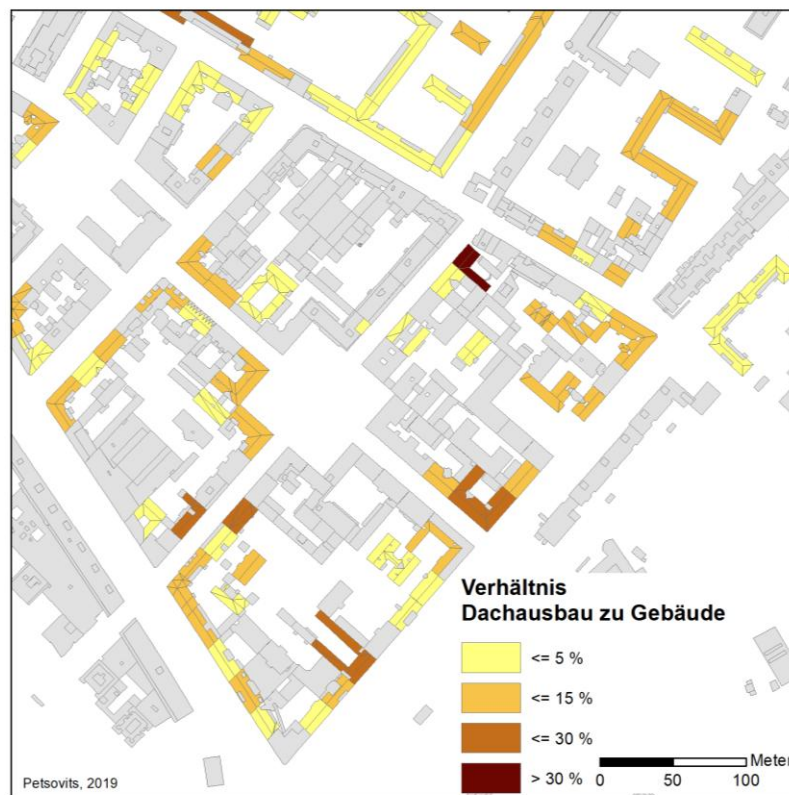


Abb. 65: Verhältnis Dachausbau zu Gebäude, Darstellung Pauluspark

Auch für diese Skalenberechnung wurden die vier zuvor dargestellten Ausschnitte des dritten Wiener Gemeindebezirkes dargestellt (Abb. 66). Es ist auch in dieser Darstellung zu sehen, dass der Dachausbau nur einen Bruchteil des bereits vorhandenen Volumens zur Verfügung stellen könnte. Lediglich einzelne Ausreißer-Dächer erreichen Werte über 30 %, was erneut auf Innenhofgebäude zurück zu führen sein kann. Eine andere Erklärung für den hohen Anteil an Ausbaupotential wären Gebäude mit lediglich einem Erdgeschoss, wodurch das vorhandene Gebäudevolumen im Vergleich zum Dachausbauvolumen entsprechend geringer ausfallen würde.



Abb. 66: Verhältnis Dachausbau zu Gebäude im Dritten Bezirk

Auch für die Skalenbewertung des Dachausbaupotentials gilt, dass sie einem interessierten Betrachter schnell die Möglichkeit zu Erkennen bietet, bei welchen Gebäuden eine genauere Betrachtung der Dachausbaumöglichkeiten lohnend sein könnte. Dabei erlauben die beiden unterschiedlichen Skalenwerte, einerseits Erkenntnis über die tatsächliche Verwendbarkeit eines Daches zum Ausbau zu erhalten, andererseits das Potential neuer Wohnraumschaffung unter einem Dach leicht auszulesen. Ein Dach, welches bei beiden Skalen hohe Werte erreicht, ist folglich, sofern es sich nicht um einen Ausreißer handelt, ideal für den Dachausbau geeignet. Zu hohe Werte kommen bei dieser Skala vor allem durch niedrige Traufenhöhen, also besonders niedrige oder nur einstöckige Gebäude zu Stande.

6.4.3 Skalenwerte Gründachpotential ermitteln

Eine Skala-Ermittlung für das Gründachpotential ist nur wenig sinnvoll, da es bei der Begrünung eines Daches lediglich um die Beantwortung der Frage geht, ob es denn überhaupt möglich ist.

Eine Skala würde daher für jedes in Frage kommende Dach ein Potential von 100 % zeigen, für jedes sonstige Dach lediglich 0 %. Ansonsten könnten die potentiellen Gründächer nur in Hinblick auf Ihre Gesamtfläche einer Skala zugeordnet werden, was aber aufgrund der möglichen Überlagerung einer Grünfläche auf mehrere Dächer ebenfalls nur wenig sinnvoll erscheint.

6.4.4 Weiterführender Forschungsbedarf

Zur zukünftigen Optimierung der Ergebnisse und der Automatisierung könnten noch die nachfolgenden Schritte in einer weiterführenden Arbeit umgesetzt werden.

So gilt für das Aufstockungspotential die Einschränkung der tatsächlichen erlaubten Bebauungshöhe, die aktuell für den gesamten Dritten Bezirk nur angenommen wurde. Ein automatisiertes Auslesen der Werte der erlaubten Bebauungshöhe aus der WMTS-Datei des FWBP wäre wünschenswert, ließe sich aber mitunter nur über Bilderkennungsprogramme realisieren, da diese Werte nur als grafische Elemente im FWBP verfügbar sind. Einfacher umsetzbar sind ebenso notwendige Analysen von Schattenwurf, schützenswerten Architekturen und das Herausfiltern von Innenhofgebäuden, die im Zuge einer Aufstockung Zugänge und Fenster verbauen würden. Sofern dafür Daten vorhanden sind, könnte eine Analyse bauphysikalischer und statischer Limitationen pro Gebäude durchgeführt werden, dafür müssten die architektonischen Daten allerdings in für ArcGIS Pro leserlichen Formaten aufbereitet sein.

Auch am Dachausbaupotential kann noch Optimierung durchgeführt werden. Eine Verbesserung wäre herauszufinden, ob ein Dach bereits ausgebaut ist oder nicht. Dies kann aktuell nur durch Kontrolle mit einem Luftbild genau bestimmt werden und stellt daher für die automatische Analyse eine Herausforderung dar, weil abermals Bilderkennung programmiert werden müsste. Dies wäre zum Beispiel mittels Bildverarbeitung und Klassifizierung einzelner Pixel eines Orthophotos möglich, wobei die Klasse „ausgebaut“ über mehr „Dachfenster-Pixel“ verfügen müsste als die Klasse „ausbaubar“.

Die tatsächlich verfügbare Kubatur ist von der jeweiligen Dachform abhängig, dies müsste zukünftig noch genauer in die Analyse einfließen, allerdings ist diese Information nicht flächendeckend für alle Dächer verfügbar. Vor allem Walmdächer und Sonderdachformen werden durch die Näherung nur sehr ungenau beschrieben. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Raumhöhen innerhalb eines Dachausbaus auch niedriger als 3,00 m sein dürfen, wie bereits im Kapitel 2.2 beschrieben wurde. Auch beim Dachausbaupotential müssten statische und bauphysikalische Einschränkungen berücksichtigt werden, allerdings wird

durch die Tatsache, dass die Dächer außen kaum bis gar nicht geändert werden, eine Schatten- und Sichtanalyse obsolet.

Allgemein ist zu beiden Potentialen anzumerken, dass die berechnete Anzahl an Wohnungen nur einen Näherungswert angibt, der potentiell überschätzt, da bei der Division der Flächen und Volumina mathematisch auch „halbe Wohnungen“ zugelassen werden. Um eine tatsächliche mögliche Wohnungsanzahl zu berechnen, müssten für jedes Gebäude individuell optimale innenarchitektonische Pläne erstellt werden, was bestenfalls in Kooperation mit einem Architekturbüro möglich wäre.

Zur Verbesserung des Gründachpotentials müsste die Berechnung des Einzugsgebietes von Gebäudeeingangstüren aus durchgeführt werden, wodurch sich möglicherweise ein höherer Bedarf an Gründächern ergäbe. Außerdem könnten Geländedaten, also Höhen, berücksichtigt werden, um die Attraktivität der Parks anhand der Höhenmeter, die Besucher zurücklegen müssten, beurteilen zu können. Natürlich müssten auch hier bauphysikalische Gegebenheiten berücksichtigt werden, ebenso wie Schattenanalysen und Sichtbarkeit von Sehenswürdigkeiten.

Eine zusätzliche, ebenfalls interessante Analyse wäre die Überprüfung der Eignung der Flachdächer als Grünflächen für Urban Farming und Gärtnereien. So könnten städtische Dächer für Lebensmittelproduktion eingesetzt werden, während die angebauten Pflanzen Treibhausgase binden und Gebäude kühlen.

Ein weiterer Schritt für eine künftige Auseinandersetzung mit der vorliegenden Thematik wäre die Durchführung der Automatisierung in Python, spezieller ArcPy. Da die Funktion, ein Model in ein Python Skript zu übersetzen, aus der für diese Arbeit verwendeten ArcGIS Software entfernt wurde (Kapitel 5.1.1), müsste dies natürlich von Beginn an per Hand programmiert werden, was allerdings die Einsatzmöglichkeiten der Analysen vergrößern könnte, da Python mehr Flexibilität im Umgang mit Daten bietet als der Model Builder.

Zur besseren Nutzbarkeit der Ergebnisse könnten diese schlussendlich in ein 3D-Stadtmodell eingepflegt und dieses digital zur Verfügung gestellt werden, sodass durch einen einfachen Klick auf ein Gebäude sämtliche Potentiale und relevante Daten eingesehen werden können.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit hat zum Ziel, vorhandene Potentiale ökologischer, oder auch „grüner“, Wohnraumschaffung in Wien, am Beispiel des Dritten Bezirkes, aufzudecken, zu analysieren und mögliche Nutzungen der Potentiale zu diskutieren. Dafür wurde zu Beginn eine Literaturrecherche zur Optimierung der Platznutzung auf Wiens Dächern durchgeführt, welche einen Überblick über etwaige Potentiale schuf.

Dabei wurde speziell auf die Frage eingegangen, welche Rahmenbedingungen für die Platznutzungsoptimierung durch gesetzliche und gesellschaftliche Limitierungen und Anforderungen gelten. Zu den zukünftigen Anforderungen an die Dachlandschaft Wien kann das Smart City Leitziel 2050 gezählt werden. Dabei soll ausgezeichnete Lebensqualität mit bestmöglicher Ressourcenschonung vereinbar sein. Dies gelingt, wie im Stadtentwicklungsplan 2025 beschrieben, durch stadtteilzusammenhängende und nicht durch grundstücksbezogene Planung. Die drei identifizierten Potentiale sind das Aufstockungspotential, welches erlaubte Bauhöhen bis zu deren Grenze ausnutzt, das Dachausbaupotential, womit aus ungenützten Dachböden Lebensräume geschaffen werden können, und das Gründachpotential, welches Lebensqualität und Ökologie miteinander vereint. Ideale Nutzungen der Potentiale sind Wohnraumschaffung für Aufstockungs- und Dachausbaupotential sowie Parkraumschaffung für das Gründachpotential, da diese Nutzungen den größtmöglichen Vorteil aus den Potentialen erwirtschaften.

Im Zuge der Literaturrecherche konnte ermittelt werden, dass Aufstockungen an Bauklassen und andere Bestimmungen gebunden sind, welche aus dem Flächenwidmungsplan herausgelesen werden können. Für Aufenthaltsräume und Arbeitsräume in Dachgeschosswohnungen muss eine Mindestraumhöhe von 2,50 m eingehalten werden, was für den Dachausbau bestimmte Grenzen setzt. Gründächer wiederum benötigen ausreichend flache Dächer und sind für das Smart City Konzept wichtig, da sie als natürliche Klimaanlage fungieren (vgl. BASTIN et al. 2019) und die Zufriedenheit der Einwohner steigern (vgl. ASTELL-BURT et al. 2019, ROE et al. 2017).

Zur Analyse der vorhandenen Potentiale wurde ArcGIS Pro sowie ArcMap genutzt, wobei zur Automatisierung der Prozesse spezieller Fokus auf den Model Builder gelegt wurde. Dabei mussten die vorhandenen Daten zuerst bereinigt und anschließend verarbeitet werden, wie dem Kapitel 5 zu entnehmen ist.

Leider waren die Analysen der Potentiale mit OpenData nur eingeschränkt möglich, da der Flächenwidmungsplan der Stadt Wien, welcher für das Aufstockungspotential benötigt wurde, nur in vereinfachter Form offen zur Verfügung stand. Dadurch konnte zwar die erfolgreiche Automatisierung des Prozesses nachgewiesen werden, allerdings sind die Ergebnisse nicht realitätsnah und damit nur bedingt verwertbar. Die Analysen des Dachausbaupotentials wurden durch mangelhafte Daten im LOD2 limitiert, da nicht jedes Dach einen Dachform zugeordnet bekommen hatte, welcher für die genaue Berechnung des Dachvolumens aber unabdinglich ist. Der Gründachpotentialkataster der Stadt Wien ist

nur als WMS frei verfügbar, dieser Dateityp ist allerdings nicht automatisiert verwertbar. Um dennoch Kalkulationen für Gründächer durchführen zu können, wurden Daten der Stadt Wien (open data und intern) für die GIS-gestützten Analysen herangezogen.

Um das Aufstockungspotential zur detaillierten Planung von Wohnraumschaffung nutzen zu können, müsste die Analyse zumindest im 10 cm Bereich genau durchgeführt werden. Dies wird allerdings dadurch limitiert, dass der FWBP nicht frei verfügbar ist und dadurch nur Schätzwerte für die maximal erlaubte Bebauungshöhe verwendet werden konnten. Allerdings können die Analysenergebnisse genutzt werden, um schnell einen Überblick zu schaffen, bei welchen Gebäuden ein genauerer Blick lohnend sein könnte.

Das Dachausbaupotential stellt ähnliche Ansprüche an die Genauigkeit der Analysen, da auch hier Wohnraum geschaffen werden soll. Im Unterschied zum vorigen Potential hätten außerdem Flächen unterschiedlicher Raumhöhen analysiert werden müssen, damit das volle Potential eines Daches ausgeschöpft hätte werden können. Hierfür fehlte allerdings teilweise die Information über die Dachform einzelner Dächer.

Zur vollständigen Nutzbarkeit der Gründachpotentiale fehlten Daten über Gebäudeeingänge. Teilweise war die Überführung der Rasterdaten in Vektordaten nur in bestimmten Genauigkeitsgrenzen möglich, was der Analyse weitere Genauigkeit kostete. Alle drei Potentiale könnten durch das Einbeziehen von bauphysikalischen Daten, speziell der Statik, profitieren, allerdings waren solche nicht verfügbar.

Trotz der zuvor beschriebenen Limitationen war es möglich, alle drei Potentiale zu Analysen und folgende Ergebnisse resultieren aus dieser Arbeit:

- Ungefähr 9 % der Gebäude des Dritten Bezirkes verfügen über ein nennenswertes Aufstockungspotential
- Allein beim Gebäudeblock Pauluspark könnten mehr als 460 neue Wohnungen geschaffen werden (bei 40 m² Wohnungsfläche)
- Ungefähr 9 % der Dächer des Dritten Bezirkes verfügen über ein erwähnenswertes Dachausbaupotential
- Durch Dachausbau könnten im gesamten Dritten Bezirk bis zu 4.000 neue Wohnungen geschaffen werden
- Ein großer Anteil der Wohngebäude im Dritten Bezirk verfügt über keine geeigneten Grünflächen in 250 m Gehdistanz
- Im gesamten Dritten Bezirk könnten 25 ha Parkfläche auf Flachdächern geschaffen werden, die über hohe Wahrscheinlichkeiten einer regelmäßigen Benutzung durch Einwohner verfügen

Aus den angeführten Ergebnissen kann daher geschlossen werden, dass allein der Dritte Wiener Gemeindebezirk über viel ungenutztes Potential zur ökologischen Wohnraumschaffung verfügt. Durch die Verwendung der entsprechenden Tools in ArcGIS Pro und ArcMap war es möglich, diese Potentiale zu analysieren und zu

visualisieren. Außerdem konnte die Verarbeitung der Daten, von der erstmaligen Bereinigung bis hin zu den finalen statistischen Ergebnissen, automatisiert im Model Builder durchgeführt werden. Die Automatisierung wurde anhand des Gebäudeblockes Pauluspark erstellt und anschließend mittels Anwendung auf den gesamten Bezirk verifiziert. Die gefundenen Potentiale und deren Bewertung mittels unterschiedlicher Skalen dient überwiegend einer ersten Orientierung, welche Gebäude überhaupt für eine Aufstockung oder einen Dachausbau in Frage kämen, können allerdings aufgrund der Limitationen durch die verfügbaren Daten und Ausführungen nicht für detaillierte Wohnraumplanung herangezogen werden.

Abschließend kann also gesagt werden, dass die vorliegende Arbeit erfolgreich Potentiale analysiert hat und somit einen guten Überblick über mögliche ökologische Wohnraumschaffung im Dritten Bezirk bietet. Angewandt auf die gesamte Stadt Wien, oder andere interessierte Städte, könnte so ein großer Schritt in Richtung umweltfreundlicher Wohnraumschaffung und Stadtentwicklung getan werden, womit sowohl auf die Anforderungen eines Smart City Konzeptes eingegangen als auch die Problematik des Bevölkerungszuwachses eingedämmt werden kann.

8 Literatur

- ANDREWS C. & GUTIERREZ J. (2019): 3D in the Browser with WebGL. - ESRI (Hrsg.). online unter <http://proceedings.esri.com/library/userconf/devsummit18/papers/dev-int-002.pdf> (10-2019).
- ASTELL-BURT T. & FENG X. (2019): Association of Urban Green Space With Mental Health and General Health Among Adults in AustraliaUrban Green Space and Mental and General Health Among Adults in AustraliaUrban Green Space and Mental and General Health Among Adults in Australia. - In: *JAMA Network Open* 2 (7). 10.1001/jamanetworkopen.2019.8209.
- AUTODESK (2019): 3DS MAX. - Autodesk (Hrsg.). online unter <https://www.autodesk.de/products/3ds-max/overview> (10-2019).
- BARNES M. (2006): COLLADA. - 10.1145/1185657.1185752.
- BASTIN J.F., CLARK E., ELLIOTT T., HART S., VAN DEN HOOGEN J., HORDIJK I., MA H., MAJUMDER S., MANOLI G., MASCHLER J., MO L., ROUTH D., YU K., ZOHNER C.M. & CROWTHER T.W. (2019): Understanding climate change from a global analysis of city analogues. - In: *PLOS ONE* 14 (7). 10.1371/journal.pone.0217592.
- BILJECKI F., STOTER J., LEDOUX H., ZLATANOVA S. & COLTEKIN A. (2015): Applications of 3D City Models: State of the Art Review. - In: *Isprs International Journal of Geo-Information* 4 (4). 2842-2889. 10.3390/ijgi4042842.
- BILL R. (2016): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. - Wichmann. Berlin Offenbach.
- BOKU (2017): Attic Adapt 2050. - Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), alpS GmbH (Hrsg.).
- CAREY R., BELL G. & MARRIN C. (1997): ISO/IEC 14772-1:1997 Virtual Reality Modeling Language (VRML97). - The VRML Consortium Incorporated (Hrsg.).
- COORS V., ANDRAE C. & BÖHM K. (2016): 3D-Stadtmodelle. Konzepte und Anwendungen mit CityGML. - Wichmann. Berlin Offenbach.
- COORS V., HOLWEG D., MATTHIAS E. & PETZOLD B. (2013): 3D-Stadtmodelle. Projekte im Raum. - InGeoForum im ZGDV e.V. und Kommission 3D-Stadtmodelle der DGfK und DGPF (Hrsg.).
- DIGITALESWIEN (2013): Schnittstellen Geowebsservices. - Digitales Wien (Hrsg.). online unter <https://digitales.wien.gv.at/site/schnittstellen-geowebsservices/> (08-2019).
- EKENES K. (2017): FeatureLayer rendering: taking advantage of WebGL in 2D. - ESRI (Hrsg.). online unter <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/mapping/mapping/featurelayer-rendering-taking-advantage-of-webgl-in-2d/> (10-2019).
- ESRI (1998): ESRI Shapefile Technical Description. An ESRI White Paper. - Redlands.
- ESRI (2012): The Multipatch Geometry Type. An Esri®White Paper. - Redlands.
- ESRI (2016): If I have multipatches created within Desktop/Pro are there any other formats these can be exported to? - ESRI (Hrsg.). online unter <https://support.esri.com/en/technical-article/000013236> (10-2019).
- ESRI (2019a): 3D-Dateien importieren. - ESRI (Hrsg.). online unter <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/3d-analyst/import-3d-files.htm> (10-2019).
- ESRI (2019b): Aufbau einer Werkzeugreferenzseite. - ESRI (Hrsg.). online unter <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/introduction-anatomy/anatomy-of-a-tool-reference-page.htm> (10-2019).
- ESRI (2019c): Einzugsgebiet-Analyse. - ESRI (Hrsg.). online unter <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/service-area.htm> (10-2019).
- ESRI (2019d): Iteratoren. - ESRI (Hrsg.). online unter <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/iterators-for-looping.htm> (10-2019).

- ESRI (2019e): Multipatches. - online unter <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/multipatches.htm> (10-2019).
- ESRI (2019f): SceneView. - ESRI (Hrsg.). online unter <https://developers.arcgis.com/javascript/latest/api-reference/esri-views-SceneView.html> (10-2019).
- ESRI (2019g): Was ist ein Shapefile? - ESRI (Hrsg.). online unter <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm> (08-2019).
- ESRI (2019h): Was ist Geoverarbeitung? - ESRI (Hrsg.). online unter <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/help/analysis/geoprocessing/basics/what-is-geoprocessing.htm> (10-2019).
- FARSI R. (1999): XML. - In: *Informatik-Spektrum* 22. 436-438. 10.1007/s002870050150.
- HENNINGER S., FABISCH M. & MOGHADDAM M. (2017): Reaktionen einer angewandten und planungsorientierten Stadtklimatologie auf die rezenten Veränderungen urbaner Strukturen. - In: *REAL CORP 2017* 475-484.
- HOFFERT H. & LUMASEGGER M. (2010): Grünraumanalyse Wien - Dachbegrünung. - Stadt Wien, MA 22 - Umweltschutz.
- HÜFING G., MUERTH P., PENDL M., TRIBUTSCH I. & JÄGER-KATZMANN S. (2009): Logisch gedacht ist ökologisch bedacht - Ein Leitfaden für die Dachbegrünung. - In: KENNEDY HEATHER (2009): Introduction to 3D data. modeling with ArcGIS 3D analyst and Google earth. - John Wiley. Hoboken, N.J.
- KIPAR A., LEHNER F. & NOLL H.P. (2011): CultNature – neue urbane Landschaften als Strategie ökologisch und ökonomisch nachhaltiger Stadtentwicklung. - In: *REAL CORP 2011*. 1221-1224.
- KIRCHMAYER W., KOLBITSCH A. & POPP R. (2016): Dachgeschoßausbau in Wien. - Verlag Österreich. Wien.
- KOLBE T., GRÖGER G. & PLÜMER L. (2005): CityGML - Interoperable access to 3D city models. - In: *Geo-information for Disaster Management* 10.1007/3-540-27468-5_63.
- KRESSE W. & FADAIE K. (2004): ISO standards for geographic information : with 13 tables. - Springer. Berlin u.a.
- LANGE NORBERT DE (2013): Geoinformatik. in Theorie und Praxis. - Springer Spektrum. Berlin, Heidelberg.
- LEHNER F., KIPAR A., NOLL H.P. & RINSCHADE A. (2011): CULTNATURE Neue urbane Landschaften als Strategie ökologisch und ökonomisch nachhaltiger Stadtentwicklung. Ein Konzept zur urbanen Entwicklung des Ruhrgebiets.
- LINGNER M. (2018): Was ist eine DXF-Datei? - Vogel Communications Group (Vogel IT-Medien GmbH). online unter <https://www.it-business.de/was-ist-dxf-a-751492/> (10-2019).
- MA18 (2014): STEP 2025 - Stadtentwicklungsplan Wien. - Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung.
- MA18 (2015): STEP 2025 Fachkonzept - Grün- und Freiraum -Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung.
- MA18 (2016): Smart City Wien - Rahmenstrategie. - Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung.
- MA21 (2019a): Katalog Flächenwidmungs- und Bebauungsplan (Plandokumente) Wien. - Stadt Wien – <https://data.wien.gv.at> , MA21 - Stadtteilplanung und Flächennutzung, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (Hrsg.). online unter <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/flachenwidmungs-und-bebauungsplan-plandokumente-wien> (10-2019).
- MA21 (2019b): Katalog Flächenwidmungs- und Bebauungsplan Wien. - Stadt Wien – <https://data.wien.gv.at> , MA21 - Stadtteilplanung und Flächennutzung, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (Hrsg.). online unter <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/02ad6e25-2698-405f-a37b-99745b1ac69c> (08-2019).

- MA22 (2019a): Dachbegrünung - Gute Gründe für grüne Dächer. - Stadt Wien, MA 22 - Umweltschutz. online unter <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/gruendaecher.html> (08-2019).
- MA22 (2019b): Gründachpotenzialkataster - Methodik und Erstellung. - Stadt Wien, MA 22 - Umweltschutz. online unter <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/projektidee.html> (10-2019).
- MA22 (2019c): Öffentlich zugängliche Grünflächen - Analyse. - Stadt Wien, MA 22 - Umweltschutz. online unter <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/umweltgut/oeffentlich.html> (08-2019).
- MA23 (2018): Bevölkerungsprognose 2018. Wien in Zahlen. - Stadt Wien, MA23 - Wirtschaft, Arbeit und Statistik. online unter <https://www.wien.gv.at/statistik/pdf/bev-prog-2018.pdf> (10-2019).
- MA41 (2019a): Dreidimensionales Stadtmodell - Produktinformation. - Stadt Wien, MA 41 - Stadtvermessung online unter <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/stadtmodell/produkt.html> (08-2019).
- MA41 (2019b): Generalisiertes Dachmodell (LOD2) - Produktinformation. - Stadt Wien, MA 41 - Stadtvermessung. online unter <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/dachmodell/produkt-lod2.html> (08-2019).
- MA41 (2019c): Geodaten Gründachpotentialkataster und existierende Gründächer (MA 22). - Stadt Wien, MA 41 - Stadtvermessung. <http://www.stadtvermessung.wien.at>.
- MA41 (2019d): Stadtplan3D. - Stadt Wien, MA 41 - Stadtvermessung. online unter <https://www.wien.gv.at/stadtplan3d/#/legend> (09-2019).
- MASÓ J., POMAKIS K. & JULIÀ N. (2010): OpenGIS® Web Map Tile Service Implementation Standard. - In: *OGC Standard*.
- MATHIAK B., KUPFER A. & NEUMANN K. (2005): Modellierung und kartographische Visualisierung von Geodaten mit XML-basierten Sprachen. - In: *Organ der Fachbereiche Softwaretechnik, Datenbanken und Informationssysteme der Gesellschaft für Informatik e.v. (GI)* 20 10.1007/s00450-005-0199-3.
- MOORE K. (2002): Visualizing data components of the urban scene. - In: *Virtual reality in geography*. Taylor & Francis. 257-269.
- MURRAY J.D. & VANRYPER W. (1996): Encyclopedia of graphics file formats. - O'Reilly & Associates.
- NAGEL C. & HÄFELE K.H. (2007): Generierung von 3D-Stadtmodellen auf Basis des IFC-Gebäudemodells. - In: *Entwicklerforum Geoinformationstechnik 2007*. Clemen C. (Hrsg.) 151-165.
- OGC (2019): CityGML. - OGC (Open Geospatial Consortium) (Hrsg.). online unter <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml> (08-2019).
- PRENNER P. (2015): Wien wächst - Wien wohnt. Gutes Wohnen in einer wachsenden Stadt. - AK Wien (Hrsg.). Wien.
- PRESAGIS (2018): OpenFlight ® Scene Description Database Specification. - online unter <https://www.presagis.com/workspace/uploads/files/openflight16-7.pdf> (10-2019).
- RHYNE THERESA-MARIE (1999): A commentary on GeoVRML: a tool for 3D representation of georeferenced data on the web. - In: *International Journal of Geographical Information Science* 13. 443. 10.1080/136588199241300.
- ROE J.J., ASPINALL P.A. & WARD THOMPSON C. (2017): Coping with Stress in Deprived Urban Neighborhoods: What Is the Role of Green Space According to Life Stage? - In: *Frontiers in Psychology* 8. (1760). 10.3389/fpsyg.2017.01760.
- SCHAE BEN H., APEL M., VAN DEN BOOGAART K. & KRONER U. (2003): GIS 2D, 3D, 4D, nD: Von geographischen zu geowissenschaftlichen Informationssystemen. - In: *Informatik Spektrum* 26. 173-179. 10.1007/s00287-003-0303-7.

- SCHÖNING H. (2003): XML. - In: *it – Information Technology (vormals it+ti)/Methoden und innovative Anwendungen der Informatik und Informationstechnik* 45. 122. 10.1524/itit.45.3.121.20201.
- SIG3D (2019): Standards ensure investments in 3D city models and applications. - SIG3D Special Interest Group 3D (Hrsg.). online unter <https://www.sig3d.org/index.php/en/sig3d-standardisation-citygml-inspire.html> (10-2019).
- STADTLEBEN (2019): Wien bleibt cool. bestes Klima auch im Sommer. - STADTleben (Hrsg.).
- STADTWIEN (2019a): Cooles Wien - Maßnahmen gegen Hitzeinseln. - Stadt Wien (Hrsg.). online unter <https://www.wien.gv.at/umwelt/cooleswien/> (07-2019).
- STADTWIEN (2019b): Lizenz. - Stadt Wien (Hrsg.). online unter <https://digitales.wien.gv.at/site/open-data/ogd-nutzungsbedingungen/> (10-2019).
- TEMEL R. (2004): Dachausbauten in der Stadtlandschaft. Ein Vergleich der Situation in Wien, Berlin, Prag, Budapest und München. - Stadt Wien, MA 18 - Stadtentwicklung Wien.
- VALI N. (2011): Analyse des Dachbegrünungspotentials Wien. - Stadt Wien, MA 22 - Räumliche Entwicklung.
- VIENNAGIS (2019a): Flächenwidmungs- und Bebauungsplan. - Stadt Wien (Hrsg.). online unter <https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/> (09-2019).
- VIENNAGIS (2019b): Geodatenviewer der Stadtvermessung Wien -Stadt Wien (Hrsg.). online unter <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/> (10-2019).
- WKO (2015): Bebauungsplan. - Wirtschaftskammer Wien (Hrsg.).
- ZHANG Y., VAN DEN BERG A.E., VAN DIJK T. & WEITKAMP G. (2017): Quality over Quantity: Contribution of Urban Green Space to Neighborhood Satisfaction. - In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14 (5). 535.

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift