

Materialintensität der Innenentwicklung

Ressourcenbewertung und Lokalisierung städtischer
Entwicklungspotentiale (M-DAB2)

S. Bindreiter, W. Lorenz,
L. Grabuschnig, E. A. Dengg,
G. Wurzer, V. Pachauer,
N. Ugljanin, P. Nageler,
P. Rasper, J. Fellner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

7/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

DI Stefan Bindreiter, Niko Ugljanin (Raumsimulationslabor, Institut für Raumplanung, TU Wien)

Dr. Wolfgang E. Lorenz, Dr. Gabriel Wurzer (Institut für Architekturwissenschaften, TU Wien)

DI Luise Grabuschnig, Dr. Johann Fellner (Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, TU Wien)

DI Ernst A. Dengg, Dr. Volker Pachauer (4a Consistent Design GmbH)

Arch. DI Peter Nageler, Arch. BM Paul Rasper (Rhomberg Bau Wien GmbH)

Wien, 2025

Materialintensität der Innenentwicklung

Ressourcenbewertung und Lokalisierung städtischer
Entwicklungspotentiale (M-DAB2)

DI Stefan Bindreiter, Niko Ugljanin
Raumsimulationslabor, Institut für Raumplanung, TU Wien

Dr. Wolfgang E. Lorenz, Dr. Gabriel Wurzer
Institut für Architekturwissenschaften, TU Wien

DI Luise Grabuschnig, Dr. Johann Fellner
Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, TU Wien

DI Ernst A. Dengg, Dr. Volker Pachauer
4a Consistent Design GmbH

Arch. DI Peter Nageler, Arch. BM Paul Rasper
Rhomberg Bau Wien GmbH

Wien, Juni 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Abstract	11
3	Ausgangslage	13
	3.1. Der Gebäudebestand als unbekannte Materialressource	13
	3.2. Forschungsfrage und Zielsetzungen	13
	3.3. State of the Art	15
	3.3.1. Nachhaltige Raumentwicklung	15
	3.3.2. Szenariotechnik und Planen in Varianten	16
	3.3.3. Digitale Methoden zur Kontextualisierung	17
	3.3.4. Visualisierung und Planungsunterstützung	17
	3.3.5. Wissenschaftliche Vorarbeiten	18
	3.4. Abgrenzung zum Vorgänger Projekt M-DAB	19
4	Projekthalt	21
	4.1. Überblick	21
	4.2. Archetypische Situationen	22
	4.2.1. Methodik	23
	4.2.2. Erstellung von qualitativen Potentialprofilen	24
	4.2.3. Prototypische Gebäude	26
	4.3. Entwicklungsvarianten	28
	4.3.1. Prämissen	30
	4.3.2. Zielsetzungen	32
	4.4. Material und Umweltbezogene Bewertung	37
	4.4.1. Einbettung der Rohstoff- und umweltbezogene Bewertungsmethode für die städtebauliche Entwicklung	37
	4.4.2. Ökobilanzielle Variantenbewertung	38
	4.4.3. Wirtschaftlichkeit	41
	4.5. Digitale Methoden und Visualisierung	41
	4.5.1. Aufbau Datenmodell	41
	4.5.2. Charakterisierung der Potentialprofile und Profildefinition	45
	4.5.3. Umfeldanalyse	48
	4.5.4. Automatische Ermittlung von Flächenpotentialen im digitalen Bebauungsplan der Stadt Wien	49
	4.5.5. Similarität – Abgleich mit Machine Learning	53
	4.5.6. Interaktive Datenvisualisierung	55
5	Ergebnisse	56
	5.1. Potentialprofile und Entwicklungsvarianten	57

5.2.	Quantifizierung qualitativer Beschreibungen	59
5.2.1.	Beschreibung der Profile	59
5.2.2.	Überprüfung und Abgleich der Kennwerte mit der Stadt	60
5.3.	Verteilung räumlicher Qualitäten in Wien.....	62
5.3.1.	Rastergröße	63
5.3.2.	Lagefilter	63
5.3.3.	Vergleichsmethode Machine Learning.....	66
5.4.	Datenvisualisierung.....	68
5.4.1.	Aufbau	69
5.4.2.	Funktionen.....	70
5.4.3.	Datengrundlagen und Limitationen	73
5.5.	Flächenpotentiale, Materialmengen und Umweltindikatoren.....	73
5.5.1.	Bestandsdaten im Stadtmodell	73
5.5.2.	Flächen- und Volumenpotentiale je Auswahl.....	75
5.5.3.	Materialbedarf bzw. Rückbaumaterialien	76
5.5.4.	Umweltindikatoren und Kosten	77
5.6.	Die M-DAB Projekte im „Stadt der Zukunft“ Programm.....	78
6	Schlussfolgerungen	80
6.1.	Erkenntnisse des Projektteams.....	80
6.2.	Relevanz für Zielgruppen	81
6.3.	Bisherige Verwertung, Anwendungs- und Marktpotentiale.....	82
7	Ausblick und Empfehlungen	84
7.1.	Forschungs- und Entwicklungsbedarf	84
7.2.	Potential für Demonstrationsvorhaben.....	85
8	Verzeichnisse.....	86
9	Anhang.....	97
9.1.	Glossar	97
9.2.	Data Management Plan (DMP)	99
9.3.	Metadaten www.data.gv.at (OGD).....	101
9.4.	Metadaten Denkmalliste (OGD)	102
9.5.	Metadaten Kooperationsvereinbarung MA 18.....	103
9.5.1.	Metadaten Widmung/Bauklassen Stadt Wien	103
9.5.2.	Metadaten Bauanzeigen Stadt Wien – Update	104
9.6.	Metadaten Datensätze M-DAB2	105
9.6.1.	DB-Metadaten – Attributsammlung je Gebäudeteil (Materialien)	105
9.6.2.	DB-Metadaten – Attributsammlung je Gebäudeteil (Potentiale)	107
9.6.3.	DB-Metadaten – Attributsammlung je Rasterzelle	109
9.6.4.	DB-Views für kumulierte Darstellungen	113

9.7. Metadaten Datensätze aus Vorprojekten (M-DAB).....	114
9.7.1. DB-Metadaten – Attributsammlung je Gebäudeteil M-DAB1.....	114
9.7.2. DB-Metadaten – Materialintensität	116
9.7.3. DB-Metadaten – Materialintensität Dachgeschoßausbau	117
9.7.4. DB-Metadaten – Materialien.....	118
9.7.5. DB-Metadaten – Materialgruppen	119
9.7.6. DB-Metadaten – Gebäudenutzung.....	120
9.8. Weitere Dokumentenanhänge	120

1 Kurzfassung

Ausgangslage und Motivation: Der jährliche Bodenverbrauch in Österreich beträgt über 42 km² (das entspricht ungefähr der Fläche von Eisenstadt) und liegt damit deutlich über dem Zielwert von 9 km²/a, welcher im aktuellen Regierungsprogramm für das Jahr 2030 angestrebt wird (Umweltbundesamt, 2021 und BKA, 2019). Bei der fortschreitenden Zersiedelung entsteht zusätzlich zur Fläche der Bauwerke ein erheblicher Mehrverbrauch an Flächen und Primärressourcen, da zudem neue Infrastruktur für Verkehr sowie Ver- und Entsorgung errichtet werden muss. Die gezielte Entwicklung des bestehenden Siedlungsraumes („Innenentwicklung“, Grams, 2017) führt zur Reduktion des jährlichen Bodenverbrauches und birgt großes Potential, den Primärressourceneinsatz zu reduzieren. Um die geeigneten Potentialflächen identifizieren und bewerten zu können, müssen eine Vielzahl von Faktoren (z.B. Lage, bestehende und angestrebte Bebauungsdichten oder die Kapazitäten und Qualitäten vorhandener Infrastrukturen) berücksichtigt werden. Bisher werden jedoch anfallende Mengen an Bau- und Abbruchmaterialien und materialbezogene Umweltwirkungen in der städtebaulichen Bewertung von Innenentwicklungspotentialen nicht miteinbezogen.

Zielsetzungen: Das Projekt verfolgt das Ziel der Verortung, Qualifizierung und Quantifizierung von Innenentwicklungspotentialen und soll dabei erstmals auch die Materialintensität der Innenentwicklung (Materialumsatz) für unterschiedliche Entwicklungsvarianten, sowohl aus Entwickler:innensicht als auch aus gesamtstädtischer Sicht, bewertbar machen. Die Entwicklung der Kriterien und Überprüfung mit GIS-gestützter, automatisierter Umfeldanalyse erlaubt den Vergleich unterschiedlicher Entwicklungsvarianten (Abbruch & Neubau, Zubau, Umbau & Sanierung) in Abhängigkeit zur jeweiligen Umgebung und bildet die Grundlage für eine systematische Optimierung der Standortplanung.

Methodische Vorgehensweise: Die Vorgehensweise wird im Projekt exemplarisch anhand von fünf unterschiedlichen (für Wien archetypischen) räumlichen Situationen getestet. Um Flächen- und Nutzungspotentiale in diesen „Profilen“ zu ermitteln, werden jeweils drei Entwicklungsvarianten durch konkrete Testentwürfe entwickelt. Diese Entwürfe zeigen konkrete Handlungsmöglichkeiten der Stadtplanung im Bereich der Innenentwicklung für reale Bestandsflächen. Aus den entstandenen BIM Modellen können die benötigten Bauteile und Materialien ermittelt und somit einer ökologischen und ökonomischen Bewertung unterzogen werden. Anhand der Indikatoren, die durch qualitative und quantitative Analysen konkreter Potentialflächen (Potentialprototypen inkl. Entwicklungsvarianten) in Potentialprofile überführt werden, können – basierend auf der erweiterten Datengrundlage des Vorgängerprojekts M-DAB¹ (FFG Nr. 873569, Endbericht: Bindreiter et al., 2021) und unter Anwendung von digitalen Methoden (z.B. Machine Learning) – Muster identifiziert werden, um ähnliche Potentiale in der Stadt automatisiert zu lokalisieren und zu quantifizieren. Mithilfe einer interaktiven Visualisierung werden die Potentiale anhand unterschiedlicher Filter- und Gewichtungskriterien sichtbar gemacht, wobei die Ergebnisse auch unter dem Aspekt unterschiedlicher Zielgruppen dargestellt und untersucht werden.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen: M-DAB2 entwickelt ein digital gestütztes Modell der Materialintensität bei der Beurteilung von Innenentwicklungspotentialen und eine interaktive Ergebnisvisualisierung, welche diese Potentiale sowohl aus Entwickler:innensicht, aber auch aus gesamtstädtischer Sicht bewertbar machen. Dabei wird erstmals auch die Materialintensität für Entwicklungsvarianten wie Dachgeschoßausbauten, Zubauten sowie Rück- und Neubauten quantifiziert. Im interdisziplinären Forschungsprojekt leistet bereits jedes einzelne Arbeitspaket – wie die Entwicklung

¹ M-DAB: **M**aterialressourcen der Stadt – **D**igitalisieren, **A**nalysieren und (nachhaltig) **B**ewirtschaften

der qualitativen Profile, die Ermittlung von Indikatoren und Attributen für die Umbau- und Sanierungsvarianten oder die ökologische Bewertung – für sich einen Beitrag zur nachhaltigen Innenentwicklung. Aber erst durch die Zusammenführung der unterschiedlichen Methoden und durch die Extrapolation dieser Daten – eingepflegt in intelligente, interaktive Visualisierungen – lässt sich ein holistischeres, klareres Bild zu urbanen Strategien der umwelttechnisch und auch wirtschaftlich nachhaltigen Entwicklung Wiens zeichnen.

Ausblick: Raumplanung und Städtebau verschränkt mit Nachverdichtung und nachhaltiger Entwicklung ermöglichen es, ungenutzte räumliche und materielle Potentiale zu erkennen und Nachverdichtung bei Erhalt von umbautem Raum im Bestand zu fördern. Mit dem entwickelten Modell der Materialintensität können Planer:innen und Immobilienentwickler:innen jenseits der „Common Practice“ (Abbruch und Neubau) Entwicklungsszenarien für Bauprojekte generieren und in Betrachtung dieser, optimierte Konzepte bezüglich Boden- und Materialressourcen erarbeiten.

2 Abstract

Background and Motivation: The annual land consumption in Austria exceeds 42 square kilometers (approximately the area of Eisenstadt) and thus significantly exceeds the target value of 9 km² per annum aimed for by the year 2030 in the current government program (Umweltbundesamt, 2021 and BKA, 2019). The ongoing sprawl not only increases the land consumption for buildings but also significantly raises the demand for land and primary resources due to the need for new infrastructure for transportation, supply, and disposal. The targeted development of existing urban areas ("inward development", Grams, 2017) reduces annual land consumption and has great potential to decrease the use of primary resources. To identify and evaluate suitable potential areas, various factors (e.g., location, existing and targeted building densities, or the capacities and qualities of existing infrastructure) must be considered. However, the quantities of construction and demolition materials and related environmental impacts are not currently considered in the urban planning evaluation of inward development potentials.

Objectives: The project pursues the goal of localizing, qualifying, and quantifying potentials for inward development, and, for the first time, should also make the material intensity of inward development (material turnover) assessable for different development scenarios, both from a developer's and a city-wide perspective. The development of the criteria and verification with GIS-supported, automated environmental analysis allows for the comparison of different scenarios (e.g., demolition & new construction, additions, conversions & refurbishment) depending on the respective environment, forming the basis for a systematic optimization of site planning.

Methodology: The approach is exemplarily tested in the project by using five different spatial situations typical for Vienna. To determine area and usage potentials in these "profiles", three development variants are elaborated using specific test designs. These designs demonstrate concrete possibilities for urban planning in the area of inward development for existing areas. The required components and materials can be determined from the resulting BIM models, and thus be subjected to an ecological and economic evaluation. Using the indicators, which are converted into potential profiles through qualitative and quantitative analyses of specific potential areas (potential prototypes including development variants), patterns can be identified – based on the expanded data foundation of the predecessor project M-DAB (FFG No. 873569) and by using digital methods (e.g., machine learning) – in order to automatically localize and quantify similar potentials in the city. Interactive visualization makes the potentials visible using different filters and weighting criteria, with the results also being examined from the perspective of different target groups.

Results and Conclusions: M-DAB2 develops a digitally supported model for assessing the material intensity of inward development potentials and an interactive visualization of results, making these potentials assessable from both a developer's and a city-wide perspective. For the first time, the material intensity for development variants such as attic expansions, extensions, and demolition and new construction becomes assessable. In the interdisciplinary research project, each individual work package – such as the development of qualitative profiles, the identification of indicators and attributes for the renovation and refurbishment variants, or the ecological evaluation – already contributes to sustainable inward development. However, it is only possible by combining the different methods and the extrapolation of data – incorporated into intelligent, interactive

visualizations – that a more holistic, clearer picture of urban strategies for environmentally and economically sustainable development of Vienna can be drawn.

Outlook: Urban planning and architecture, intertwined with densification and sustainable development, enable the identification of unused spatial and material potentials and promote densification while preserving existing built space. With the developed model of material intensity, planners and real estate developers can generate development scenarios for construction projects beyond "Common Practice" (demolition and new construction) and develop optimized concepts regarding land and material resources.

3 Ausgangslage

3.1. Der Gebäudebestand als unbekanntes Materialressource

Der jährliche Bodenverbrauch in Österreich beträgt etwa 42 km² (das entspricht ungefähr der Fläche von Eisenstadt) und liegt damit deutlich über dem Zielwert von 9 km²/a, welcher im aktuellen Regierungsprogramm für das Jahr 2030 angestrebt wird (Umweltbundesamt, 2021 und BKA, 2019). Bei Siedlungsentwicklungen auf der „grünen Wiese“ entsteht zusätzlich zur Fläche, welche die Bauwerke beanspruchen, ein erheblicher Mehrverbrauch an Flächen und Primärressourcen, nachdem auch neue Infrastruktur für Verkehr, sowie für Ver- und Entsorgung errichtet werden muss. Daher herrscht in den Planungswissenschaften breiter Konsens, dass Konzepte nachhaltiger Stadtentwicklung („Stadt der kurzen Wege“ - Jessen, 2018, „Transit Oriented Development“, „EcoCity“ - Gaffron et al., 2005, 2008) konsequenter umgesetzt werden müssen. Diese legen den Fokus auf Nutzungsmischung und qualitative Nachverdichtung („Bodensparen“ durch bauliche Dichte), um einerseits Zersiedelung entgegenzuwirken, und andererseits auch einen effizienteren Umgang mit (Energie-)Ressourcen (in Siedlung und Mobilität) zu gewährleisten.

In der Stadt Wien sind diese Prinzipien auch im STEP 2025 („polyzentrale Stadt“; „Städtebauliche Perspektive für unternutzte oder monodimensional genutzte Strukturen“) und der „Smart City Wien Rahmenstrategie“ abgebildet. Letztere definiert (bereits im Vorwort) das übergeordnete Ziel „[...] durch die größtmögliche Ressourcenschonung, sowie soziale und technische Innovationen die hohe Lebensqualität dieser Stadt zu sichern. Um diese Ziele zu erreichen, gilt es auch bei der Stadtentwicklung, möglichst flächen- und ressourcenschonend vorzugehen“ (Magistrat der Stadt Wien, 2019: S.3). Das Monitoring für die Smart City Wien Rahmenstrategie fokussiert hauptsächlich auf den Energieverbrauch (Strom, Heizwärme, Warmwasser) für Gebäudeflächen (unsaniert, saniert, neu), jedoch nicht auf den Materialeinsatz bei Abriss, Sanierung und Neubau (vgl. UIV, 2019; Homeier et al., 2018). Die Ressourceneffizienz von Siedlungsstrukturen wird bisher qualitativ beschrieben (z.B. Beurteilung nach Ecocity-Kriterien - Mayerhofer et al., 2009 nach Gaffron et al., 2005, 2008), oder es wird versucht sie quantitativ (über Energieverbrauch) mittels Stadtsimulationsmodellen (Bednar et al., 2020; AIT, 2021); MIT, 2021; ETH, 2021) zu bewerten. Der Materialaspekt spielt dabei jedoch keine Rolle!

3.2. Forschungsfrage und Zielsetzungen

Die im Vorgängerprojekt M-DAB identifizierten Potentiale wurden lediglich anhand ihrer theoretischen „geometrischen“ Nutzbarkeit, ohne weitere Überprüfung des jeweiligen Potential-Umfelds oder der Relevanz des Potentials, hinsichtlich der Ziele und Szenarien der Stadtentwicklung ermittelt. Diese methodischen Lücken führten zu den relevanten Fragestellungen in diesem anknüpfenden Forschungsprojekt:

- Wie kann das Umfeld einer Potentialfläche digital gestützt und automatisiert in eine städtebauliche Bewertung einfließen?
- Wie kann die Materialintensität von Planungsvorhaben schon frühzeitig abgeschätzt werden?

- Wie können qualitativ identifizierte Potentiale mit Attributen und Indikatoren beschrieben werden, um ähnliche Potentiale mit digitalen, automatisierten Methoden in der Stadt zu finden?
- Wo und wie groß sind diese Potentiale in Wien und wie würde eine ressourcenoptimierte Entwicklung dieser Potentiale aussehen?

Daher ist es wichtig, gemeinsam mit Stadtplanung und Immobilienentwicklung herauszufinden, welche Entwicklungsvarianten durch welche Eigenschaften von Flächen (inkl. ihres Umfelds) begünstigt bzw. wahrscheinlich gemacht werden. Jedenfalls sind diese Fragestellungen unter Berücksichtigung der Verträglichkeit von Entwicklungen in städtischem Kontext sowohl für Immobilienentwickler:innen und Bauträger:innen als auch für die Verwaltung und Stadtplanung relevant und spannend. Bei der Beurteilung der untersuchten Kriterien treffen unterschiedliche Problemsichten der Akteurinnen und Akteure aufeinander. Daher ist es notwendig, die Ergebnisse in einer Visualisierung für die unterschiedlichen Sichtweisen interaktiv aufzubereiten, um einen Wechsel der „Akteursbrille“ im kommunikativen Prozess zu ermöglichen.

Das Projekt verfolgt das Ziel der **(1) Identifizierung und Qualifizierung von Innenentwicklungspotentialen** und soll dabei erstmals auch die **(2) Materialintensität der Innenentwicklung** (Materialumsatz) für unterschiedliche Entwicklungsvarianten, sowohl aus Entwickler:innensicht als auch aus gesamtstädtischer Sicht bewertbar machen. Dazu sollen Potentiale der Innenentwicklung lokalisiert, identifiziert und unter Berücksichtigung ihres Umfelds charakterisiert werden, um mit digitalen Methoden diese **(3) Muster in der Stadt aufzuspüren und zu quantifizieren**. Unter Anwendung von material- und umweltbezogenen Indikatoren soll ein **(4) Methodenset zur holistischen Bewertung von Potentialflächen** und verschiedener Entwicklungsvarianten und -szenarien zur ressourcenschonenden Innenentwicklung geschaffen werden.

(1) Die **Identifikation und Qualifizierung von Entwicklungspotentialen als „Potentialprototypen“** in der Stadt erfolgen anhand qualitativer und quantitativer Kriterien unter Berücksichtigung von globalen und lokalen Trends und Megatrends. Deren Auswirkungen auf die jeweilige Umgebung lassen auch die zukünftigen Tendenzen in die Analyse einfließen. Die Analyse der Potentiale erfolgt mit Hilfe von Entwicklungsvarianten durch Testentwürfe. Sie erlauben die Definition konkreter (nachhaltiger, effizienter, realistischer) Handlungsmöglichkeiten in der Architektur und Stadtplanung im Bereich der Innenentwicklung für reale Bestandsflächen.

(2) Dabei soll eine **Methode zur systematischen Bewertung** von unterschiedlichen Entwicklungsvarianten hinsichtlich deren Auswirkungen auf den **Boden- und Ressourcenverbrauch** entwickelt werden, um künftig die **Materialintensität von Entwicklungsvorhaben abbilden** zu können und bewertbar zu machen. In der Beurteilung kann so auch der Ressourcenverbrauch auf unterschiedlichen Zeithorizonten (kurzfristig → Bau, langfristig → Energieverbrauch, Siedlungsentwicklung) und auf räumlichen Ebenen (Gebäude, Stadtteil) integriert werden.

(3) Lokalisierung und Quantifizierung von Potentialflächen in der Stadt

Anhand der Attribute und Indikatoren, die durch qualitative und quantitative Analysen konkreter Potentialflächen (Potentialprototypen inkl. Entwicklungsvarianten) in Potentialprofile überführt werden, sollen mit digitalen Methoden ähnliche Potentiale in der Stadt automatisiert lokalisiert und quantifiziert werden.

(4) Visualisierung als Kommunikationshilfe. Mithilfe einer interaktiven Visualisierung sollen die Potentiale anhand unterschiedlicher Filter- und Gewichtungskriterien sichtbar gemacht werden, wobei die Ergebnisse auch unter dem Aspekt der unterschiedlichen Sichtweisen der Nutzer:innen-

Zielgruppen dargestellt und untersucht werden sollen. Somit wird ein Beitrag geleistet, der eine ressourcenschonende Planung auf Gebäude- bzw. auf Grundstücksebene mit Prinzipien der nachhaltigen Siedlungsentwicklung verbindet und vereinbart.

3.3. State of the Art

3.3.1. Nachhaltige Raumentwicklung

Da es durch den wachsenden Wohlstand zu einer deutlichen Steigerung der erforderlichen Flächen in Gebäuden gekommen ist – sei es für Wohnen, Bildung, Erholung, Büros oder Dienstleistungen (Kuzmich et al., 2011) –, muss die ausgenutzte Bebauungsdichte steigen damit die Bevölkerungsdichte sich nicht verringert. (Anmerkung: Die Siedlungsdichte ist relevant für die Infrastrukturen.) Die Vorteile einer urbanen Wohnsituation, mit fußläufiger Erreichbarkeit möglichst vieler Infrastrukturen, der Nutzung eines leistungsfähigen, hochfrequenten, öffentlichen Verkehrs oder die Verfügbarkeit einer guten Nahversorgung, sind nur aufgrund der Dichte möglich (ibid.).

Wien war um 1900 eine der einwohnerstärksten Städte der Welt. Im Zeitraum von ca. 40 Jahren, zwischen 1869 und 1910, hat sich die Wohnbevölkerung mehr als verdoppelt; von 900.998 auf 2.083.630 Bewohner:innen (Bauer & Himpele, 2019). Gerade deshalb macht es Sinn, die Potentiale der damals errichteten, ehemals-vorstädtischen Areale aus der Gründerzeit hinsichtlich Erhaltung und Sanierung, nachhaltiger Entwicklung und Nachverdichtung, bei hoher Standortgunst, näher zu untersuchen. Allerdings ist der Erhalt oder die Adaptierung des Bestandes, je nach zukünftigem Verwendungszweck, nur bedingt sinnvoll und durchführbar. Wenn das Raumprogramm des geplanten Projektes eine strukturell andere Gebäudetypologie bedingt, ist ein Abbruch leider oft unvermeidbar. Gerade deshalb ist es sinnvoll bei Stadtvierteln auf zukünftige Entwicklungen, Technologien, Trends und Megatrends zu achten – sei es hinsichtlich Mobilität, Gentrifikation, Ökologie (Glazebrook & Newman, 2018) oder neuerdings auch durch Home-Office (Moeckel, 2017) – und diese zu nutzen, um den Stadtteil nachhaltiger und ressourcenschonender zu gestalten.

Eine nachhaltige Innenentwicklung bedingt eine möglichst vollständige urbane Infrastruktur und Grundversorgung in zumutbarer Wegedistanz (Bibri, Krogstie & Kärrholm, 2020). Um diese zu stärken – man bedenke den zuvor erwähnten erhöhten Raumbedarf – ist die Nachverdichtung neben der Bebauung der Baulücken und Brachen eines der Schlüsselemente der Innenentwicklung (Grams, 2017). Dies ist mittels Dachgeschoßausbauten, Aufstockungen, An- und Zubauten möglich (Grams, 2017: S.16).

Um diese Flächen zu erkennen, gibt es bereits erprobte manuelle („Raum+“ ETH, 2017; Flächenmanagement Datenbanken in Bayern oder Niederösterreich) oder (teil-)automatisierte Methoden („Bauland entlang von Eisenbahnkorridoren“, Bindreiter, 2018; „Gewidmetes, nicht bebautes Bauland – ÖROK“ Banko & Weiß, 2016; „Geschoßflächenpotentiale/URBEM“ Forster, 2016, S.38ff). Auch im Vorgängerprojekt M-DAB wurden ungenutzte Potentiale in Wien je Baublock erhoben. All diesen Ansätzen fehlt jedoch eine Bewertung des städtischen Kontexts (Umfeldanalyse), die für eine realistische Abschätzung der tatsächlich verfügbaren Potentiale (hinsichtlich Verträglichkeit, Infrastrukturversorgung, etc.) unbedingt notwendig ist.

3.3.2. Szenarientechnik und Planen in Varianten

In der Raumplanung und Stadtentwicklung stehen generell eine Vielzahl von Lösungswegen einer Problemstellung gegenüber, die in der Regel in einem kooperativen, kommunikativen Prozess unter Einbeziehung unterschiedlicher Akteurinnen und Akteure, Expertinnen und Experten erörtert und evaluiert werden.

Zur thematischen Festlegung, also zur Definition von Varianten, die mit den oben genannten Methoden untersucht und „durchgespielt“ werden, ist die Szenarientechnik eine etablierte Vorgehensweise. Mit Ursprüngen in der militärischen Planung, aber auch in der Volkswirtschaft, kommt die Technik mittlerweile auch in der Raumplanung zum Einsatz. So werden Szenarien in der Stadt- und Raumplanung zum Beispiel in den Bereichen der Flächenentwicklung (Waddell, 2002), der nachhaltigen Stadtentwicklung (Kurz, Gardner, Verplanken, u. a., 2015), der Mobilitätsforschung (Mitteregger et al., 2020) und der Technologiefolgeabschätzung (Duinker & Greig, 2007) eingesetzt und gelten als etabliertes Mittel, um Entwicklungshorizonte (teils partizipativ) für Städte und Regionen zu entwickeln (z.B. Szenario-Prozesse in München, Hamburg, Zürich oder Wien in den vergangenen Jahren).

Vielfältig wie ihre Anwendungsgebiete bietet die Szenarientechnik mit ihren Ansätzen, Techniken und Methoden eher ein methodologisches Konzept, „*das einen Kanon von Ansätzen unterschiedlicher Komplexitätsgrade umfasst*“ (Kosow & Gassner, 2008: S.18). Es wird zwischen qualitativen und quantitativen Szenarien unterschieden, wobei die letzteren ein hohes quantitatives Wissen über den untersuchten Sachverhalt voraussetzen. Die quantitativen Szenarien kommen insbesondere in Themenbereichen wie Demographie und Wirtschaftsentwicklung zur Anwendung. Die Methode setzt einen hohen Formalisierungsgrad voraus, der auch die Anwendung von Modellierungen und Simulationen ermöglicht. Schlüsselfaktoren werden eher fest und eng definiert; basierend auf deren möglichen Ausprägungen werden kurz- bis mittelfristige Entwicklungsmöglichkeiten projiziert (Kosow & Gassner, 2008: S.18, basierend auf Van Notten et al 2003; Alcamo 2001: S.10).

Daneben lassen sich Szenarientechniken in explorative und normative Ansätze einteilen: Erstere versuchen prinzipiell wertneutrale Zukunftsbilder zu generieren und Fragen zu beantworten, welche Entwicklungsrichtungen generell eingeschlagen werden können. Dabei steht eine explorative bzw. Wissens-Funktion im Vordergrund. Der Ansatz fokussiert auf die Beantwortung sogenannter „Was wäre, wenn?“-Fragen. Hierbei können auch Wahrscheinlichkeiten miteinbezogen werden (Kosow & Gassner, 2008: S.24, basierend auf Henrichs 2003; Greeuw et al. 2000; Steinmüller 1997). Normative Szenarien beschäftigen sich mit gewünschten Zukunftsszenarien und ihrer Bewertung, sowie der Definition von Maßnahmen, wie diese erreicht werden können. Diesem Ansatz kommt eine strategische Funktion hinzu und fokussiert auf Fragen in Bezug auf die Definition von Zielvorstellungen und den Entwurf von konkreten Handlungsschritten zu deren Erfüllung (Kosow & Gassner, 2008: S.24 basierend auf Henrichs 2003; Greeuw et al. 2000; Steinmüller 1997).

Im vorliegenden Forschungsprojekt dient die Beschreibung möglicher Zukunftsszenarien für die Stadt (im Zusammenspiel mit der Analyse von Megatrends, Zielen und Strategien der Planung) dazu, künftige Flächenpotentiale zu erkennen sowie als Richtschnur beim Entwurf und bei der Bewertung von Entwicklungsvarianten für diese Potentialflächen. Bei der Entwicklung der Szenarien ist der Austausch mit unterschiedlichen Stakeholdern (z.B. Stadtplanung, Immobilienentwicklung) notwendig, denn sie fließen auch in Anforderungen an die Datenvisualisierung mit ein.

3.3.3. Digitale Methoden zur Kontextualisierung

Für die Analyse räumlicher Phänomene (abgebildet als Vektor- oder Rasterdaten) können verschiedene geometrische (z.B. Distanzberechnungen), topologische (z.B. Graphenanalyse) und statistische Methoden herangezogen werden (vgl. Bill, 2016: S.17-36, S.387ff, S.489ff). Für die Verortung und Bearbeitung thematischer Informationen werden häufig Rasterdaten verwendet. So werden die räumlichen Eigenschaften in ein (im vorliegenden Forschungsprojekt „stadtweites“) Gitternetz eingetragen: Pro Rasterzelle werden sowohl qualitative als auch quantitative Eigenschaften erfasst. Üblicherweise kommen diese Daten aus Geoinformationssystemen (GIS) und/oder anderen räumlichen Datenbanken. Jedenfalls ist für das Ergebnis – ähnlich wie bei der Anwendung der Box-Counting Methode (vgl. Abschnitt 4.5.1) in der Architektur (siehe Lorenz, 2009 und Lorenz, 2013) – die Wahl der Zellengröße entscheidend, nachdem diese zu einer Über- oder Unterrepräsentation führen kann (hohe Datendichte oder hoher Aggregationsgrad).

Die im Forschungsprojekt gesuchten „ähnlichen“ Potentialflächen definieren sich über die eingesetzten Daten (Varianten des Ausbaus, Eigenschaften des Kontexts = Infrastruktur, etc.). Beim „pattern matching“ wird eine Rasterzelle mit einem Eigenschaftsvektor $v_{xy} = (E_1, \dots, E_N)$ mit einer anderen Zelle $v_{x'y'} = (E_1, \dots, E_N)$ verglichen. Im simpelsten Fall wird die Euklidische Distanz zwischen beiden benutzt, um ein solches Similaritätsmaß zu erhalten. Ebenso ist der kreuzweise Vergleich einer Zelle mit ihren Nachbarzellen („co-occurrence matrix“, s.a. Brunsdon, 2020) möglich, welcher implizit eine Eigenwertanalyse darstellt. Schließlich können auch Methoden aus dem Machine Learning dazu verwendet werden, eine Ähnlichkeit zwischen Zellen zu errechnen. Dazu werden die Eigenschaften der Zelle und ihrer Umgebung als Knoten eines Deep-Learning-Netzwerks ausgedrückt; über Beispiele wird gelernt, welche Kombination aus Eigenschaften die Ähnlichkeit am besten ausdrückt (Klassifikation; siehe Shafizadeh-Moghadam et al., 2019). Die Auswahl digitaler Methoden zur Ähnlichkeitsbestimmung, wie beispielsweise auch eine statistische Klassifikation, ist Gegenstand der Forschung im Projekt. Ein weiterer Aspekt ist die Filterung der Ergebnisse nach anwendungsspezifischen Schwerpunkten. Zur Zusammenfassung ähnlicher Zellen in „Grätzeln“ werden hernach Methoden des Clusterings (mittels statistischer Methoden zur Dimensionsreduktion, z.B. Principal Component Analysis, über Machine Learning, oder über die vorhin erwähnte „co-occurrence matrix“) angewandt.

3.3.4. Visualisierung und Planungsunterstützung

Die in Abschnitt 3.3.1 skizzierten Rahmenbedingungen führen zu einem erhöhten Druck auf Entscheidungsträger:innen, nachdem ein Ausgleich zwischen Gemeinwohlinteressen und den oftmals divergierenden Interessen unterschiedlicher Stakeholder auszuhandeln ist. Solche komplexen Fragestellungen gehören zu den wichtigsten Herausforderungen in der Raumplanung. Wie in Abschnitt 3.3.2 erläutert, werden dazu in diesem Projekt sowohl deskriptive als auch normative Aussagen bezüglich der Weiterentwicklung des Wiener Gebäudebestands getroffen. Schönwandt (1999) und Selle (1997) beschreiben die Notwendigkeit kooperativer Prozesse, in denen Visualisierungs- und Planungsunterstützungswerkzeuge eingesetzt werden. Sie dienen dabei als wichtige Kommunikationstools, um Daten für unterschiedliche Zielgruppen verständlich aufzubereiten und unterschiedliche fachliche Perspektiven auf komplexe Problemstellungen abbilden zu können. Dabei können auch sozial- und genderrelevante Aspekte berücksichtigt werden, wie D'Ignazio & Klein (2020) zeigen.

Digitale Methoden (AP5) helfen dabei, solche komplexen Problemstellungen, sowie ihre Teilaspekte zu strukturieren. Forster (2016) definiert Visualisierungen als wichtige Hilfsmittel in der Planung, sowie in der Abschätzung von „Auswirkungen der Planungsmaßnahmen vor ihrer Realisierung“ (Forster, 2016: S.73).

Strategische Visualisierungstools erlauben einen interaktiven Vergleich unterschiedlicher Aspekte, Varianten und Ausgänge einer Themenstellung und können somit effizient in kommunikative Planungsprozesse mit eingebunden werden. Auch im Vorgängerprojekt M-DAB wurde ein Werkzeug entwickelt, das es ermöglicht, die unterschiedlichen Materialmengen in der Stadt zu verorten und zu quantifizieren bzw. in Materialgruppen zu qualifizieren. Die dabei ermittelten Daten stehen für das vorliegende Projekt als Datengrundlage zur Verfügung.

3.3.5. Wissenschaftliche Vorarbeiten

Im folgenden Abschnitt sind Forschungsprojekte der Konsortialpartner:innen gelistet, welche vor allem in den Bereichen Methodik und Daten Grundlagen und Synergien zum Projekt M-DAB2 aufweisen:

M-DAB

Ergebnis: 3D Visualisierung von Materialressourcen der Stadt Wien zur strategischen Entscheidungsunterstützung

Synergien: Datenbank und Attributsammlung für Gebäude

Abgrenzung: Siehe Abschnitt 3.4.

Förderstelle: FFG

Simultan

Ergebnis: Entwicklung einer Softwareumgebung zur Visualisierung von Energie und Mobilitätsbezogenen Informationen; offenes Datenmodell

Synergien: Schnittstellen zu Dateiformaten (DXF, CSV und GeoJson) für Visualisierung vorhanden

Abgrenzung: Andere Daten, andere Schnittstellenanforderungen, andere Anforderung an Visualisierung und Interaktion

Förderstelle: FFG

Virtuelle Flughafenstadt

Ergebnis: 3D Visualisierung des Energieverbrauchs der Flughafenstadt zur strategischen Entscheidungsunterstützung; offenes Datenmodell

Synergien: Know-how Datenbank und GUI-Entwicklung

Abgrenzung: Andere Daten, andere Schnittstellenanforderungen, andere Anforderung an Visualisierung

Förderstelle: Auftragsforschung Vienna International Airport

Christian Doppler-Labor für Anthropogene Ressourcen

Ergebnis: Im CD-Labor für Anthropogene Ressourcen wurden methodische Grundlagen für eine effiziente Bewirtschaftung von sekundären Rohstoffen geschaffen. Es wurde die verbaute Infrastruktur von Wien untersucht und eine Methode zur Bestimmung spezifischer Materialkennwerte für Bestandsgebäude entwickelt.

Synergien & Abgrenzung: Auf diese Methode wird im gegenständlichen Projekt hinsichtlich der

materiellen Analyse von Bestandsobjekten aufgebaut.

Förderstelle: Christian Doppler Forschungsgesellschaft

Transloc

Ergebnis: Im Projekt TransLoc wird die Auswirkung der Transformation der Stadt hin zu einer Low-Carbon City für die beiden Sektoren Transport und Gebäude untersucht. Dabei werden die Auswirkungen von Sanierungen und Neubauten auf den Materialbedarf und die Treibhausgasemissionen untersucht.

Synergien & Abgrenzung: Auf diese Daten und Berechnungen wird in den beiden M-DAB Projekten zurückgegriffen.

Förderstelle: Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds (WWTF)

BIMstocks

Ergebnis: Im Projekt BIMstocks wird eine Methodik zur durchgängigen digitalen Erfassung der materiellen Zusammensetzung des urbanen Baubestandes in Wien entwickelt.

Synergien & Abgrenzung: Diese Erkenntnisse über die digitale und automatisierte Ermittlung der materiellen Zusammensetzung von Gebäuden wird in der im gegenständlichen Projekt entwickelten Methode zur Bewertung von Bestandsgebäuden berücksichtigt.

Förderstelle: FFG

((Modyplan))

Ergebnis: Entwicklung eines simulationsgestützten Planungsinstruments für Krankenhäuser, das durch eine integrierte Sicht auf Funktionen, Flächen und Prozessen die Planung in frühesten Phasen des Projekts erleichtert. Kern der Software ist eine agentenbasierte, räumliche Simulation samt interaktiver Visualisierung.

Synergien & Abgrenzung: ((Modyplan)) ist eine Kombination aus zellenbasierter und kontinuierlicher Welt, während das vorliegende Projekt rein zellenbasiert ist und andere Anforderungen aufweist. Auf Know-how bezüglich agentenbasierter Simulation und Visualisierung kann zum Teil zurückgegriffen werden.

Förderstelle: ZIT (Wirtschaftsagentur Wien)

3.4. Abgrenzung zum Vorgänger Projekt M-DAB

Im Vorgängerprojekt M-DAB (<https://projekte.ffg.at/projekt/3307471>) konnte von den Konsortialpartnern aufgezeigt werden, dass die gezielte Bewirtschaftung des Gebäudebestands einer Stadt einen signifikanten Einfluss auf das Baurestmassen-Aufkommen, dessen Verwertbarkeit, sowie insbesondere auch auf den Primär-Ressourcenbedarf hat (vgl. Lederer et al., 2020 und Bindreiter et al., 2021).

Die wesentlichen Unterschiede bzgl. des Untersuchungsgegenstands und der Forschungsfragen sind in Tabelle 1 gegenübergestellt: Im Vergleich zu M-DAB fokussiert M-DAB2 auf die Erforschung bzw. die Entwicklung eines sowohl quantitativen als auch qualitativen Konzepts zur digital gestützten Bewertung der Materialintensität von Planungsvorhaben für eine ressourcenschonende Stadt- und Immobilienentwicklung.

Während M-DAB einen starken Fokus auf der Analyse des IST-Zustands des Gebäudebestands (mit Fokus auf Wohngebäude unterschiedlicher Bauperioden) und der Entwicklung entsprechender Methoden zur Prognose zukünftiger Abbruchmengen und Materialflüsse legte, wurde die konkrete Lage der Gebäude und ihr jeweiliges Umfeld noch nicht berücksichtigt. Deswegen berücksichtigt M-DAB 2 bei der Untersuchung von Entwicklungspotentialen nun auch das Umfeld der Gebäude, um den Kontext des „Grätzels“ in die Analysen mit aufzunehmen. Dabei wird auf konkrete Entwicklungspotentiale in der gebauten Stadt fokussiert und die Entwicklung von Methoden zur automatisierten Lokalisierung und Quantifizierung in den Mittelpunkt der Forschung gestellt.

M-DAB2 nutzt sowohl die in M-DAB erarbeiteten Daten- und Schnittstellengrundlagen als auch die Methodik hinsichtlich der Ermittlung von Geschoßflächen- und Bauflächenpotentialen.

Tabelle 1: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands und der Forschungsfragen zum Vorgängerprojekt M-DAB.

Untersuchungsgegenstand	M-DAB	M-DAB2
Gebäude & Grundstück	Flächen, Volumen, Baujahr, Nutzung, Bauklasse, Sanierungsstatus, Denkmalschutz, ...	
Kontext des Grätzels/Umfeld		Erreichbarkeiten (ÖV-Güteklassen), Versorgungseinrichtungen, Grüne Infrastruktur, ...
Fokus & Fragestellung	<ul style="list-style-type: none"> • Geschoßflächen- und Bauflächenpotentiale • Abrisswahrscheinlichkeit je Gebäude • Abbruchmengen (quantitativ, qualitativ) im Jahr X 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse von Entwicklungsvarianten des Standorts (Materialintensität) • Identifikation und materialsensible Bewertung von Innenentwicklungspotentialen • Standorteignung und Potentiale in Wien

4 Projektinhalt

4.1. Überblick

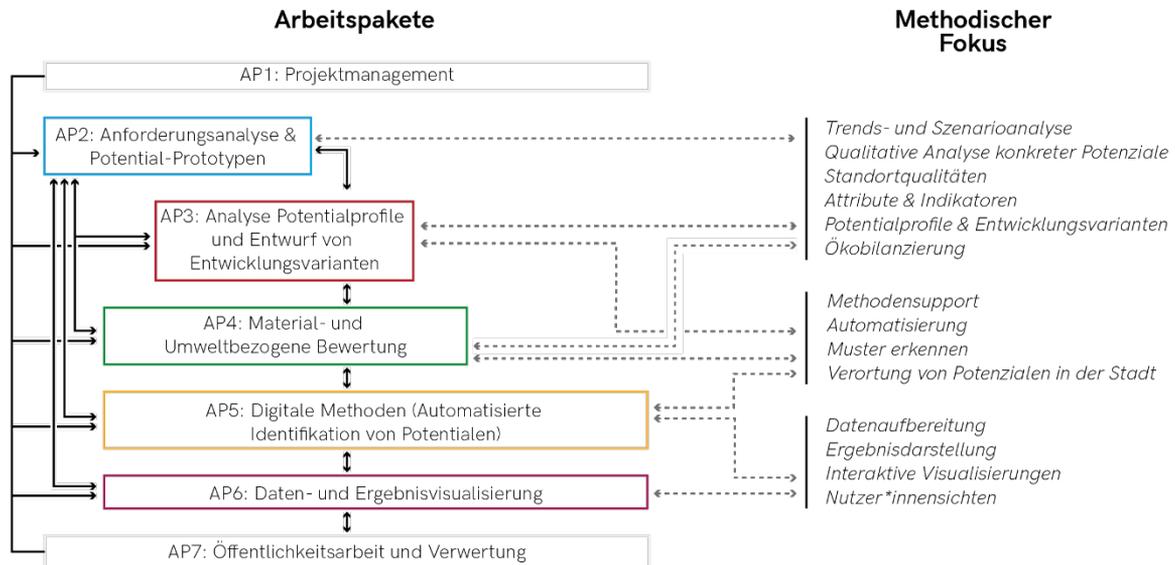
Das Projekt verfolgt das Ziel der Verortung, Qualifizierung und Quantifizierung von Innenentwicklungspotentialen und soll dabei erstmals auch die „*Materialintensität der Innenentwicklung*“ (Materialumsatz) für unterschiedliche Entwicklungsvarianten, sowohl aus Sicht von Immobilienentwickler:innen als auch aus gesamtstädtischer Sicht, bewertbar machen.

Dies geschieht im Projekt exemplarisch anhand unterschiedlicher räumlicher Situationen in der Stadt. Aufgrund der – im österreichischen Vergleich – guten Datenverfügbarkeit dient Wien als Testgebiet für die im Projekt entwickelten Methoden. Dazu werden fünf beispielhafte „*Potentialprofile*“ (im folgenden Text auch als „Profil“ oder „PP“ abgekürzt) für typische räumliche Situationen in Wien definiert, welche für einen quantitativ möglichst großen Anteil des Wiener Baubestandes repräsentativ sind. Auf Basis dieser Potentialprofile werden unterschiedliche „*Entwicklungsvarianten*“ (z.B. Abbruch & Neubau, Zubau oder Umbau & Sanierung) entworfen und getestet.

In diesem interdisziplinären Forschungsprojekt leistet bereits jedes einzelne Arbeitspaket (AP) – wie die Identifikation und Beschreibung der qualitativen Profile (AP2), der Entwurf von geeigneten Entwicklungsvarianten und die Ermittlung von Indikatoren und Attributen für die Umbau- und Sanierungsvarianten (AP3) inklusive der ökologischen Bewertung (AP4) – einen Beitrag zur nachhaltigen Innenentwicklung. Digitale Methoden und Algorithmen helfen, die dabei entstehenden qualitativen Erkenntnisse zu attribuieren und zu quantifizieren, um die gesamtstädtischen Entwicklungspotentiale automatisiert aufzuspüren und bewerten zu können (AP5). Erst durch die Zusammenführung der unterschiedlichen Methoden und die Extrapolation der Daten – eingepflegt in intelligente, interaktive Visualisierungen (AP6) – lässt sich ein holistischeres, klareres Bild zu urbanen Strategien der umwelttechnisch und auch wirtschaftlich nachhaltigen Entwicklung Wiens zeichnen. Raumplanung und Städtebau verschränkt mit Nachverdichtung und nachhaltiger Entwicklung ermöglichen es, ungenutzte räumliche und materielle Potentiale zu erkennen und die Nachverdichtung bei Erhalt von umbautem Raum im Bestand zu fördern.

Abbildung 1 zeigt das Zusammenspiel der Arbeitspakete in M-DAB2. Mit dem entwickelten Modell der Materialintensität können Planer:innen und Immobilienentwickler:innen jenseits der „*Common Practice*“ (Abbruch und Neubau) Entwicklungsszenarien für Bauprojekte generieren und in Betrachtung dieser, optimierte Konzepte bezüglich Boden- und Materialressourcen entwickeln.

Abbildung 1: Methodisches Zusammenspiel der Arbeitspakete in M-DAB2 (eigene Darstellung).



Zur Identifikation und Qualifizierung von Potentialprofilen in der Stadt müssen eine Vielzahl von Faktoren (z.B. Lage, Bebauungsdichten oder Kapazitäten bzw. Qualitäten der Infrastruktur) berücksichtigt werden, wobei hier auch die im Vorgängerprojekt M-DAB geschaffene Datengrundlage aktualisiert und erweitert wird.

Die Vorgehensweise wird im Projekt exemplarisch anhand von fünf unterschiedlichen (für Wien archetypischen) räumlichen Situationen getestet. Um Flächen- und Nutzungspotentiale in diesen Profilen zu ermitteln, werden diese Potentiale in jeweils drei Entwicklungsvarianten durch konkrete Testentwürfe entwickelt. Diese Entwürfe zeigen konkrete Handlungsmöglichkeiten der Stadtplanung im Bereich der Innenentwicklung für reale Bestandsflächen. Aus den entstandenen BIM Modellen werden die benötigten Bauteile und Materialien ermittelt und können somit einer ökologischen und ökonomischen Bewertung unterzogen werden (AP4). Anhand der Indikatoren, die durch qualitative und quantitative Analysen konkreter Potentialflächen (Potentialprototypen inkl. Entwicklungsvarianten) in Potentialprofile überführt werden, können mit digitalen Methoden ähnliche Potentiale in der Stadt automatisiert lokalisiert und quantifiziert werden (AP5). Mithilfe einer interaktiven Visualisierung werden die Potentiale anhand unterschiedlicher Filter- und Gewichtungskriterien sichtbar gemacht (AP6), wobei die Ergebnisse auch unter dem Aspekt unterschiedlicher Zielgruppen dargestellt und untersucht werden.

4.2. Archetypische Situationen

Ein Potentialprofil ist ein Stereo- oder Archetyp einer Bauweise, welche häufig in der Stadt Wien vorzufinden ist. Die Profile zielen nicht darauf ab, architektonische Prestige- und Prunkbauten oder touristische Sehenswürdigkeiten zu beschreiben; vielmehr ist es ein Versuch, ein Standardgebäude aus einer bestimmten Bauepoche zu beschreiben und qualitativ und quantitativ darzustellen. Das bedeutet, es soll sowohl im Hinblick auf Gebäudetypologie, der vertikalen und horizontalen Erschließung, der Geschoßigkeit, der Raumhöhen, der Wahl der Baumaterialien etc. die Bauphase quantitativ bestmöglich repräsentieren. Die Verortung bzw. die Lage im Raum wird in der qualitativen Beschreibung kurz behandelt, spielt aber dennoch in den weiteren Arbeitspaketen eine

untergeordnete Rolle, da die fünf Profile mit der entwickelten Methode aufgrund der Spezifikationen automatisiert auffindbar sein sollen.

4.2.1. Methodik

Vier der insgesamt fünf Potentialprofile (PP1 – PP4) wurden ursprünglich nach Bauperioden^{*)} gegliedert. Da diese allesamt Mischnutzungen darstellen bzw. teilweise auch reine Wohnbauten sind, ergänzt eine reine Gewerbetypologie die Potentialprofile (PP5).

***) Anmerkung:** Um die entwickelten Potentialprofile nicht zu eng mit den großen Stadtentwicklungsepochen der Stadt Wien zu verknüpfen und den Fokus stärker auf die Entwicklung der räumlichen Qualitäten zu legen, werden den Potentialprofilen im Laufe des Projekts folgende plakative Überschriften gegeben: **PP1 „Blockrand“**, **PP2 „Das Rote Wien“**, **PP3 „Licht, Luft & Autos“**, **PP4 „Harry Glück & Co“** und **PP5 „Gewerbe“**. Dies war das Resultat eines längeren Prozesses innerhalb des Konsortiums.

Die Gliederung der Bauepochen orientiert sich an den Perioden der Stadt Wien, konkret an der Schnellinventarisierung, welche jeweils Gebäude vor 1848, aus der Gründerzeit von 1848 bis 1918 und aus der Zwischenkriegszeit von 1919 bis 1945 zusammenfasst. Der Beginn der noch andauernden Nachkriegszeit wird mit 1945 angesetzt (vgl. Stadt Wien Projektleitung Kulturgut, 2022). Die Erste Phase besitzt für das Forschungsprojekt eine geringere Relevanz, da diese Bauwerke keinen großen Baubestand aufweisen, insbesondere wenn man sie, um sie als Potentialprofil behandeln zu können, nochmals in Renaissance, Barock, Rokoko, Klassizismus und Biedermeier unterteilt. Weiters weisen sie einen sehr starken Denkmalschutz auf (u.a. UNESCO Kernzone) und werden dementsprechend selten umgebaut oder abgebrochen (vgl. BO für Wien; Stadt Wien, 2023).

Die Phase der Nachkriegszeit wäre für das Forschungsprojekt als eine einzige zusammenhängende Bauperiode zu grob bemessen, daher wird dieser Zeitraum nach den Wiener Bauperioden in „Nachkriegssparsamkeit“ (1945 – 1960er), „Spätmoderne“ (1960er – 1990er) und die Neubauten seit den 2000er Jahren untergliedert. Die dabei identifizierten „typischen“ Qualitäten fließen in die Entwicklung der Potentialprofile PP3 bis PP5 ein.

Folgende Methoden werden für die qualitative und quantitative Beschreibung der Potentialprofile angewandt:

- Literaturrecherche: Recherche über historische Bauweisen, Ausheben von historischen Plänen und Dokumenten zur Errichtung prototypischer Bauwerke.
- GIS-Recherche: Bestandserhebung der ViennaGIS, Clusterung von themenverwandten Datensätzen, Recherche mittels Luftbilder aus ViennaGis, GoogleMaps, GoogleEarth, Microsoft Bing Karten, etc.
- Erstellung von Grundrissen – von charakteristischen Gebäuden oder teilweise in Form von tentativen Entwürfen – für repräsentative Geschoße und schematische Lagepläne. Es werden Regelgeschoßgrundrisse erstellt (daher zeigen die Pläne zumeist die Obergeschoße, abgesehen vom PP5).

Aufgrund der Diversität der Potentialprofile können nicht alle fünf Profile analog mit denselben Methoden erarbeitet werden, beispielsweise verlangen die Anzahl, die Größe oder die Divergenz gewisser Bauwerke in einer Bauperiode andere Analyseprozesse.

4.2.2. Erstellung von qualitativen Potentialprofilen

Obwohl die Profile nicht unterschiedliche Bauperioden abbilden, sondern vielmehr die räumlichen Situationen beschreiben, sind dennoch gewisse räumliche Qualitäten „typisch“ für unterschiedliche Stadtentwicklungs- bzw. Baupochen in Wien. Dadurch lassen sich die Bauperiode und Geschichte bei der qualitativen Beschreibung der Profile nicht ausblenden. Deshalb folgen die qualitativen Profilbeschreibungen und die damit verbundenen Analysen folgender Struktur:

Geschichte, Städtebau und Lage im Raum

In der Literaturrecherche werden die unterschiedlichen Stadterweiterungsperioden analysiert, um auch qualitative Rückschlüsse auf Baumaterialien und Bautechniken, sowie räumliche und funktionelle Eigenschaften ziehen zu können. Dazu werden zahlreiche Quellen (Hagen, 2015; Krause, 2009); (Stadt Wien | Das Wiener Stadt- und Landesarchiv & die Wienbibliothek im Rathaus, 2022); Jansen, 2014; Pohl, 2019) herangezogen.

Dichte (Bauliche Dichte und Einwohnerdichte)

Analysiert werden die bauliche Dichte, etwa anhand der Nettogeschoßflächenzahl, die in der Literaturrecherche für „typische“ Wohngebietstypen in Wien gelten (vgl. Nitsch, 2016, S. 2) und aus Analysen der MA18 (vgl. (Stadt Wien MA18, o. J.)) stammen. Zudem wird auf Basis der Analysen der MA 18 (vgl. (Stadt Wien MA18, 2019) auch die Einwohnerdichte für die unterschiedlichen Profile eruiert.

Entwurf und Planung (Grundriss, Erschließung, Gebäudetiefen)

Im Zuge der Analyse von Beispielgebäuden werden für die weitere Projektbearbeitung abstrahierte Pläne erstellt. Sie zeigen typische Grundrisse (z.B. Abbildung 2) für die jeweiligen Potentialprofile, um daraus die innere Erschließung im Gebäude sowie Abmessungen, Trakt- und Gebäudetiefen quantifizieren und ableiten zu können, oder auch die Anordnung der Gebäude auf den Baublöcken (z.B. Abbildung 3), um die Erschließung am Grundstück, Flächenanteile von Gebäude-, Frei- und Straßenflächen abschätzen zu können. Darüber hinaus werden Raumhöhen, die Geschoßigkeit, uvm. erhoben.

Konstruktion (Materialität, Mauerwerke & Wandstärken, Geschoßdecken, Dachstuhl und Dachkonstruktionen, Fenster und Türen)

In diesem Abschnitt werden aus den historischen Dokumenten und Plänen die Konstruktion der Gebäude, bzw. die typischen Handwerkstechniken beschrieben, die bei der Errichtung in den unterschiedlichen Bauperioden zum Einsatz kamen. Diese qualitativen Beschreibungen geben neben den Grundlagen aus dem Vorgängerprojekt M-DAB und den folgenden Untersuchungen in AP3 und AP4 Aufschlüsse über die materielle Beschaffenheit von Mauern, Geschoßdecken, Dachstuhl- und Dachkonstruktionen, sowie der verbauten Fenster und Türen.

Nutzungsdauer, Anpassbarkeit und Umnutzbarkeit

In Abstimmung mit den Testentwürfen aus dem AP3 werden die Nutzungsdauer, die Eignung der Gebäude für Adaptionen und ev. andere Nutzungen beschrieben.

Abbildung 2: Potentialprofil 1 – Gründerzeithaus, Grundriss 1. OG (eigene Darstellung).

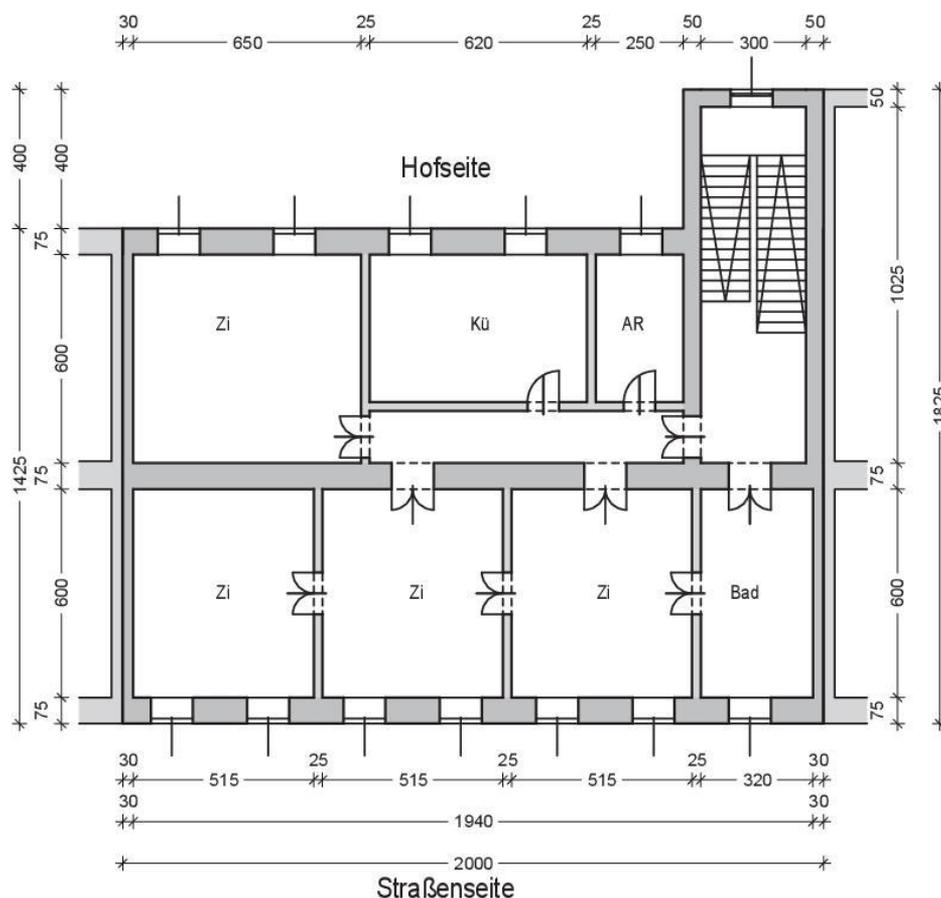
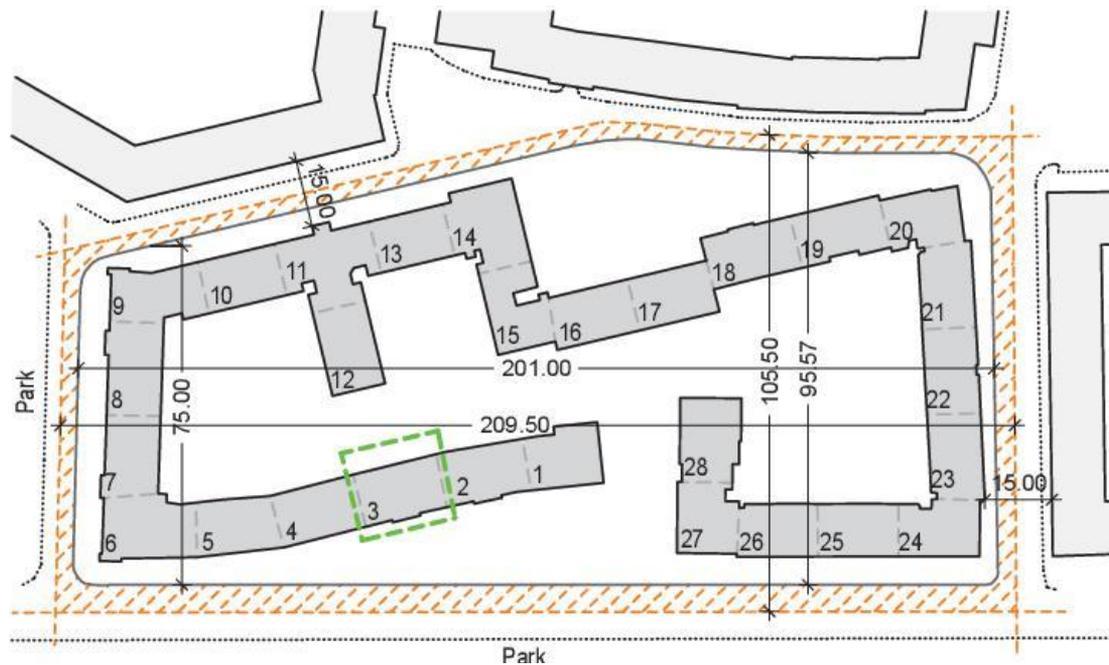


Abbildung 3: Potentialprofil 2 – Baublock, Erschließung und unmittelbare Umgebung (eigene Darstellung).



Abgrenzung zu anderen Potentialprofilen (Zeitlich, Bauweise und Material, Lage)

In diesem Abschnitt werden die Unterschiede zu ähnlichen Potentialen herausgearbeitet, um bei der Quantifizierung der Attribute Überschneidungen zu vermeiden.

Alle Beschreibungen, Skizzen, Pläne und Abbildungen werden in einem internen Bericht für die weitere Projektbearbeitung zusammengeführt.

4.2.3. Prototypische Gebäude

Für das Erstellen von Regelgrundrissen und schematischer Lagepläne typischer Gebäude der Potentialprofile wurde eine Reihe konkreter Gebäude untersucht:

PP1

Die in vielen Teilen Wiens anzutreffende Blockrandbebauung hat ihre typischen Dimensionen den Stadterweiterungsprozessen im 19. Jhdt. – der Gründerzeit – zu verdanken. Die Anzahl der typischen Gebäude dieses Profil ist aufgrund der einerseits geringen Grund- bzw. Parzellengröße und andererseits des Baubooms in dieser Bauperiode am größten. Laut Statistik Austria 2011 stehen nach wie vor 32.400 Gebäude aus der Zeit vor 1919, wobei ein Großteil auf die Gründerzeit entfällt (Die Presse, 2022).

Da es sich in der Regel um Einzelprojekte von Privatpersonen handelt – sie werden auch „Zinshäuser“ genannt –, die in einer geschlossenen Bauweise in Form eines Blockes oder einer Blockrandbebauung errichtet wurden, ist hier nicht nur das einzelne Gebäude, sondern auch der Block selbst von Bedeutung. Streng genommen ist der Gründerzeitblock die Großform, welche in eine gewisse Anzahl von Grundstücken unterteilt wurde. Im „Masterplan Gründerzeit“ (Puscher, Demcisin, Titz, u. a., 2018a) werden die häufig vorkommenden „rechteckigen Kleinblöcke“ mit 60x120 m Größe und die üblichen Zellenbreiten mit 15-20 m angegeben.

Hinsichtlich der Bauweisen, Materialien und Dimensionen (Spannweiten, Wandstärken, Geschoßhöhen etc.) gibt es eine sehr gute Datenlage, wobei es bei genauerer Betrachtung der umgesetzten Projekte sehr viele Ausnahmen gibt. Es wurden während der Projektdurchführung einige Grundrisse von Gründerzeithäusern ausgehoben, welche aber aus diversen Gründen (Erschließung, Grundstücksbreite, Anzahl der Fensterachsen, Wandstärken, Geschoßhöhen, etc.) das eine „typische Gründerzeithaus in Wien“ quantitativ nicht repräsentieren konnten. Daher wird beim PP1 als Methode auf einen rekonstruierenden, tentativen Entwurf auf Basis eines Gründerzeithauses des Architekten Prof. Theyer gesetzt, welches – obwohl in Graz errichtet – in weiten Teilen gut geeignet ist. Sowohl Erschließung als auch Gebäudetiefen, Wandstärken, Anzahl der Achsen und Geschoßigkeit beschreiben die typischen Gebäudestrukturen dieser Zeit.

Für die Potentialprofile 2 bis 5 werden ebenfalls konkrete prototypische Gebäude analysiert, die in ihrem Urzustand untersucht und dargestellt werden. Zu- und Umbauten der Grundrisse bzw. An- und Einbauten werden nicht dargestellt, da diese den Materialmix verändern und die Bauphasen vermischen. Außerdem sind kleinere Umbauten häufig nicht dokumentiert.

„Sandleitenhof“ – PP2

Die Stadt Wien bzw. das Rote Wien setzte in der Zwischenzeit auf Wohnhöfe (Stadt Wien, 2022). Für diese Strukturen gibt es aufgrund der Größe der Höfe eine deutlich kleinere Auswahl an Projekten (Wiener Wohnen, 2022a).

In der quantitativen Beschreibung wird eine Tabelle von sämtlichen Wohnbauten aus der Zwischenkriegszeit aus den Daten (Teillisten) der Stadt Wien (Gemeindebaubeschreibungen) erstellt und nach richtigen Baujahrszahlen selektiert. Nach diesen Daten wurden 411 Gemeindebauten in dieser Bauperiode errichtet. Ein interessanter Aspekt ist dabei, dass laut der erstellten Liste 88,1% der Wohnbauten aus dieser Epoche Geschäftslokale aufweisen und somit Mischbauten sind.

Sandleiten ist mit den 1.587 Wohneinheiten die größte Wohnanlage des kommunalen Wohnbaues in Wien. Besonders der südwestliche solitäre Block, begrenzt durch die Sandleitengasse und die Luxemburg-Gasse bzw. durch die Liebknechtgasse und den Nietzscheplatz – das in etwa einem Viertel der Baumasse entspricht – ist als Potentialprofil gut geeignet. Er entspricht der typischen Bauweise der Wohnhöfe, ist – im Gegensatz zur Gründerzeit – an mehreren Stellen vom öffentlichen Raum abgerückt, setzt auf Binnenhöfe und die Erschließung erfolgt hofseitig. Einzig das siebengeschoßige Hochhaus – welches absolut unüblich für Wien war – liegt außerhalb der Norm. Daher wird dieser kleine Bauteil (es handelt sich um nur eine von insgesamt 28 Stiegen), hinsichtlich der Geschoßigkeit wie die anderen, niedrigeren Baukörper – mit vier Vollgeschoße und einem ausgebauten Dachgeschoß – gewertet.

„Hubert-Hladej-Hof“ – PP3

Der Hubert-Hladej-Hof ist ein typischer Nachkriegsbau, wurde zwischen 1948 und 1950 errichtet und war somit eine der früheren Gemeindebauten nach dem Zweiten Weltkrieg. Er wurde auf einem, zu Beginn des 20. Jahrhunderts neu gewonnenen Bauland errichtet, das zuvor nicht aufgeschlossenes Augebiet war. Die von den Architekten Karl Hartl, Kurt Schlauß, Ladislaus Hruska und Erich Boltenstern geplante, sechsgeschoßige Anlage – ursprünglich ohne Lift errichtet – weist ebenfalls eine Nutzungsmischung auf, da die drei kleineren Baukörper in der Wehlstraße an der straßenseitigen Stirnfront jeweils ein Geschäftslokal beinhalten (vgl. Stadtbauamt Wien, 1950).

Die Verwendung von Bauschuttziegeln (Wiener Wohnen, 2022c) – Vibrosteine oder Vibroblocksteine genannt –, die noch eher kleinen Wohneinheiten und die geringe Geschoßigkeit – zwar relativ hoch aber noch ohne Lift, da Baustoffe und Geld knapp waren – machen diesen Gemeindebau zu einem guten Potentialprofil aus dieser Zeit.

„Heinz-Nittel-Hof“ – PP4

Ab den 1960ern setzen sich langsam neue Technologien durch, unter anderem auch die Fertigteilbauweise mit vorgefertigten Betonelementen und Fassadendämmungen.

Neben den gewöhnlichen Riegeln wie beispielsweise in der Arndtstraße 30-34 wurden auch modernere Wohnhäuser wie der Heinz-Nittel-Hof errichtet, die sich weg vom Zeilenbau und hin zu flexibel gestalteten Anlagen mit individuellem Charakter und mieterfreundlichen Grundrissen entwickelten (Wiener Wohnen, 2022b).

Aufgrund der zeitgemäßen und zukunftsweisenden Architektur des Architekten Harry Glück ist dieses Gebäude repräsentativ für diese Bauperiode. Die Pluralität von unterschiedlichen Stilen, Gebäudetypologien und Bauweisen, machen eine quantitative Auswahl für das PP4 nur schwer möglich. Daher wird der Heinz-Nittel-Hof infolge seiner modernen Bauweise, der Relevanz und der materiellen und typologischen Verwandtschaft mit den jüngeren Bauperioden – wie die Materialwahl, die großen Glasflächen, die großen Terrassen, oder der Einsatz von Dämmebenen – als Beispiel für das PP4 gewählt. Auch dieses Profil ist de facto ein Mischbau; neben den Gemeinschaftseinrichtungen befinden sich ein Kindergarten, eine Pfarre und zwei Geschäftszeilen auf dem Areal des Gemeindebaus.

„Erzherzog Karl Straße 57“ – PP5

Flächenmäßig weisen die niedrigen Geschäftszeilen, die solitär stehenden, und die meist eingeschößigen Geschäftslokale ein erhebliches und quantitativ repräsentatives Potential auf. Die Wahl für das PP5 ist nicht ganz arbiträr: Es wird ein typisches freistehendes Geschäftslokal mit großzügigen Parkplatzanlagen gewählt, welches den Wunschvorstellungen der großen Supermarktketten entspricht und durch die Ähnlichkeit zu anderen Supermärkten austauschbar ist. Dies kann positiv gewertet werden, da beispielsweise ein Billa+ oder ein Euro-/Interspar ähnliche quantitative Daten liefern würde. Als Beispiel für das Profil 5 wird der „Hofer Supermarkt“ in der Erzherzog Karl Straße 57 gewählt.

4.3. Entwicklungsvarianten

Für die fünf Potentialprofile werden verschiedene (bauliche) Entwicklungsmöglichkeiten untersucht. Dies geschieht in Form konkreter Testentwürfe auf den abstrahierten archetypischen Potentialgebäuden aus AP2. Auf Grundlage der erstellten BIM-Modelle, können Bauteile und Materialien ausgewertet werden. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, werden in Anlehnung an §60 (1a) der Wiener Bauordnung je Potentialprofile drei Entwicklungsvarianten näher definiert und getestet. Diese sind in Abbildung 4 schematisch dargestellt sind.

*„Neu-, Zu- und Umbauten. Unter **Neubau ist die Errichtung neuer Gebäude** zu verstehen; ein solcher liegt auch vor, wenn nach Abtragung bestehender Bauwerke die Fundamente oder Kellermauern ganz oder teilweise wieder benützt werden. (...) **Zubauten sind alle Vergrößerungen eines Gebäudes in waagrechter oder lotrechter Richtung, ausgenommen***

*die Errichtung von zulässigen Aufbauten (§ 81 Abs. 6). Unter Umbau sind jene Änderungen des Gebäudes zu verstehen, durch welche die **Raumeinteilung oder die Raumwidmungen so geändert werden, dass nach Durchführung der Änderungen das Gebäude als ein anderes anzusehen ist.** Ein Umbau liegt auch dann vor, wenn solche Änderungen selbst nur ein einzelnes Geschoß betreffen. Der Einbau von Wohnungen oder Teilen davon in das Dachgeschoß gilt nicht als Umbau.“ (§ 60 (1a), BO Für Wien)*

V1 Dachgeschoßausbau & Sanierung: Abweichend von der Wiener Bauordnung sind hier ganzheitliche Sanierungen sowie Dachausbauten (nicht Dachaufbauten!) gemeint. Diese bewegen sich im Rahmen der bestehenden Kubatur. Es werden derzeit übliche Ausbaumöglichkeiten im Dach berücksichtigt. Aufstockungen bzw. Dachgeschoßausbauten werden im Ausmaß der Flächenwidmung unter Berücksichtigung der baulichen Substanz ausgeschöpft. Die Erschließung wird ausschließlich durch einen Lifteinbau (wo nötig) ergänzt bzw. erweitert. Weiters werden mit Balkonen und Terrassen zusätzliche Freiflächen für eine zeitgemäße Nutzung geschaffen. Je nach Potentialprofil und Bausubstanz ergibt sich hier eine Bandbreite der Entwicklungen, die von minimalen Eingriffen bis zu deutlichen Aufstockungen reichen.

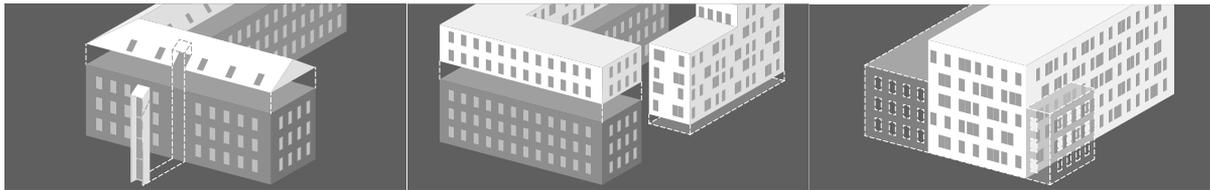
V2 Zubau (inkl. Dachgeschoßausbau): Analog der Wiener Bauordnung §60(1a) gilt: *„Zubauten sind alle Vergrößerungen eines Gebäudes in waagrecht oder lotrecht Richtung“* (ibid.). Alle Kubaturerweiterungen, auch Dachaufbauten, sind laut Wiener Bauordnung Zubauten. Hier werden die Gestaltungsmöglichkeiten etwas freier interpretiert. So werden die Einschränkungen des Flächenwidmungsplans bzw. der Bebauungsbestimmungen zum Teil nicht berücksichtigt. Im Potentialprofil 5 „Gewerbe“ wird eine vollkommene Überbauung der darunterliegenden Struktur vorgeschlagen. Ziel ist es, ein urbanes Gefüge herzustellen und die monofunktionale Parkplatzfläche zu einer modernen dichten Bebauung umzuwandeln. Dieser deutliche Eingriff ist den Möglichkeiten der freien Fläche geschuldet. Bei anderen Potentialprofilen sind die Eingriffe deutlich geringer, da die Gebäudestrukturen dort solche Baumaßnahmen nicht zulassen. Infolgedessen erfordert diese Kombination (Profil und Entwicklungsvariante) eine gesonderte Diskussion der rechtlichen Rahmenbedingungen.

V3 Rückbau & Neubau: Als Entwicklungsvariante kann es im Sinne der Materialwiederverwertung keinen konventionellen Abbruch geben, bei dem die abgebrochenen Materialien zerstört und damit nicht weiterverwendet werden können. Statt dem Abbruch wird der Begriff „Rückbau“ verwendet. Dieser beschreibt die Demontage oder „Zerlegung“ eines Gebäudes in seine Einzelteile mit dem Ziel, diese in weiterer Folge bei anderen Bauvorhaben wieder einzusetzen. Das Ziel dieser Vorgehensweise ist die Ressourcenschonung. Analog der Wiener Bauordnung §60(1a) ist unter dem Neubau die Errichtung neuer Gebäude zu verstehen. Diese Variante stellt eine urbane, nutzungsoffene Bauweise in Holzmassiv- bzw. Holz-Hybridbauweise dar.

Es werden Erschließungen für eine optimale nutzungs offene Raumwidmung gewählt und die Baukörper im Rahmen der Flächenwidmung ideal für einen systematisierten und industriell vorgefertigten Bauablauf ausgerichtet. Geschosshöhen sind so gestaltet, dass in einem Gebäude gewohnt, gearbeitet oder im geringen Ausmaß auch produziert werden kann. Erdgeschoßzonen sind offen gestaltet, um eine Urbanität zuzulassen.

Die qualitativen Überlegungen und Zielsetzungen für die Entwürfe werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Abbildung 4: Entwicklungsvarianten (schematisch, vlnr) V1 Dachgeschoßausbau & Sanierung, V2 Zubau, V3 Rückbau & Neubau (eigene Darstellung).



4.3.1. Prämissen

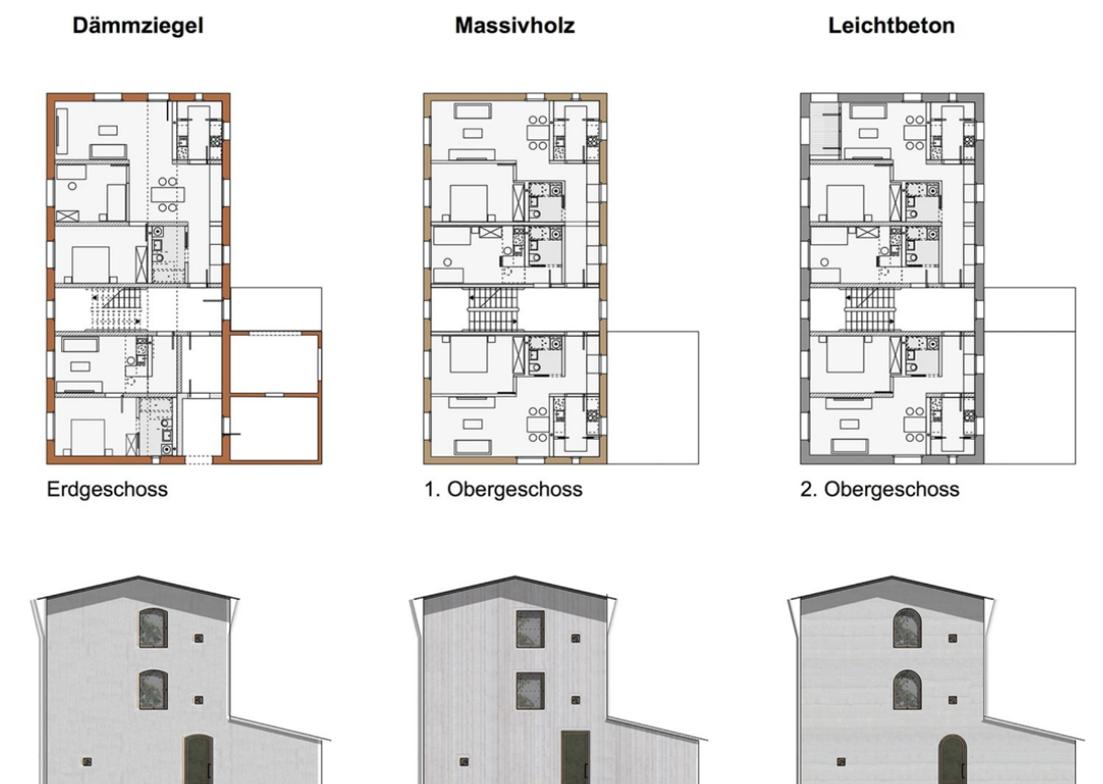
Einfaches Bauen

Das Projekt „Forschungshäuser in Bad Aibling“ (siehe Abbildung 5) der TU München hat zum Ziel, die Vor- und Nachteile verschiedener Bauweisen – konkret Dämmziegel, Massivholz und Leichtbeton – gegenüberzustellen, um so Erkenntnisse für zukunftsfähige Bauweisen zu erlangen. Oberste Prämisse des Projekts war das einfache Bauen. Im Rahmen des Projekts wurde der Leitfaden „Einfach Bauen“ entwickelt, dessen Parameter für die Entwicklungsvarianten „Rückbau / Neubau“ und „Zubau“ im Projekt M-DAB2 adaptiert werden:

- **Kompaktheit:** Dazu gehört einerseits eine Reduktion der Wohnfläche, also des Wohnbedarfs; darüber hinaus sollte auch die Hüllfläche möglichst geringgehalten werden, um Kosten für teure Außenwände und Dächer zu reduzieren und ein energieeffizientes Gebäude betreiben zu können.
- **Fenster:** Die Fenstergrößen sollten ca. 10-15% der Raumfläche betragen. Sonnenschutzglas erhöht die für die Belichtung benötigte Glasfläche und sollte daher vermieden werden. Um den solaren Wärmeeintrag zu reduzieren, werden die Fenster raumseitig gesetzt und so durch die Laibung verschattet.
- **Thermische Trägheit:** Gebäude mit einer hohen Masse können Wärme gut speichern. Mittels Nachtlüftung können so Temperaturspitzen im Sommer gut ausgeglichen werden. Darüber hinaus ist durch die Strahlungswärme der Bauteile auch bei winterlichem Stoßlüften eine hohe Behaglichkeit gegeben.

- **Robuste Technik:** Da nur 20% der Kosten eines Gebäudes während der Errichtungsphase anfallen und 80% während des Gebäudebetriebs - und damit als Energieverbrauch - ist eine effiziente Haustechnik ein wichtiger Faktor hinsichtlich des nachhaltigen Bauens. Insbesondere im Bereich der Lüftung sind einfache Haustechniksysteme wie beispielsweise die Fensterlüftung in der nachträglichen Bewertung über den Lebenszyklus länger haltbar und günstiger als zentrale Lüftungssysteme. Darüber hinaus werden sie von Nutzerinnen und Nutzern besser angenommen.
- **Systemtrennung:** Aufgrund der unterschiedlichen Lebensdauer von Bauteilen ist es wichtig, schon in der Gebäudekonzeption in getrennten Systemen von Lebenszyklen zu denken. Bauteilschichten sollten gut voneinander ablösbar sein. So bleiben Bauteile austausch- und reparaturfähig.
- **Materialgerechte Konstruktion:** Die Konstruktion sollte aus möglichst wenigen Bauteilschichten bestehen. So kann der Instandhaltungsaufwand für unterschiedliche Lebenszyklen von verbauten Bauteilen minimiert werden.

Abbildung 5: Florian Nagler, Forschungshäuser in Bad Aibling (<https://www.einfach-bauen.net/forschungshaeuser-bad-aibling/>).



Aufbauten

In Anlehnung an die Forschungshäuser in Bad Aibling werden Aufbauten definiert, die in allen Entwicklungsvarianten des Projekts M-DAB2 angewendet werden. Bis auf Aufzugschachtwände werden alle Aufbauten aus Holz gewählt. Im Gegensatz zu den Forschungshäusern werden auch tragende Elemente und Decken aus Holz berechnet.

Kreislauffähiges Bauen

Der Materialaufwand, der heute pro Person in Gebäuden steckt, ist sehr hoch. In Deutschland liegt er bei 361 t (vgl. Glander et al., 2022) – wir gehen davon aus, dass man in Österreich von einem ähnlichen Wert ausgehen kann. An dieser Stelle wird festgehalten, dass im Sinne der Materialintensität die Bestandserhaltung und Adaptierung die nachhaltigste Lösung ist. Der Rückbau und daraus resultierende Neubau werden nur aufgrund des wissenschaftlichen Vergleichs überprüft und gegenübergestellt. Wenn ein Neubau unumgänglich ist, so sollte das Gebäude künftig – neben einer im besten Falle klimaneutralen Bauweise – so konstruiert werden, dass die Materialien später einfach getrennt und wiederverwendet oder der stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Für die Entwicklungsvariante Neubau wird daher festgelegt, dass das bestehende Gebäude rückgebaut und die rückgebauten Materialien so weit wie möglich wiederverwendet werden sollen. Sollte eine Wiederverwendung von Bauteilen nicht möglich sein, so wird das Material wiederverwertet.

Nutzungsmischung

Die Auslastung von Gebäuden und damit ihre Wirtschaftlichkeit ist sehr gering: Bürogebäude sind durchschnittlich nur zu 5% ausgelastet, bei Wohngebäuden gibt es keine belastbare Forschung. Man kann aber von circa 20% ausgehen (vgl. Rumpfhuber, 2016: S.162ff). Demgegenüber steht in Wien ein konstant steigender Wohnraumbedarf von 22 m² im Jahr 1961 auf circa 38 m² heute.

Nutzungsmischungen – also die programmatische Einheit von Wohnen, Arbeiten, Produzieren und Konsumieren – haben also sowohl auf ökonomischer, wenn man die Flächenversiegelung betrachtet, als auch auf ökologischer Ebene massive Vorteile – sofern man den Wohnraumbedarf der Einzelpersonen durch entsprechende Nutzungsprogramme nicht weiter ausreizt (vgl. *ibid.*).

4.3.2. Zielsetzungen

V1 Umbau / Dachgeschoßausbau & Sanierung

Die Sanierungsstrategie muss abhängig vom konkreten Gebäude gewählt werden. Weder stark gegliederte Gründerzeitfassaden, noch denkmalgeschützte Betonfertigteile von Harry Glück können einfach in Wärmedämmung „eingepackt“ werden. Es gibt also keine allgemeingültige Sanierungsstrategie.

- **Barrierefreiheit:** Besonders bei Gebäuden mit Hochparterre ist die Barrierefreiheit oft nicht leicht zu erreichen. Gerade in einer überalternden Gesellschaft ist es nicht nur die baurechtliche Pflicht, diese zu erfüllen und alle Geschoße über einen Aufzug zu erschließen.
- **Reduktion der Wärmeverluste:** Insbesondere die Gebäude der 1940er bis 1970er Jahre sind energetisch deutlich schlechter als aktuelle Gebäude. Als Richtwert sollte bei einer energetischen Sanierung der Heizwärmebedarf um mindestens die Hälfte reduziert werden (vgl. Ehrbar, 2013: S.45).
- **Fenstertausch vs. Glasersatz**
- **Lebenszyklusbetrachtung:** Auch bei der Sanierung gilt, dass die graue Energie von Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt und der gesamte Gebäudelebenszyklus betrachtet werden muss: Oft ist das Weiternutzen eines bestehenden Gebäudes auch ohne Sanierung nachhaltiger als der Neubau eines Niedrigenergie- oder Plusenergiegebäudes, bei dem keine Gebäudebilanz erstellt wurde. Das Belassen des Bestands und die resultierende Material- bzw. CO₂-Ersparnis kann also durchaus eine Lösung sein. Jedoch sollte in diesem Fall die notwendige Energie aus erneuerbaren Energiequellen generiert werden. Nebeneffekte eines solchen Vorgehens sind der Erhalt der Baukultur und die Vermeidung des Rebound-Effekts (Rosen, 2021), der besagt, dass Menschen in gut gedämmten Gebäuden stärker heizen und so die Einspareffekte durch Sanierungen gering sind. Zu einer energetischen Bewertung gehört immer häufiger auch die durch das Gebäude induzierte Mobilität (Ehrbar, 2013: S.45), die standortabhängig ist (etwa durch die Anbindung an den öffentlichen Verkehr oder die Qualität der Infrastruktur zum Zufußgehen und Radfahren).
- **NaWaRo Baustoffe:** Die Verwendung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen trägt wesentlich zu einer Reduktion des CO₂-Bedarfs von Gebäudesanierungen bei. Neben guten Wärmedämmeigenschaften bieten sie Vorteile beim Feuchte-, Wärme- und Schallschutz. Außerdem ergeben sich bei der Herstellung große ökologische Vorteile, da sich nachwachsende Rohstoffe aus nachhaltiger Bewirtschaftung durch einen geringen Einsatz nicht erneuerbarer Energieträger bei der Herstellung, Kohlenstoffspeicherung während der Nutzung und vielfältige Wiederverwertungsmöglichkeiten auszeichnen (vgl. Kampmeier & Zehfuß, 2021).
- **Nachträglicher Balkonanbau und Freiflächen:** Der Anbau von Balkonen bzw. die Vergrößerung von bestehenden Balkonen trägt wesentlich zur Wohnqualität bei.
- **Dachausbauten:** Als Mittel zur Nachverdichtung sind Dachausbauten in Wien seit den 1990er Jahren aufgrund feuerpolizeilicher Erleichterungen beliebt. Heute wird das Aufstocken weniger durch den Brandschutz als durch die Einstufung der Erdbebensicherheit im EUROCODE 8 erschwert. Dadurch müssen insbesondere in Gründerzeithäusern Dachausbauten als (Holz-Stahl-)Leichtbaukonstruktion ausgeführt werden (vgl. Treberspurg, 2017). Dabei ist festzuhalten, dass es sich um eine rein bauliche Nachverdichtung handelt: Die Wohnnutzfläche bzw. der Platzbedarf pro Einwohner:in steigt nach wie vor kontinuierlich, wodurch eine einwohnerbezogene Nachverdichtung eben nicht stattfindet. Das Ziel von Dachausbauten sollte künftig nicht wie heute üblich das Luxussegment sein, sondern ein für die Masse geeigneter Wohnbau (ibid.).

- Durch die Gebäudehöhe sowie dem Ziel der Erhaltung der großzügigen Freiräume eignen sich insbesondere die Gebäude der Nachkriegsmoderne für eine Nachverdichtung in Form von Dachausbauten. Zu beachten sind dabei:
 - Möglichkeit zur Querlüftung
 - Möglichkeit zur Nachtlüftung
 - Vermeidung von großen Dachfensterflächen mit Südausrichtung
 - Einplanung von außenliegendem Sonnenschutz
 - Minimierung der solaren Energieeinträge durch einen geeigneten Architektorentwurf
 - Planung von Beschattungsmaßnahmen

Die Dachaufbauten erfolgen optimalerweise im Holzbausystem in Vorfertigung. Dadurch entstehen Vorteile hinsichtlich der Kosten, der Bauzeiten und der statischen Belastung (vgl. Treberspurg, 2017).

- **Serielle Sanierung:** Die Europäische Union hat das Ziel, die Rate der umfassenden Sanierungen – also Sanierungen, die eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienz und Energieversorgung verursachen – in Europa von 1% pro Jahr auf 3% anzuheben. Eine große Hoffnung, diese Arbeit zu schaffen, liegt in der seriellen Sanierung, also in der Sanierung durch vorgefertigte Fassadenmodule. Dabei werden Dämmungen, Solaranlagen, Fassadenbegrünungen und auch haustechnische Installationen im Werk vorgefertigt. Im Anschluss werden die Module – zumeist im bewohnten Zustand – vor die Fassade gehängt. Optional wird auch das Dach ausgebaut.

V2 Zubau

Nachverdichtung

Nachverdichtung = „Entdichtung“: Nachverdichtung darf nicht rein auf Wachstum fokussiert sein. Dichte kann als Chance dienen, die Nutzbarkeit von städtischen Siedlungen zu verbessern, etwa indem sie eine hohe Qualität von Freiräumen und Gemeinschaftsräumen erwirkt. Sie soll kein Gefühl von Enge implizieren (vgl. Schwehr & Zemp, 2021). Dabei sollen folgende Aspekte der Nachverdichtung (siehe auch Abbildung 6) berücksichtigt werden:

- **Räumlicher Mehrwert:** In den ehemaligen Familienwohnungen der 1940er bis 1970er Jahre wohnen heute häufig nur noch Einzelpersonen oder Paare. Diese wünschen sich offenere Grundrisse, größere Zimmer und größere Balkone. Die Komfortansprüche hinsichtlich des Schallschutzes und der Raumtemperatur sind gestiegen. Diese Wünsche sollten für alle Wohngebäude vor Sanierungen individuell erhoben werden (vgl. Ehrbar, 2013: S.45).
- **Reduktion der Flächenversiegelung:** Die Versiegelung von Flächen und Grünräumen sollte zum Schutz der Natur so gering wie möglich gehalten werden.
- **Gemeinschaftsflächen:** Weil Wohnen nicht nur in den eigenen vier Wänden stattfindet, müssen attraktive Gemeinschaftsflächen geschaffen werden. Zubauten können entweder Raum für diese geben oder anderen Raum – wie etwa Erdgeschoßzonen – freimachen.
- **Funktionierende Nachbarschaften und soziokulturelles Engagement:** Aktiv gelebte und kooperative Nachbarschaften führen zu einer langfristig hohen Wohnqualität und Wohnzufriedenheit. Diese ist der Schlüssel zu einer nachhaltigen Wohnbauarchitektur (vgl. Schwehr & Zemp, 2021).

- Belebte Erdgeschoßzonen: Attraktive und begrünte Straßenräume führen in Kombination mit belebten Erdgeschoßzonen und wenig motorisiertem Verkehr zu einer hohen Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum.

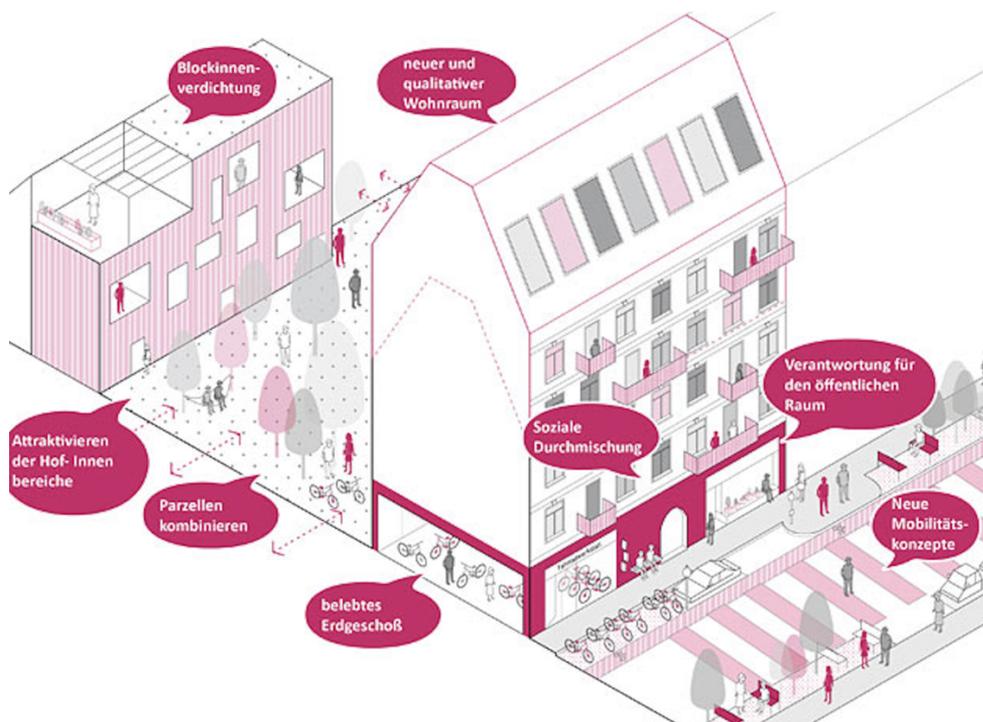
Horizontale Zubauten: Lösungsansatz „Wohnregal“

Bei der Entwicklungsvariante Zubau wird im Fall der Wohngebäude das Zubauen eines „Wohnregals“ vorgeschlagen (siehe auch Abbildung 7). Dadurch wird eine bessere Nutzbarkeit der häufig zu kleinen Wohnungen erreicht. Auch die knapp bemessenen und häufig als Wärmebrücke ausgebildeten Freiflächen werden besser nutzbar. Dadurch steigt insgesamt die Qualität der Wohnungen.

Vertikale Zubauten

Um zusätzlichen Wohnraum und/oder Gemeinschaftsflächen zu generieren, werden die Gebäude aufgestockt. Um eine zusätzliche Flächenversiegelung zu umgehen wird ein seitlicher Zubau vermieden.

Abbildung 6: Aspekte der Nachverdichtung (Grafik: Superblock Architektur; Puscher, Demcisin, Titz, Hermann, et al., 2018).



In der Studie „Attic Adapt 2050“ (Treberspurg, 2017) über Dachausbauten für die Wiener Wohnbauten der Nachkriegsmoderne werden einige Auswahlkriterien definiert, die teilweise allgemeingültig für die Eignung von Objekten für Dachausbauten sind:

- Dazu gehört die für einen wirtschaftlichen Ausbau nötige Mindestgröße der Wohnhausanlage. Die Aufstockung muss um mindestens ein Geschöß möglich sein.
- Der Großteil der Dachflächen sollte nach Süden ausgerichtet sein, um Sonnenenergie optimal zu nutzen.
- Die Befahrbarkeit durch LKW muss gegeben sein, wobei durch die Bauarbeiten kein Grünraum zerstört werden darf.
- Der Zugang muss für eine barrierefreie Umgestaltung geeignet sein.
- Die Belichtung für den Bestand muss gewährleistet sein.

V3 Rückbau & Neubau

Nicht nur die Covid-Pandemie hat uns gezeigt, dass unsere Wohnungen den geänderten Alltagsabläufen nicht mehr entsprechen. Umso wichtiger ist dabei eine hohe räumliche Flexibilität, um auf sich ändernde Anforderungen reagieren zu können. Eine nutzungsoffene Bauweise, mit der flexibel auf unterschiedliche Nutzungsanforderungen reagiert werden kann, ist daher für Neubauten und neu Gebautes unabdingbar. So kann einem schnellen Abriss vorgebeugt werden. Das Prinzip eines Skelettbau mit einer Mindestraumhöhe von drei Metern kann flexibel auf viele Nutzungen reagieren.

Abbildung 7: Transformation eines Wohnbaus aus den 1960er Jahren in Bordeaux, (Foto: DBZ, 2017).



Klimaneutrale/klimapositive Gebäude

Da der Gebäudesektor einen sehr hohen Anteil an den Treibhausgasemissionen aufweist, sei an dieser Stelle noch der hohe Stellenwert eines CO₂-neutralen Gebäudebetriebs erwähnt. Dabei geht es einerseits um effiziente Gebäudehüllen, andererseits um die Art der Energieversorgung. Bei klimaneutralen Gebäuden ist die „*Differenz der ausgestoßenen Emissionen und der Emissionen, die durch Produktion und Bereitstellung nach extern von CO₂-freier Energie eingespart werden, [...] auf ein Jahr hin betrachtet null oder kleiner als null*“ (Braune et al., 2020: S. 8).

Dabei ist die Minderung der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle nur ein Aspekt eines klimaneutralen Gebäudes. Verschiedene Dämmmaßnahmen leisten verschieden effektive Beiträge zu diesem Ziel. Jedoch darf dabei die graue Energie von Dämmstoffen nicht vernachlässigt werden. Häufig ist die Ökobilanz von Dämmstoffen schlecht, da sie nur schwer oder gar nicht recyclebar sind – insbesondere geklebte Dämmstoffe, die auch nur mit hohem Aufwand wieder auszubauen sind. Auch die gestalterischen Konsequenzen von vollflächigen Fassadenverkleidungen oder Kunststofffenstern statt Holzfenstern sind umstritten. Maßnahmen im historischen Bestand umfassen: Sich auf die Dämmung der obersten Geschoßdecke bzw. des Daches zu beschränken und auf die Modernisierung der Gebäudetechnik zu setzen; der Einsatz und die Erzeugung von erneuerbarer Energie am Standort ist der zweite große Faktor, wie ein klimaneutraler Gebäudebetrieb erreicht werden kann (vgl. Glander et al., 2022: S.66).

Die Implementierung von quartiersübergreifenden Smart Grids kann einen Beitrag zur klimaneutralen Energieversorgung ganzer Quartiere und gleichzeitig zur Netzstabilität leisten.

4.4. Material und Umweltbezogene Bewertung

4.4.1. Einbettung der Rohstoff- und umweltbezogene Bewertungsmethode für die städtebauliche Entwicklung

Die Ausarbeitung einer rohstoff- und umweltbezogenen Bewertungsmethode für die städtebauliche Entwicklung erfolgt im vorliegenden Projekt in engem Austausch mit den anderen Arbeitspaketen:

Im ersten Schritt werden basierend auf einer Literaturstudie Kennwerte erhoben, welche eine Quantifizierung der Materialzusammensetzung des Gebäudebestandes der Stadt Wien in Abhängigkeit von Bauperiode und Nutzungstyp ermöglichen. Durch die Implementierung der Kennwerte in eine GIS-gestützte, automatisierte Umfeldanalyse (AP5), kann der Materialbestand auf Zellebene in der Benutzeroberfläche (AP6) dargestellt werden. Auf diese Weise kann der von den Charakteristika des jeweiligen Potentialprofils (AP2) abhängige Materialoutput erhoben werden. Auftretende Materialinputströme werden aus der Planung der Entwicklungsszenarien in AP3 abgeleitet. Für die umweltbezogene Bewertung, der auf diese Art generierbaren Materialströme, werden Ökobilanzdaten erhoben. Durch deren Implementierung in der interaktiven Datenvisualisierung und Extrapolation auf gesamtstädtische Potentiale wird ein Vergleich dieser Entwicklungsvarianten ermöglicht.

4.4.2. Ökobilanzielle Variantenbewertung

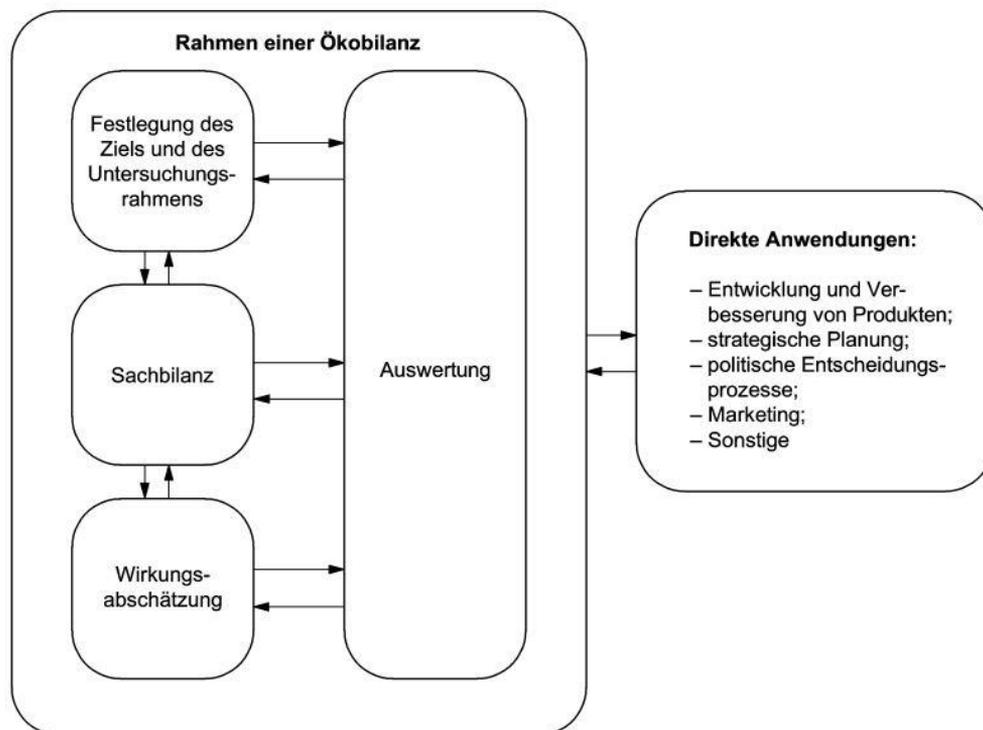
Ökobilanzierung/LCA

Bei der Ökobilanzierung/Life Cycle Assessment (LCA) handelt es sich um eine standardisierte Methode, deren Prozesse in den ISO- Normen 14040 und 14044 definiert sind. Ökobilanzen ermöglichen auf systematische Weise eine Abschätzung von Umweltauswirkungen von Produktsystemen. Hierbei wird meist der „Cradle-to-Grave“-Ansatz („von der Wiege bis zur Bahre“) verfolgt (ÖNORM EN ISO 14040, 2021). Gemäß EN ISO 14040 besteht die Ökobilanz aus vier voneinander abhängigen Phasen, siehe Abbildung 8.

In der Bauwirtschaft hat sich die Ökobilanzierung als probate Methodik zur Evaluierung der Umweltauswirkungen von Gebäuden bzw. Bauvorhaben etabliert. Hierfür dient die DIN EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken- Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden- Berechnungsmethode“ als Leitfaden.

Während der Fokus von LCAs im Gebäudesektor lange auf der Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden während ihrer Nutzungsphase lag, erweitern sich Forschungsschwerpunkte zunehmend in die Richtung einer Bewertung der „grauen Energie“² von Gebäuden (Röck et al., 2020; Anand & Amor, 2017). Dieser Ansatz wird auch in der vorliegenden Studie verfolgt.

Abbildung 8: Ökobilanzphasen (eigene Darstellung nach ÖNORM EN ISO 14040, 2021).



² Jene Energiemenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes notwendig ist (Zeumer, John & Hartwig, 2009)

Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Das Ziel der gegenständlichen Arbeit ist die Bewertung der Umweltauswirkungen von Materialflüssen unterschiedlicher Entwicklungsvarianten für definierte (Gebäude-)Potentialprofile. Die erhobenen Materialkennwerte und Ökobilanzdaten werden in den Methoden zur Visualisierung und gesamtstädtischen Bewertung implementiert. Die Quantifizierung und ökobilanzielle Bewertung der Materialströme der Entwicklungsvarianten ermöglicht den Vergleich zwischen Varianten.

Als Modellierungsansatz der Sachbilanz wird die attributive LCA gewählt, welche sich auf die Beschreibung umweltrelevanter physikalischer Ströme innerhalb eines Lebenszyklus und dessen Subsystemen fokussiert (Finnveden & Potting, 2014). Anders formuliert besteht das Hauptziel der attributiven LCA darin, die Umweltauswirkungen eines Produkts bzw. einer Dienstleistung unter der Annahme eines „Status-Quo-Szenarios“ zu bewerten (Dastjerdi, Strezov, Rajaeifar, u. a., 2022). Es wird also ein bestehendes System betrachtet, nicht aber die Auswirkungen von Änderungen innerhalb des Systems. Hierfür wird der „*consequential LCA*“-Ansatz verwendet, der hier jedoch nicht näher erläutert wird.

Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit legt den Untersuchungsgegenstand fest, auf den sich alle Inputs und Outputs der Sachbilanz beziehen. Als funktionelle Einheit wird 1 m³ Bruttorauminhalt (BRI) gewählt.

Systemgrenze

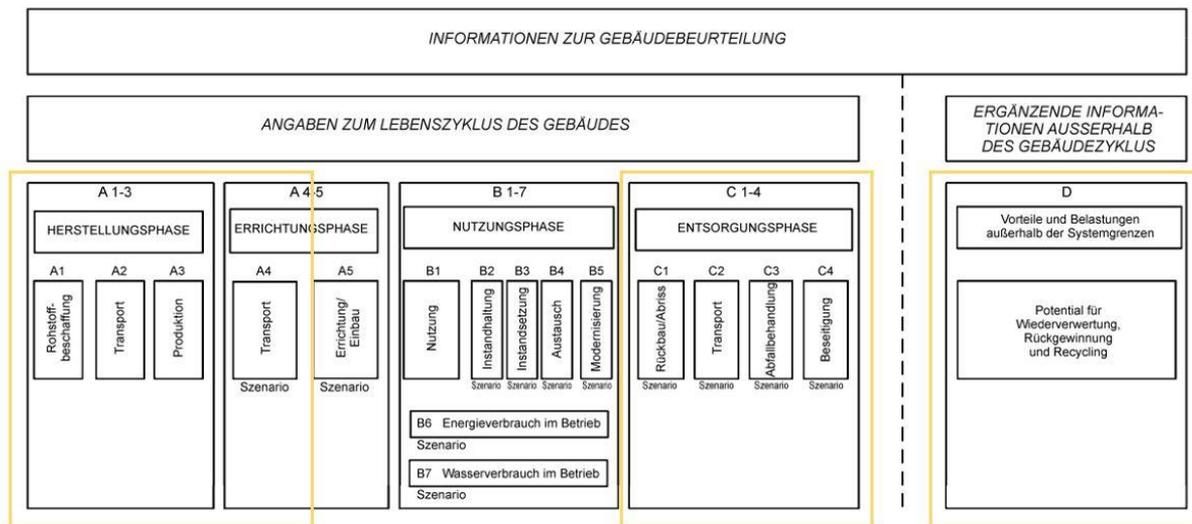
Die Systemgrenze definiert, welche Teile des Lebenszyklus und welche Prozesse im analysierten System betrachtet werden (European Commission, 2010). Für die Festlegung der Systemgrenze werden die in DIN EN 15978 (2011) beschriebenen Lebenszyklusphasen herangezogen (siehe Abbildung 9). Die Nutzungsphase (B) wird hierbei explizit nicht berücksichtigt, da der Fokus, wie bereits erwähnt, ausschließlich auf den Materialflüssen liegt. Des Weiteren wird die Errichtungsphase A5 im gegenwärtigen Kontext für vernachlässigbar erachtet.

Für die Darstellung der gesamten Umweltauswirkungen des Materialinputs werden die Umweltwirkungen der Herstellungsphase (A1-A3) und des Transports (A4) zusammengefasst. In der Entsorgungsphase (C1-C4) werden bei Abbruch und Rückbau (C1) nur konstruktionsrelevante Materialien berücksichtigt. Für den Rückbau von Holz waren keine Daten in der Literatur verfügbar. Die gesammelten Umweltwirkungen von Input- und Output-Material bilden die Grundlage für die umweltbezogenen Berechnungen innerhalb der Visualisierung.

Für die Variantenbewertung wird mit der Entsorgungsphase begonnen, da jeder Entwicklungsvariante entsprechende Entsorgungstätigkeiten vorangehen.

Die Phase D betrachtet Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze. Diese werden der jeweiligen Entwicklungsvariante daher separat zugeordnet.

Abbildung 9: Betrachtete Gebäudelebenszyklusphasen in gelb (DIN EN 15978, 2011).



Sachbilanz / Life Cycle Inventory (LCI)

Gemäß ISO 14040 umfassen Sachbilanzen die Datenerhebungen und Berechnungsverfahren zur Quantifizierung aller relevanter **Input- und Outputflüsse** eines Systems. Der Erstellungsprozess erfolgt iterativ.

Materialinput – Entwicklungsvarianten

Bei den betrachteten Materialien handelt es sich um Beton, Stahl, Ziegel, Kies/Sand, Holz, Mineralwolle, EPS, Gipskarton und Glas. Die Festlegung der betrachteten Materialgruppen erfolgt in Anlehnung an Lederer et al. (2021a), um eine konsistente Einteilung über alle Gebäudelebenszyklen hinweg zu gewährleisten.

Diese Aggregationen ziehen jedoch grobe Vereinfachungen bei der Auswahl der Ökobilanzdaten nach sich. So werden beispielsweise für Holz – basierend auf Angaben eines Berichts des Deutschen Umweltbundesamtes, wonach im Baubereich 60 % Schnittholz und 40 % Faserplatten zum Einsatz kommen würden – entsprechende Datensätze erhoben (Wolf, Untergutsch, Wensing, u. a., 2020). Die Umweltauswirkungen werden anteilmäßig berechnet und anschließend summiert.

Materialoutput – Bestandsanalyse

In der gegenständlichen Betrachtung gehen vollständige oder partielle Abbruchmaßnahmen den Neubau-/Umbau-/Zubau-Tätigkeiten voran. Das heißt den Gebäudelebenszyklus betrachtend, dass im ersten Schritt die Umweltauswirkungen der Entsorgungsphase ermittelt werden. Der Materialoutput der jeweiligen Entwicklungsvariante ergibt sich über die Bestandsmaterialmengen, welche für das vorliegende Potentialprofil in der betrachteten (Raster-)Zelle berechnet werden. Für das Szenario V3 Rückbau/Neubau, werden 100 % der Bestandsmasse dem Materialoutputstrom zugeordnet. Der wesentlich geringere Materialoutput, der bei V1 und V2 anfällt, wird in AP3 abgeschätzt.

Um eine Quantifizierung der Materialzusammensetzung der Bestandsgebäude innerhalb einer gesamtstädtischen Bewertungsmethodik zu ermöglichen, werden die von Lederer et al. (2021a) für die Stadt Wien erhobenen Materialintensitäten abhängig von Bauperiode, Nutzungsart und Bruttorauminhalt des jeweiligen Potentialprofils herangezogen. Die Bruttorauminhalte beziehen sich auf die Vollgeschoße, das bedeutet, dass Keller- und Dachbereiche nicht inkludiert sind.

4.4.3. Wirtschaftlichkeit

Im Zuge der Auswertungen der Potentialprofile werden Daten der Varianten erfasst und in eine wirtschaftliche Betrachtung geführt. Eine bauwirtschaftliche Betrachtung für die erstellten Varianten der Profile kann aufgrund des geringen Detaillevels keine hohe Genauigkeit anstreben. Es wird für die Bewertung der baulichen Vorgänge daher die Einwertmethode gewählt.

Für die verschiedenen Potentialprofile und deren Varianten werden die Kosten aus dem Erfahrungsschatz diverser Referenzprojekte der Unternehmensgruppe Rhombert Bau (Konsortialpartner) ermittelt. Diese werden dann anhand der Profile evaluiert und für die erstellten Varianten hochgerechnet, um ein Gesamtprojektvolumen zu erhalten.

Im Vergleich der jeweiligen Varianten und Profile sind Spezialeffekte (Einmaleffekte) teilweise eingeflossen und ausgemittelt worden. Dennoch ist zur wirtschaftlichen Betrachtung anzumerken, dass es sich um ein Grobkostenschätzungsniveau handelt.

4.5. Digitale Methoden und Visualisierung

Die digitalen Methoden im Projekt dienen der Umsetzung der qualitativen Konzepte in quantitative Bewertungen. Dies ermöglicht es, Ähnlichkeiten der in den Daten abgebildeten Stadt zu den einzelnen Profilen zu erkennen und unterschiedliche Lagequalitäten innerhalb der Stadt zu identifizieren.

Im Folgenden werden die zugrundeliegenden Daten, deren Aufbereitung und die verwendeten Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Potentialprofile bzw. der Lagefilter (Grünraum, Mobilität und Energie) beschrieben. Im vorliegenden Workflow werden die (GIS-)Daten auf die Zellen eines vordefinierten Zoom-Levels übertragen und dienen in weiterer Folge der prozentualen Profilzuweisung gemäß der infolge von Literaturrecherchen in AP2 und AP4 festgelegten Parameter. Eine profilweise Zuordnung von Zellen durch Expertinnen und Experten führt zu einer Adaptierung der Input-Parameter mittels statistischer Methoden. Diese Ergebnisse werden in weiterer Folge den ursprünglichen Ergebnissen gegenübergestellt. Über eine weitere Methode unter Verwendung von Machine Learning wird jede Zelle exakt einem Profil zugewiesen. Dieses Ergebnis dient der Kontrolle der ursprünglichen Zellenzuweisung und fließt wiederum in die Neufestlegung der Parameter zur Bestimmung der Potentialprofile ein. Zur Einschränkung von Potentialflächen für Entwicklungsvarianten dienen schließlich Lagefilter (Grünfilter, Mobilitätsfilter und Energiefilter), die sich aus (nachhaltigen) Qualitäten errechnen.

4.5.1. Aufbau Datenmodell

Daten und Tools

Aus Sicht eines Projektentwicklers bzw. einer Projektentwicklerin wird die ökonomische und ökologische Attraktivität eines bestimmten Bauplatzes im Bestand durch objektspezifische und umgebungsspezifische Faktoren bestimmt. Zu den objektspezifischen Faktoren zählen beispielsweise das Potential für eine Aufstockung bzw. einen Dachbodenausbau oder die Möglichkeiten einer Sanierung bzw. Revitalisierung. Zu den umgebungsspezifischen Faktoren gehören unter anderem die Entfernung zum öffentlichen Verkehr oder der prozentuale Anteil an Grünfläche oder Gebäudefläche eines Bauplatzes. Sind diese einem Gebäude beziehungsweise einem Grätzler innewohnenden

Qualitäten gefunden, können durch geometrische (z.B. Distanzberechnungen), topologische (z.B. Graphenanalyse) und statistische Methoden ähnliche städtische Muster gefunden werden (vgl. Bill, 2016: S.17-36, S.387ff, S.489ff).

Zur Erfassung der räumlichen Eigenschaften werden in M-DAB2 GIS-Daten der Stadt Wien herangezogen (vgl. Open Data Österreich, 2022). Die Auswahl der Daten erfolgt in Abstimmung und auf Basis der Erkenntnisse aus AP2, AP3 und AP4 anhand von vordefinierten gebäude- und lagespezifischen Charakteristika. Grundlagen für diese Suche sind quantitative und qualitative Daten. Zu den quantitativen Daten zählen etwa die Entfernung zum nächsten öffentlichen Verkehrsmittel oder die Entfernung zum nächstgelegenen Zugang einer öffentlichen Grünfläche, aber auch die Anzahl an Parzellen je Baublock. Zu den qualitativen Daten zählen wiederum Informationen aus der Flächen-Mehrzweckkarte (z.B. die Klassifikation des Ausbaustandes in Verkehrsfläche, Restfläche inklusive Grünraum oder Bauland), aber auch die Bewertung nach Solarpotential oder ÖV-Güteklasse (Einteilung der Güte des öffentlichen Verkehrs in einem Gebiet).

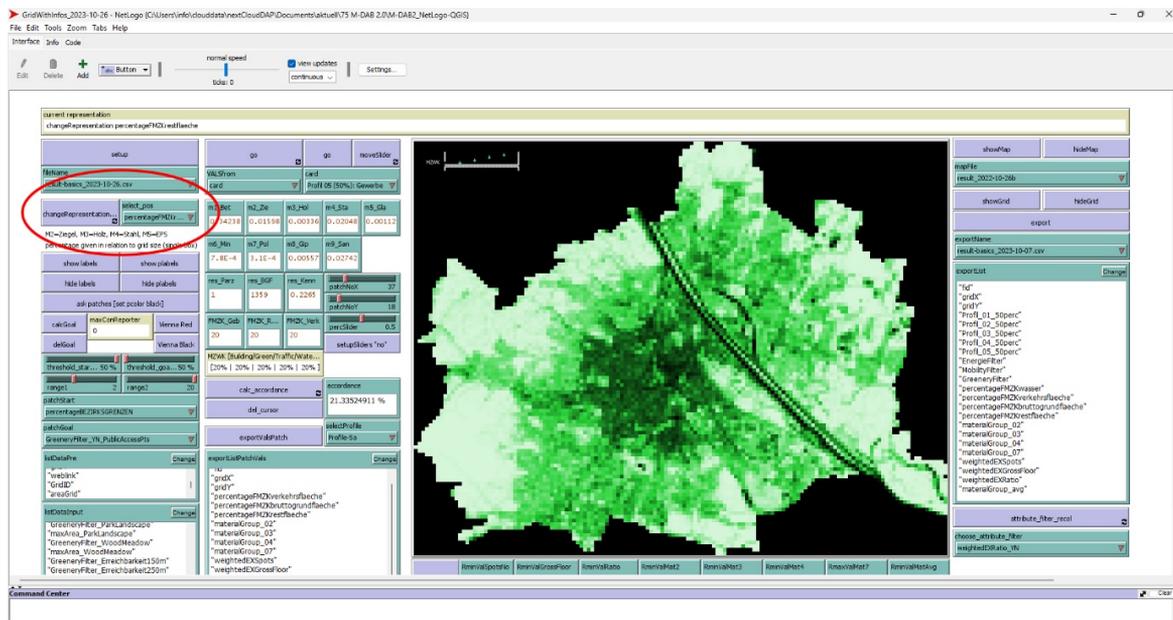
Die Überprüfung der Datenrepräsentation erfolgt zunächst über ein Modell in der Multi-Agenten-Programmiersprache NetLogo (Wilensky, 1999). Die diskrete Einteilung der Welt in Zellen (sogenannte „Patches“) in der Modellierungsumgebung NetLogo kommt dabei der Visualisierung zur Überprüfung der Korrektheit und Plausibilität der Datenzusammensetzung entgegen: Jedes Patch enthält die Informationen aus einer vorangegangenen Aggregation der GIS-Daten in Zellen (Abbildung 10). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, direkt in der Programmierungsumgebung eine dynamische Berechnung von Beziehungen zu erstellen (z.B. die Entfernung zu einer U-Bahnstation von vorselektierten Standorten aus), die zusammen mit den statischen Daten in einem Eigenschaftsvektor resultieren. Dieser Vektor dient hernach der Berechnung der Ähnlichkeiten zwischen Zellen.

Im Sinne der Ähnlichkeitsanalyse einer Lage(-Qualität) erscheinen Daten auf Gebäudeebene zu detailliert bzw. können manche Daten (wie die Materialzusammensetzung eines Gebäudes) nur überschlagsmäßig erfasst werden. Um nun nicht ein einzelnes Gebäude, sondern vielmehr ein Gebiet zu erfassen, werden die erhobenen Daten auf ca. 204×204 Meter große Zellen aggregiert (vgl. *Die richtige Rastergröße* in Abschnitt 4.5.1). Dadurch lassen sich nun Gebiete in einem größeren Maßstab miteinander vergleichen. Die statische Datenverarbeitung erfolgt auf Basis der GIS-Daten der Stadt Wien (vgl. Open Data Österreich, 2022) in der Geoinformationssystemsoftware QGIS (QGIS Development Team, 1989).

Zellenbasierte Umgebung zur Speicherung statischer und dynamischer Daten

Die Visualisierung der in QGIS aufbereiteten GIS-Daten für eine erste Gebrauchstauglichkeitsprüfung erfolgt in NetLogo (siehe Abbildung 10), wo jede Rasterzelle spezifische Informationen enthält: Eine ID (die eindeutige Identifikationsnummer), eine Nummerierung in x- und y-Richtung und lagespezifische Informationen wie beispielsweise der prozentuelle Anteil von Restfläche (inkl. Grünraum), Verkehrsfläche oder Gebäudefläche innerhalb einer Zelle, abgeleitet aus der Flächen-Mehrzweckkarte (FMZK). Die gebäudebezogenen Daten aus dem Vorgängerprojekt werden ebenso anteilig zu ihrer Fläche auf die Rasterzellen übertragen. Die verwendeten Datenquellen sind im Anhang (Kapitel 9) dokumentiert.

Abbildung 10: NetLogo als Datendrehzscheibe, Test- und Prüfungsumgebung (Screenshot).



Die richtige Rastergröße

Die aus dem GIS gewonnenen Informationen werden in ein stadtweites Raster übertragen. Zwangsläufig ist für das Ergebnis die Wahl der Zellengröße entscheidend, da diese zu einer Über- oder Unterrepräsentation führen kann (hohe Datendichte oder hoher Aggregationsgrad). Konkret würden bei der Wahl einer zu großen Zellengröße die einzelnen qualitativen und quantitativen Unterschiede zwischen den Zellen verschwinden, während eine zu kleine Zellengröße die Gefahr birgt, lediglich einzelne Gebäude abzubilden, wodurch die Umgebungsqualitäten keine Berücksichtigung mehr finden – ein ähnliches Phänomen tritt bei der Anwendung der Box-Counting-Methode in der Architektur auf (vgl. Lorenz, 2009, 2013).³

Als Ausgangspunkt für die Findung der korrekten Zellengröße dient die Analogie zu Kartierungssystemen, die auf Kacheln basieren (OpenStreetMap Wiki contributors, 'Zoom levels'). Die Logik solcher Systeme besteht darin, dass die auf eine zweidimensionale Fläche abgebildete Erdkugel in ein regelmäßiges Raster unterteilt ist, wobei eine eindeutige Übersetzung zwischen der diskreten Adressierung der Kartenkacheln und einem kontinuierlichen Geodatenkoordinatensystem besteht (Sample & loup, 2010). Dabei beruhen die Kartenansichten auf mehreren diskreten „Zoom Level“ (Detailierungsstufen).⁴ Die Adressierung erfolgt dann zusammen mit einem bestimmten Zoom Level

³ Die Box-Counting Methode dient der Abschätzung der Hausdorff Dimension eines Objekts (diese liegt für Grundrisse von Gebäude z.B. zwischen Eins und Zwei). Dabei wird über das Objekt der Betrachtung ein Gitternetz gelegt (zumeist mit einer Gittergröße von einem Viertel der größeren Seitenlänge des Objekts) und all jene Boxen gezählt, die das Objekt (die schwarzen Linien des Plans) abdecken. Danach wird der Maßstab des Gitternetzes verkleinert und die Boxen erneut gezählt. Die Steigung der Ersatzgeraden in einem doppellogarithmischen Graphen mit der Anzahl an abdeckenden Boxen versus den Maßstab des Gitternetzes ergibt den Näherungswert. Wenn nun das Objekt eine Vektorgrafik, etwa ein Gebäudeplan, ist, dann kann eine zu genaue Betrachtung – d.h. eine sehr kleine Box- oder Gittergröße – dazu führen, dass lediglich die Linien, aus denen die Zeichnung besteht, erfasst werden und nicht das Objekt als solches. Das Ergebnis ist dann eine Dimension gleich Eins und liegt nicht wie zu erwarten zwischen Eins und Zwei.

⁴ Während eine gedruckte Karte einen wohldefinierten Maßstab besitzt, hängt die angezeigte Kartengröße bei digitalen Endgeräten auch von deren Auflösung ab. Daher werden bei digitalen Karten „Zoom Level“ verwendet, die in einen Maßstab abhängig von der Auflösung und der Position (Breitengrad) umgerechnet werden können.

durch die Angabe der Reihe und Spalte anstelle der Eckpunkte des aufgespannten Rechtecks. Ein Vorteil liegt vor allem in der Darstellung und Übertragung von Internetkarten durch vorgenerierte Vektor-Kachelkarten, die zum einen mit einem Kartenstil (der z.B. die Spracheinstellung für die Beschriftung oder die Auswahl an gezeigten Elementen definiert) versehen sind und zum anderen erst auf der Nutzerseite als Rasterdaten gerendert werden.

Ausgehend von einer Kachelgröße von 256 Pixel entspricht die Seitenlänge beim Zoom Level 0 exakt der Länge des Äquators; d.h. bei diesem Detaillierungsgrad passt die ganze Erde in eine Kachel. Zwischen dem Zoom Level und der Anzahl an Kacheln, die benötigt werden, um den Äquator vollständig zu umfassen, besteht folgender Zusammenhang:

$$Anzahl_{Kacheln \text{ Äquator}} = 2^{Zoom \ Level} \quad (1)$$

Um aus dem Detaillierungsgrad die Zellengröße errechnen zu können, wird zunächst die Länge eines Pixels in Meter für den Äquator und den Zoom Level 0 ermittelt. Dieses Maß errechnet sich bei einer angenommenen Länge des Äquators von 40.075,016686 km (im World Geodetic System 1984, WGS-84, siehe Wikipedia – Die freie Enzyklopädie, 'Äquator'), gemäß OpenStreetMap Wiki contributors (2021a; 'Slippy map tilenames') wie folgt:

$$Länge/Pixel_{Zoom \ Level \ 0} = \frac{40.075.016,686m}{256Pixel \ [Zellengröße]} \sim 156.543,03m/Pixel \quad (2)$$

Mit Hilfe von Formel (3) und Formel (4) errechnet sich die Auflösung und der Maßstab für ein spezifisches Zoom-Level und einen bestimmten Breitengrad (OpenStreetMap Wiki contributors, 'slippy map tilenames') wie folgt:

$$Auflösung_{Zoom \ Level \ X} = 156.543,03 \times \frac{\cos(Breitengrad)}{2^{Zoom \ Level \ X}} m/Pixel \quad (3)$$

$$Maßstab = 1: (Bildschirmauflösung \times \frac{1}{0,0254} in/m \times Auflösung) \quad (4)$$

Aus Formel (3) ergibt sich für das Zoom-Level 17 am Äquator eine Auflösung (Zellenseitenlänge) von ca. 1,193 m/Pixel und aus Formel (4) ein Maßstab von 1:4.514 ebendort bei einer Bildschirmauflösung von 96 dpi (vgl. Microsoft Learn, 2022 und Tabelle 2). Durch die Multiplikation des Ergebnisses aus Formel (3) mit einer Kantenlänge von 256 Pixel beträgt die Zellengröße schließlich für diesen Detaillierungsgrad am Äquator 305,748 Meter. Für Wien mit einem angenommenen Breitengrad von 48°12'32" (=> 48,208889°, entsprechend der Lage des Stephansturms; vgl. Stadt Wien, 2007) beträgt die Zellengröße hingegen 203,76 Meter und erfüllt somit das im Projektantrag beschriebene Vorhaben, wonach durch Aggregation auf Zellenebene Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede von Lagequalitäten (auf Blockebene) gefunden werden sollen.

Tabelle 2: Zoom-Level Auflösung und Beispiele für darzustellende Bereiche (nach OpenStreetMap Wiki contributors, 2021b, 'Zoom Levels').

Zoom Level	Auflösung Äquator	Zellengröße bei 256 Pixel Äquator (in m)	Auflösung Wien	Zellengröße bei 256 Pixel Wien (in m)	Beispiele für darzustellende Bereiche
15	4,777	1.222,99	3,184	815,02	„kleine“ Verbindungsstraßen
16	2,389	611,50	1,592	407,51	Nebenstraße
17	1,194	305,75	0,796	203,76	Block, Park
18	0,597	152,87	0,398	101,88	einige Gebäude, Bäume

4.5.2. Charakterisierung der Potentialprofile und Profildefinition

Ausgangslage

Die Wahrscheinlichkeit, nach der eine Zelle einem bestimmten Potentialprofil zuzuordnen ist, errechnet sich infolge der von der Stadt Wien zur Verfügung gestellten statischen Daten (z.B. durch den Vergleich der prozentualen Anteile der Flächenwidmungen zwischen dem auf einer Zelle aggregierten Ist-Zustand und dem Soll-Wert des jeweiligen Profils). Die Berechnung der Zuordnung zu den Potentialprofilen beruht auf drei Daten-Gruppen:

- **Zellenbezogene Werte:** Kennzahlen aus AP2 werden mit Daten aus der Flächen-Mehrweckkarte (FMZK) verglichen.
- **Blockbezogene Werte** (Häuserblock/Grundstück): Kennzahlen aus AP2 werden mit aufbereiteten und aktualisierten Daten aus M-DAB (Vorläuferprojekt) verglichen.
- **Typischer Materialmix** [in t/m³]: Der im AP4 definierte typische Materialmix wird mit jenen auf den Zellen aggregierten und aktualisierten Daten aus M-DAB verglichen.

Aus diesen Werten errechnet sich in einem weiteren Schritt die Wahrscheinlichkeit der Zuordnung zu jedem der fünf Profile. Die archetypischen Referenzwerte für die Profile PP1 bis PP5 aus AP2 und AP4 sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Das Maß der Übereinstimmung, das eine bestimmte Zelle infolge der aggregierten Werte die Vorgaben der jeweiligen Potentialprofile erfüllt, ergibt sich schließlich aus der euklidischen Vektordistanz.

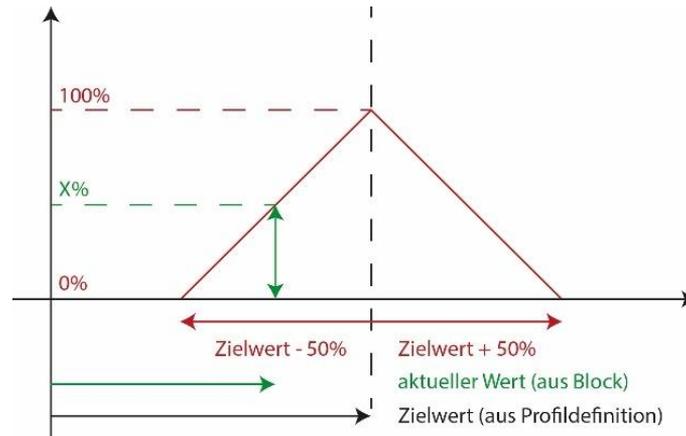
Zellenbezogene Werte

Im Fall der zellenbezogenen Werte aus der FMZK werden zunächst pro Zelle alle (an der jeweiligen Zelle beschnittenen) Polygonflächen einer Kategorie (Verkehrsfläche, Bruttogrundfläche und Restfläche) addiert. Der jeweilige *aktuelle Wert* der drei Kategorien ergibt sich aus der Summe dieser Flächen im Verhältnis zu jener zur Stadt Wien gehörenden Zellen-Fläche. Es wird aber keine strikte Übereinstimmung mit den Zielwerten aus Tabelle 6 gesucht, sondern eine prozentuale Übereinstimmung mit einem bestimmten ausgewählten Potentialprofil. Ist der *aktuelle Wert* innerhalb einer in Prozent angegebenen Abweichung vom Zielwert, errechnet sich die prozentuale

Übereinstimmung gemäß der in Abbildung 11 angegebenen Dreiecksverteilungsfunktion (mit einer Steigung bzw. einem Gefälle von $\pm 45\%$) wie folgt:

$$\text{proz. Übereinstimmung}_{FMZK} = \text{Abweichung} \left\{ \frac{\sum_{i=0}^n A_i}{A_{\text{Anteil Landesgrenze}}} \right\} \quad (5)$$

Abbildung 11: Dreiecksverteilungsfunktion zur Berechnung der Abweichung vom Zielwert (gegeben durch das ausgewählte Potentialprofil) in [%] (eigene Darstellung).



Blockbezogene Werte

Bei den blockbezogenen Werten, wie der Anzahl an Parzellen pro Baublock, erfolgt zunächst die Berechnung der Abweichung gemäß der Dreiecksverteilungsfunktion für jeden einzelnen Baublock (der entweder vollständig innerhalb der Zelle liegt oder an dieser beschnitten wird). Die Multiplikation mit dem jeweiligen Flächenanteil an der Gesamtfläche innerhalb der Zelle und die Summenbildung daraus ergibt schließlich die prozentuale Übereinstimmung:

$$\text{proz. Übereinstimmung}_{\text{Baublock}} = \sum_{i=0}^n \text{Abweichung} \left\{ \frac{A_i}{A_{\text{Anteil Landesgrenze}}} \right\} \quad (6)$$

Typischer Materialmix

Die Berechnung der Übereinstimmung hinsichtlich des Materialmixes erfolgt über die im Vorgängerprojekt M-DAB ermittelten Werte. Diese Materialmengen werden je Zelle aggregiert und stehen als Tonnen je Kubikmeter Bruttorauminhalt zur Verfügung. Analog zu den vorhergehenden prozentualen Übereinstimmungen erfolgt erneut eine Berechnung nach Abbildung 11 wie folgt:

$$\text{proz. Übereinstimmung}_{\text{pro Material}} = \text{Abweichung} \{ \text{Materialmenge} / m^3 \} \quad (7)$$

Die prozentuale Übereinstimmung des Materialmixes ergibt sich in weiterer Folge aus dem Durchschnitt der Summe aller prozentualen Übereinstimmungen der n-Materialien:

$$\text{proz. Übereinstimmung}_{\text{Materialmix}} = \frac{\sum_{i=0}^n \text{proz. Übereinst. pro Material}}{n} \quad (8)$$

Berechnung Übereinstimmung mit einem Profil

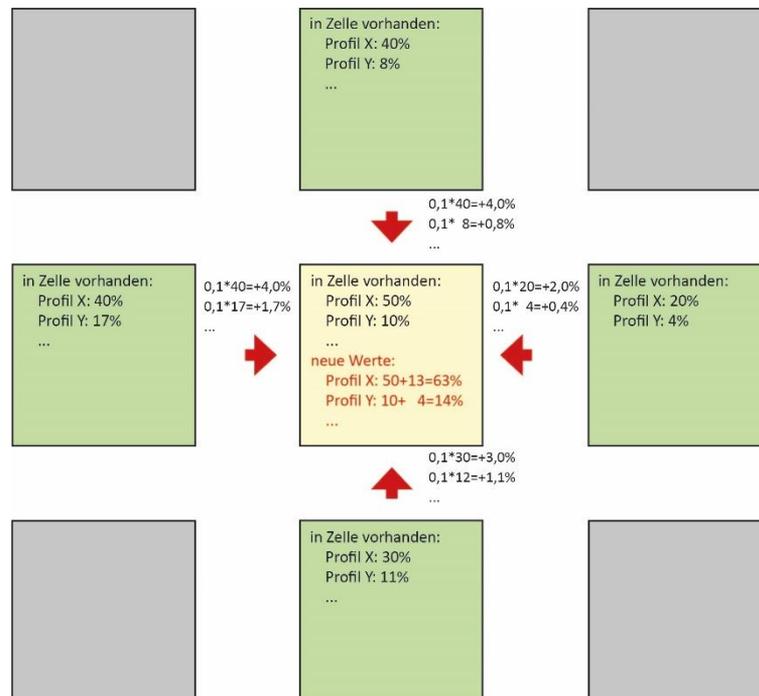
Die prozentuale Übereinstimmung einer Zelle mit einem ausgewählten Profil resultiert schließlich aus dem Durchschnitt aller sieben zuvor ermittelten Werte (drei Werte aus der FMZK, drei Werte in Bezug auf die Baublöcke und ein Wert aus dem Materialmix):

$$\text{proz. Übereinstimmung} = \sum_i^n \text{proz. Übereinstimmung}_i \quad (9)$$

Übergabe von Werten aus Nachbarzellen

Die Einteilung Wiens in ein Raster mit einzelnen Zellen bedingt, dass zusammenhängende Straßenzüge, (Block-)Bebauungen oder Zeilenbebauungen mit ähnlichen oder gleichen Charakteristika getrennt werden. Es werden also gleichartige Abschnitte, die möglicherweise eindeutig einem Potentialprofil zuordenbar sind, durchschnitten und die Einzelteile kommen in benachbarten Zellen zu liegen, wo sie von anderen Charakteristiken (Profilen) überlagert werden. Demnach kann es beispielsweise vorkommen, dass eine Nachbarschaft mit hoher Zugehörigkeit zum Profil X (z.B. zu 90%) in zwei aneinandergrenzenden Zellen aufgespalten wird, die dann infolge von Überlagerungen eine geringere Deutlichkeit dieser Zugehörigkeit aufweisen (z.B. zu je 50%). Folgerichtig wird eine Zelle mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für das Profil X (z.B. 50%) durch die Aufteilung eines gleichartigen Gebietes von weiteren Zellen mit hoher Wahrscheinlichkeit gleichen Profils umgeben. Um einem solchen Gebiet ähnlicher Charakterisierung Rechnung zu tragen, werden prozentuale Anteile an der Potentialprofilwahrscheinlichkeit an die Nachbarzellen übergeben (z.B. jeweils +10% des vorhandenen Wertes; siehe Abbildung 12). Das würde bedeuten, dass eine Gegend, die grundsätzlich vom Potentialprofil X dominiert wird, durch Werteübergabe entsprechend belohnt wird. Eine Übertragung auf alle Zellen zeigt eine deutlichere Verteilung der Potentialprofile im Stadtgebiet.

Abbildung 12: Von den Nachbarzellen werden jeweils 10% der Werte übergeben (eigene Darstellung).



4.5.3. Umfeldanalyse

Bestimmten Eigenschaften und räumliche Qualitäten sind geeignet, um die Lage im Stadtgefüge qualitativ einzuordnen. Sie sind aber nicht Teil der Beschreibung der Potentialprofile und ermöglichen es, die Projektergebnisse nach Lagekriterien zu filtern. So können unterschiedliche Nutzer:innen unterschiedliche Priorisierungen bei der Auswertung der Ergebnisdaten vornehmen. Siehe dazu Abschnitt *Lagequalitäten* in 5.4.2 *Funktionen*. Tabelle 3 zeigt die im Projekt umgesetzten Lagefilter und ihre Bestandteile:

Tabelle 3: Beschreibung der Lagefilter.

Name	Beschreibung	Bestandteile
Energiefilter	Potential nachhaltiger Energie	Verfügbarkeit von Fernwärme, -kälte ...
Mobilitätsfilter	Nachhaltige Mobilität	ÖV-Erschließung, getrennte Radwege ...
Grünraumfilter	Qualitative Grünraumversorgung	Nähe zu Parklandschaften, Wäldern ...

Bei den von der Stadt Wien zur Verfügung gestellten Daten (vgl. Open Data Österreich, 2022) handelt es sich im Wesentlichen um drei unterschiedliche Geometrien:

- Polygone (z.B. Flächen-Mehrzweckkarte)
- Linien (z.B. Fernkälte)
- Punkte (z.B. Zugangspunkte Grünflächen)

Um die Daten den jeweiligen Rasterzellen zuordnen zu können, wird folgendermaßen vorgegangen: Liegen die Daten als Polygone vor, werden diese über die Boole'sche Operation „Schnittmenge“ mit den Zellen verschnitten. Bei Grunddaten, die als Linien vorliegen (z.B. „Fernwärmeleitungen“), werden die Längen (von Linien) innerhalb einer Zelle aufsummiert. In einem weiteren Schritt wird die Gesamtlänge ins Verhältnis zur Seitenlänge der Zelle gesetzt und fließt entsprechend eines Werteschlüssels in die Berechnung des jeweiligen Filterwertes ein. Liegen die Daten schließlich als Punkte vor (z.B. Elektroladestationen), wird lediglich untersucht, ob eine Zelle einen solchen beinhaltet.

4.5.4. Automatische Ermittlung von Flächenpotentialen im digitalen Bebauungsplan der Stadt Wien

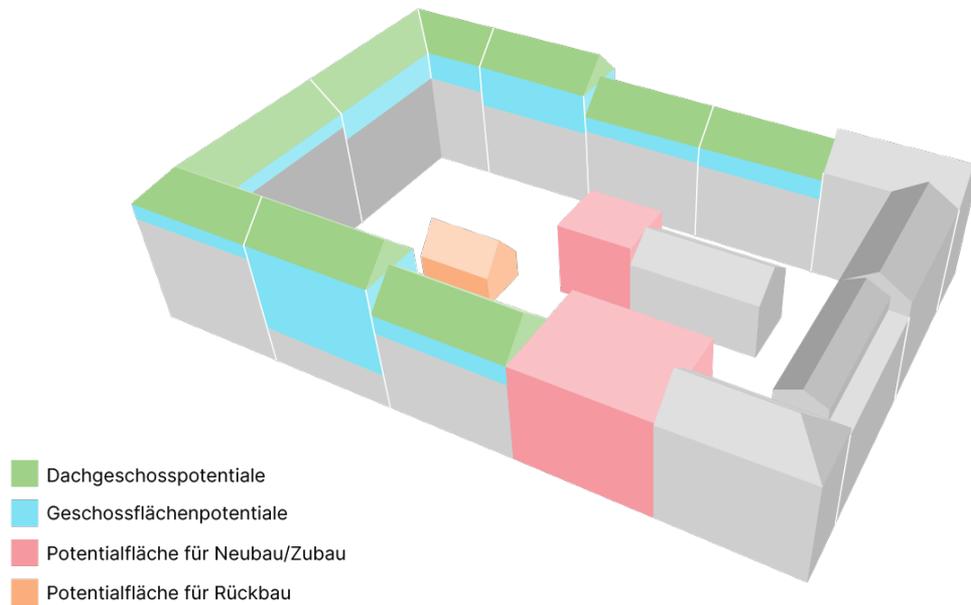
Eine Schlüsselrolle für die quantitative Folgenabschätzung der qualitativ beschriebenen Entwicklungsvarianten in den unterschiedlichen stadträumlichen Situationen, die durch die Potentialprofile beschrieben sind, fällt der Ermittlung der Geschoß- und Grundflächenpotentiale im bestehenden Stadtgebiet, sowie der Ermittlung und Definition der baulichen Dichte, zu. Sie dienen zudem der Reduktion der Komplexität planerischer Überlegungen zu den Ausprägungen der unterschiedlichen Entwicklungsvarianten, in dem die räumlichen Potentiale für die jeweilige Entwicklungsvariante auf einen Potentialwert in Kubikmeter [m³] und/oder Quadratmeter [m²] reduziert werden. So kann das jeweilige Potential als Volumen und/oder die potentiellen Bruttogeschoßflächen bzw. Brutto-Grundflächen je Rasterzelle ermittelt wird. Mit diesen Werten können dann die Materialintensität (in Tonnen je Kubikmeter nach Materialgruppe), die damit verbundenen Umweltwirkungen und auch die potentiellen Nutzungseinheiten (Wohnungen, Büros, ...) abgeleitet werden.

Dies erlaubt zudem, die Veränderung der Potentiale je nach Profil zu verorten und zu einem gewissen Grad für eine rasche Ergebnisdarstellung vorauszuberechnen. Alle weiteren Ausprägungen der Entwicklungsvarianten, z.B. Bauweisen, Kosten und andere Qualitäten haben auf die in den Rasterzellen vorhandenen Daten keinen direkten Einfluss, sondern hängen vielmehr von den vorhandenen Potentialflächen und -volumina ab. Auf Basis der vorhandenen Potentiale als Flächen bzw. Volumen (je Profil) lassen sich dann für die Statistik beliebig viele weitere Kennzahlen errechnen!

Geschoß- und Grundflächenpotentiale

Die Abbildung 13 zeigt die Flächenpotentiale in einem fiktiven Baublock in einem „Gründerzeit“-Viertel in Wien. Die Bestandsgebäude sind grau eingefärbt. Verglichen mit dem aktuellen Bebauungsplan für dieses Gebiet ergeben sich die färbig dargestellten Flächenpotentiale.

Abbildung 13: Flächenpotentiale in einem schematischen Baublock (eigene Darstellung).



Die Informationen über Stockwerksanzahl und Geschoßhöhe der Bestandsgebäude wird aus der Gebäudenutzung, dem Baualter und der Traufhöhe angenommen bzw. abgeleitet (3 m oder 4 m). Daraus werden die bestehenden und potentiellen Brutto-Grundflächen für das Gebäude ermittelt (in Abbildung 13 grau bzw. hellblau). Diese werden nach Nutzung auf die Rasterzellen aufgeteilt.

Folgende Annahmen werden zu den Geschoßhöhen getroffen:

- Geschoßhöhen:
 - Nutzung 1 Wohnen: 3m
 - Nutzung 1 Wohnen in Bauperiode 1 (vor 1918): 4m
 - Nutzung 2 Gemischt/Büro, 3 Gewerbe/Industrie: 4m
 - Nutzung 4 Sonstiges: 3m
- Dachgeschoßflächen sind in der Ermittlung der Brutto-Grundflächen nicht enthalten.
- Bestandsvolumen: Grundfläche $m^2 \times$ Traufhöhe $m =$ „Bruttorauminhalt“ m^3
- Geschoßanzahl: Abgerundet auf Ganzzahl Traufhöhe/Geschoßhöhe, aber mindestens Eins
- Brutto-Grundflächen: Grundfläche $m^2 \times$ Geschoßanzahl = BGF m^2 nach Gebäudenutzung

Volumina und Geschoßflächen der Bebauungsbestimmungen aus dem Flächenwidmungs- und Bebauungsplan bilden die potentiellen **Neubauten bzw. Ergänzungsbauten**. Dabei wird aber nicht das vorhandene Volumen 1:1 genutzt, sondern nach dem Algorithmus von Forster (2016: S.38ff) nur ca. 35 % der identifizierten Potentiale als solche übernommen. Durch diese konservative Vorgehensweise ist es sehr wahrscheinlich, dass die ermittelten Potentiale über grundlegende Qualitäten und Bauvorschriften (z.B. Abstandsregeln und Belichtung) verfügen.

Volumina und Geschoßflächen der Bestandsgebäude bilden die theoretischen **Rückbaupotentiale** (in Abbildung 13 orange). Bei den Rückbaupotentialen gibt es aber auch Bestandsgebäude, die sich in Bereichen befinden, wo nicht mehr neu gebaut werden dürfte. Hier wird in der Praxis kein Rückbau/Abbruch erfolgen. Auf Basis der Grundflächen der Bestandsgebäude werden Volumina und Geschoßflächen bis zu den Bebauungsbestimmungen aus dem Flächenwidmungs- und Bebauungsplan ausgereizt und bilden die potentiellen Neubauten (in Abbildung 13, rot).

Als **Geschoßflächenpotentiale** versteht das Konsortium „**Aufstockungspotentiale**“ auf bestehenden Gebäudegrundflächen (Grundfläche × Geschoßanzahl). Ist die bestehende Traufhöhe niedriger als die minimal/maximal zulässigen Bauhöhen in der Bauklasse (und ist die Differenz groß genug, um zumindest ein weiteres Stockwerk unterzubringen), wird ein Geschoßpotential auf dem Gebäude erkannt. Berücksichtigt wird dieses Potential für Baukörper, wo in den Daten der Baupolizei (siehe Anhang 9.5.2) nach dem Jahr 2000 kein Dachgeschoßausbau, kein Zubau, kein Umbau, kein Abbruch und kein Neubau erfolgt ist, kein Denkmalschutz am Grundstück vorhanden ist und wo die Grundfläche der Baukörper mindestens 50 m² aufweisen: In der Flächen-Mehrzweckkarte sind die Gebäude teilweise in mehrere Baukörper unterteilt (die zum Teil Erker, Liftanbauten oder ähnliches abbilden). Die Potentialvolumina werden aus den Brutto-Grundflächen und der Geschoßhöhe ermittelt. Hier ist grundsätzlich die Unterscheidung zwischen minimaler und maximaler Bauhöhe in einer Bauklasse möglich. Daraus ergibt sich ein minimales und maximales Potential.

Für die **Dachgeschoßpotentiale** werden Baukörper mit einer Grundfläche von mind. 100 m² herangezogen. Dieser Wert wurde aus M-DAB übernommen und unterliegt der Annahme, dass es unwirtschaftlich wäre, kleinere Flächen für Dachgeschoßausbauten zu erschließen. Allen anderen Einschränkungen sind analog zu den Geschoßflächenpotentialen. Also nur Gebäude/Baukörper, bei denen in den Daten der Baupolizei (siehe Anhang 9.5.2) nach dem Jahr 2000 kein Dachgeschoßausbau, kein Zubau, kein Umbau, kein Abbruch und kein Neubau erfolgt ist, sowie kein Denkmalschutz am Grundstück vorhanden ist, kommen für einen Dachgeschoßausbau in Frage.

Dichte

Bei der Ermittlung der Flächenpotentiale ist die planungsrechtlich erlaubte Dichte relevant, die anhand der Baufluchtlinien im Flächenwidmungsplan der Stadt Wien sowie anhand der Bauklassen ermittelt wird. In §75 der Wiener Bauordnung werden die minimalen und maximalen Gebäudehöhen der unterschiedlichen Bauklassen definiert. Die Berechnungen (siehe Tabelle 4) erfolgen je Gebäude und werden anteilig nach Grundfläche auf die Rasterzellen aggregiert. Die zuvor identifizierten Flächenpotentiale werden für die Dichteaussprägung der Entwicklungsvarianten, wie in Tabelle 5 dargestellt, berücksichtigt.

Tabelle 4: Flächen- und Materialbilanz je Entwicklungsvariante (Ergebniskennzahlen und Berechnung).

Ausprägung „Dichte“	V1 Dachgeschoßausbau (+Sanierung)	V2 Zubau/Neubau	V3 Rückbau/Neubau
Ergebniskennzahlen (Output)	BGF [m ²] + BRI (m ³) Bestand Rückbau BGF [m ²] + BRI (m ³) Vollgeschoße NEU + DGA [m ²]	BGF [m ²] + BRI [m ³] Bestand Sanierung + DGA (m ²)	BGF [m ²] + BRI [m ³] Vollgeschoße NEU + DGA (m ²)
Berechnung der Flächen- und Materialbilanz*)	In: Baumaterial Vollgeschoße NEU Out: Gesamte Materialien aus Bestandsabbruch + In/Out Bilanz Dachgeschoßausbau	+ In/Out Bilanz Sanierung Vollgeschoße Bestand + In/Out Bilanz Dachgeschoßausbau	In: Baumaterial Vollgeschoße NEU + In/Out Bilanz Dachgeschoßausbau

*) Materialsummen lassen sich für die baulichen Änderungen aus Potential-Volumina ermitteln.

Tabelle 5: Berücksichtigung unterschiedlicher Flächen-/Volumenspotentiale in Entwicklungsvarianten (unterschieden nach In/Out in der Flächenbilanz je Zelle).

Ausprägung „Dichte“	Potentiale^{*)}	V1 Dachgeschoßausbau (+Sanierung)	V2 Zubau/Neubau	V3 Rückbau/Neubau
„maximal“ + 1 Geschoß über der Bauklasse	1 Bestand	-	In: 100% Bestand	-
	2 Rückbau	Out: 100 % Bestand ^{**)}	-	-
	3 Neubau/Zubau	In: Bis Bauklasse (max) Wohnen Geschoßhöhe 3 m	-	In: Bis Bauklasse (max) Wohnen Geschoßhöhe 3 m
	4 Aufstockung	In: Bis Bauklasse (max) Wohnen Geschoßhöhe 3 m	-	In: Bis Bauklasse (max) Wohnen Geschoßhöhe 3 m
	5 Dachgeschoß	In: 100% des DGA- Potentials	In: 100% des DGA- Potentials	In: 100% des DGA- Potentials
„moderat“	1 Bestand	-	In: 100% Bestand	-
	2 Rückbau	Out: 100% Bestand ^{**)}	-	-
	3 Neubau/Zubau	In: Bis Bauklasse avg(min,max) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand	-	In: Bis Bauklasse avg(min,max) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand
	4 Aufstockung	In: Bis Bauklasse avg(min,max) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand	-	In: Bis Bauklasse avg(min,max) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand
	5 Dachgeschoß	In: ~67% des Potentials	In: ~67% des Potentials	In: ~67% des Potentials
„minimal“	1 Bestand	-	In: 100% Bestand	-
	2 Rückbau	Out: 100 % Bestand ^{**)}	-	-
	3 Neubau/Zubau	In: Bis Bauklasse (min) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand	-	In: Bis Bauklasse (min) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand
	4 Aufstockung	In: Bis Bauklasse (min) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand	-	In: Bis Bauklasse (min) Wohnen Geschoßhöhe wie Bestand
	5 Dachgeschoß	In: ~33% des Potentials	In: ~33% des Potentials	In: ~33% des Potentials

^{*)} Bestehende Denkmalschutzausweisungen und Bauklassen werden berücksichtigt.

^{**)} Abbruch exkl. „orange“ dargestellte Gebäude in Abbildung 13

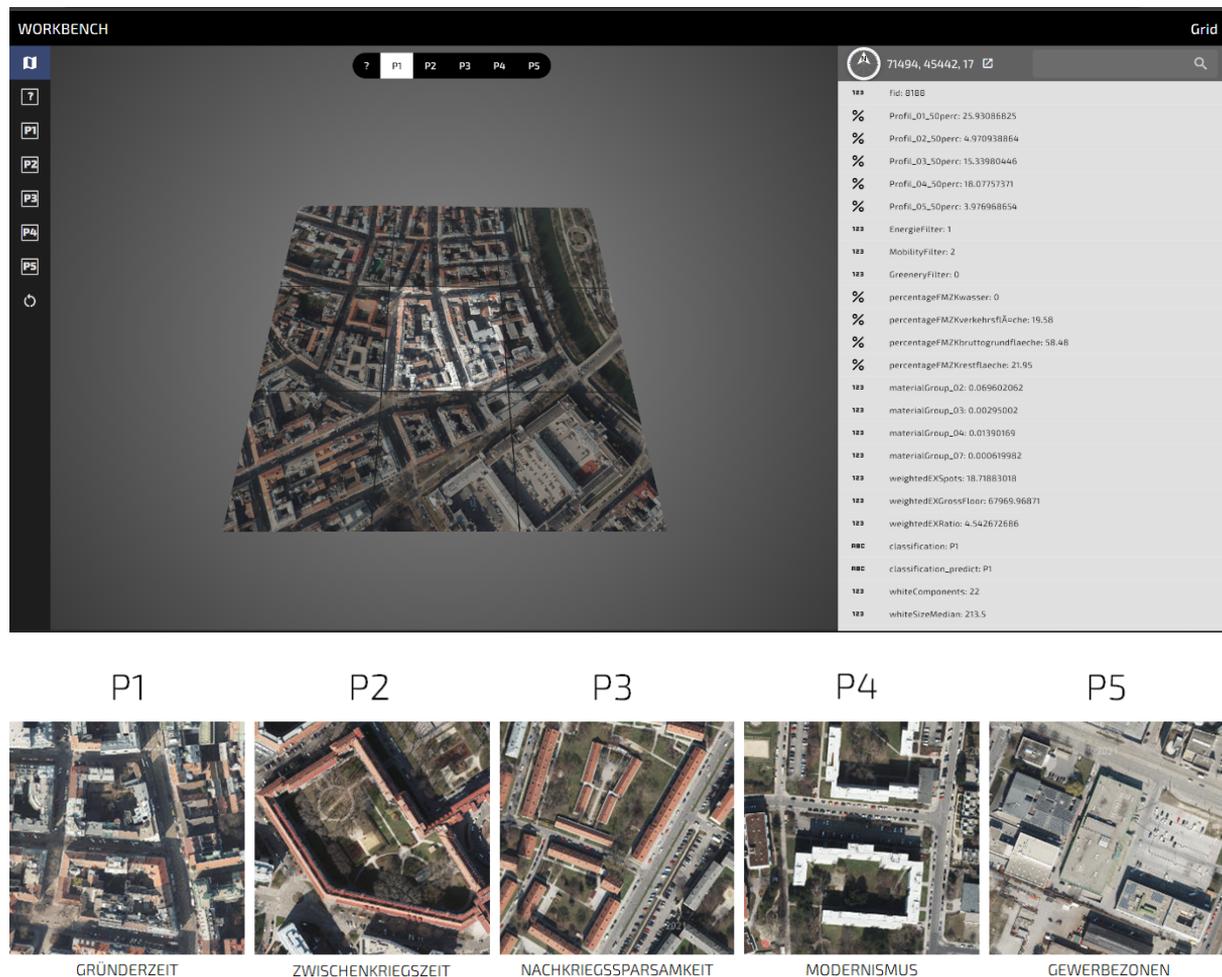
4.5.5. Similarität – Abgleich mit Machine Learning

Neben den bisher beschriebenen Ansätzen zur Klassifizierung und Qualifizierung der unterschiedlichen Potentiale wird auch ein Machine-Learning-Ansatz getestet, mit dem die thematische Klassifizierung von Zellen in genau eine der fünf Potentialprofile vorgenommen wird. Dazu werden zwei Verfahren verwendet, die aufeinander aufbauen: (1) *Decision Trees*, sowie (2) *Random Forests*.

Decision Trees

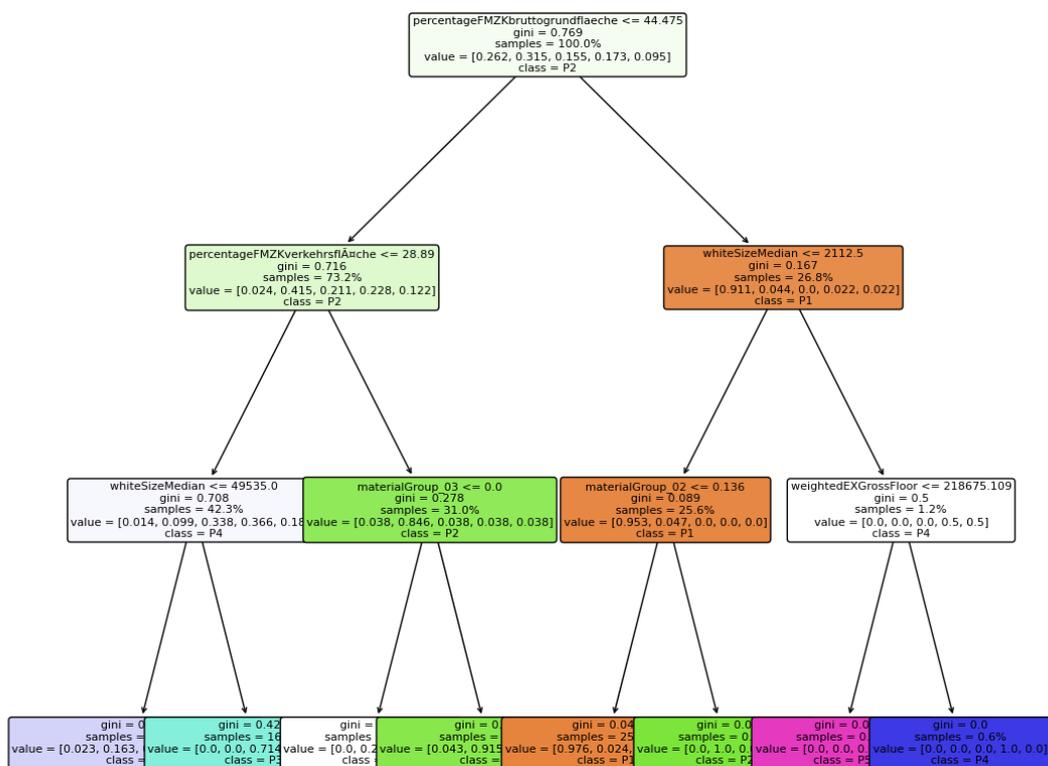
Entscheidungsbäume sind eine Methode zur Klassifikation, bei der ein Machine-Learning-Algorithmus lernt, wie es auf Basis von Eigenschaften („features“) einer Zelle zu einer gewünschten Klassifikation kommt. Von Expertinnen und Experten werden im Vorfeld manuell Datenobjekte (hier: Zellen) einer Klasse (hier: PP1-PP5) zugeordnet. Dazu wird eine grafische „Workbench“ (siehe Abbildung 14) hergestellt, in der man vorerst eine Karte von Wien sieht, in der die aktive Zelle (Kartenmittelpunkt) hervorgehoben dargestellt wird. Weiters befindet sich ein Fenster mit allen Eigenschaften dieser Zelle rechts am Bildschirm. Die Expertin oder der Experte kann nun mittels Auswahl von PP1-PP5 (oberhalb der Karte) eine Zelle einem bestimmten Profil zuordnen oder mittels Auswahl des Buttons „?“ eine zuvor durchgeführte Zuordnung löschen.

Abbildung 14: Klassifikation von Zellen. Oben: Expertinnen- und Experten-Interface zur Klassifikation. Unten: Beispiele für eine ausgewählte Zellen je Potentialprofil (Screenshot).



Nach erfolgter Zuordnung von n=211 von insgesamt 10.360 Zellen (ein paar Beispiele finden sich im unteren Teil von Abbildung 14; mehr Details im Kapitel 5 *Ergebnisse*) erhalten wir pro Potentialprofil eine „Ground Truth“ – die von Expertinnen und Experten für das Modell festgelegten „korrekten“ Ergebnisse. Der Decision-Tree-Algorithmus teilt alle Zellen mit zugeordneter Klasse PP1-PP5 und ihren Features im Verhältnis 80:20. Die Auswahl erfolgt zufällig; die 80%-ige Menge ist der sogenannte Trainingsatz, die 20%-ige Menge der Testdatensatz. Im nächsten Schritt erfolgt das Training anhand des Trainingsatzes: Aus der Menge der zur Verfügung stehenden Features wird nun ermittelt, welches Feature sich am meisten auf die Klassifikation in PP1-PP5 auswirkt. Der Datensatz wird entlang dieses Features geteilt: in eine Submenge die '>=' einem gefundenen Schwellwert⁵ für dieses Feature ist und eine, die '<' diesem Schwellwert ist. Das Verfahren wird für die entstehenden Submengen rekursiv (bis zu einer einstellbaren Tiefe) wiederholt. Ein Beispiel für den solchermaßen entstehenden Decision Tree findet sich in Abbildung 15.

Abbildung 15: Decision Tree des Modells (eigene Darstellung).



Nimmt man nun die schon durch Expertinnen und Experten klassifizierte Zellen aus der 20%-igen Menge und lässt sie vom Decision-Tree-Algorithmus klassifizieren, so kommt man zu einem Deckungsmaß (d.h. dem Anteil richtig klassifizierter Zellen). Dieses liegt üblicherweise in einem Bereich zwischen 70% und 80%, je nach gewählter maximaler Baumtiefe und Anzahl und Art der Daten (siehe auch Abschnitt 5.3.3 für eine Diskussion der Ergebnisse). Mehrmaliger Aufbau von Decision Trees führen zu verschiedenen Ergebnissen, selbst bei gleicher 80%-iger Trainingsmenge. Der Grund dafür liegt darin, dass die verwendeten Aufbaualgorithmen stochastisch sind. Diese Eigenschaft macht man sich im nachfolgenden Verfahren zunutze.

⁵ Details zur Ermittlung dieses Schwellwerts werden hier aus didaktischen Gründen weggelassen, es gibt verschiedene Verfahren und Metriken wie die *Gini-impurity Methode* oder das *entropiebasierte Verfahren*.

Random Forests

Random Forests – sinnbildlich: ein Wald, der aus einer Anzahl an Bäumen besteht – sind nichts anderes als eine Menge an Decision Trees, deren Aufbau der vorigen Beschreibung folgt. Bei Einlangen einer zu klassifizierenden Zelle werden alle Trees im Random Forest nach ihrer Klassifizierung befragt, anschließend wird eine Mehrheitsentscheidung getroffen. Diese Methode ist erheblich genauer als einzelne Decision Trees, es kann mit einem Deckungsmaß zwischen 70% und 90% oder sogar darüber gerechnet werden.

Beide Methoden, Decision Trees wie Random Forests, sind gegenüber Overfitting anfällig: Werden zu viele Samples verwendet, dann merken sich „die Bäume“ die Features des Trainingsdatensets besonders gut, sind aber für weitere Klassifizierungen sehr schlecht geeignet. Dass zu wenig Samples im Trainingsdatenset ebenfalls schlecht sind, erübrigt einer weiteren Begründung.

4.5.6. Interaktive Datenvisualisierung

Die Ergebnisse und Hochrechnungen aus den unterschiedlichen Arbeitspaketen werden in einer webbasierten interaktiven Datenvisualisierung zusammengeführt. Die Aufbereitung der Datensätze und die Visualisierung erfolgt in einem interaktiven Web-Viewer und ermöglicht eine quantitative Darstellung und Verortung von Potentialen, sowie eine qualitative Darstellung von Potential-Prototypen inkl. Entwicklungsvarianten. Die Ergebnisse können nach Varianten und Potentialprofilen aufgeschlüsselt werden. Eine Filterfunktion nach Kriterien (z.B. Ausbauvarianten, Potentialen) ermöglicht eine nutzerspezifische Aggregation der Ergebnisse (siehe Abschnitt 5.4 *Datenvisualisierung*).

5 Ergebnisse

Die Projektziele für diese zusammenfassende Gegenüberstellung sind sinngemäß dem Projektantragsdokument entnommen:

(1) Identifizierung und Qualifizierung von Innenentwicklungspotentialen: Im Projekt wurden für Wien fünf „typische“ stadträumliche Situationen identifiziert und qualitativ beschrieben (siehe Abschnitte 4.2 und 5.1). Die Beschreibungen und Skizzen bleiben im Zuge des Visualisierungsprototyps als Erläuterungen erhalten (siehe Abschnitt 5.4). Auf Basis der Profile wurden Entwicklungsvarianten und Szenarien erarbeitet. Für die Profile und Varianten wurden des weiteren Indikatoren und Attribute ermittelt, welche die Grundlagen für die weiteren quantitativen Analysen und Einstellungsmöglichkeiten in der interaktiven Datenvisualisierung bilden (Abschnitte 4.3, 4.4 und 5.1.)

(2) Materialintensität der Innenentwicklung (Materialumsatz) für unterschiedliche Entwicklungsvarianten ermitteln und Bewertung aus gesamtstädtischer Sicht ermöglichen: Die Bewertung erfolgte anhand der ausgearbeiteten Entwicklungsszenarien für die definierten (Gebäude-)Potentialprofile, hinsichtlich ihres Materialeinsatzes und der daraus resultierenden Umweltauswirkungen. Basierend auf einer fundierten Literaturrecherche wurden bisher die relevanten Materialzusammensetzungen definiert und über erhobene Kennzahlen für alle Potentialprofile quantifiziert (Abschnitte 4.4 und 5.5). Auf diese Weise konnte die materielle Charakterisierung der Potentialprofile abgeschlossen werden. Die definierten Materialströme bilden die Grundlage der Umweltbewertung und versorgen die Methoden zur Hochrechnung und Datenvisualisierung.

(3) Digitale Methoden anwenden/entwickeln, um Muster in der Stadt aufzuspüren und zu quantifizieren: Dazu wurden optimale Rasterzellengrößen (Wien wird dabei in Kacheln unterteilt) für die Ähnlichkeitsvektoren identifiziert (Abschnitte 4.5, 5.2, 5.3). Basierend auf dieser Zellengröße wurden Daten wie Grünanteil, Gebäudeflächen, Anzahl der Grundstücke pro Baublock etc. aus diversen Stadtkarten (Flächen-Mehrzweckkarte der Stadtvermessung Wien, Bautypologien-Karte, ÖV-Güteklassen-Karte, etc.) auf die jeweilige Zelle aggregiert. In weiterer Folge wurde ein NetLogo-Modell (Wilensky, 1999) erstellt, das die Daten in den jeweiligen Zellen als Vektoren definiert und basierend auf der Vektorgröße Ähnlichkeiten visualisiert.

(4) Erarbeitung eines Methodensets zur holistischen Bewertung von Potentialflächen und verschiedener Entwicklungsvarianten und -szenarien zur ressourcenschonenden Innenentwicklung: Mithilfe einer interaktiven Visualisierung (Abschnitt 5.4) wurden die Potentiale anhand unterschiedlicher Filter- und Gewichtungskriterien sichtbar gemacht, wobei die Ergebnisse auch unter dem Aspekt der unterschiedlichen Sichtweisen der Nutzer:innen-Zielgruppen dargestellt und untersucht werden können. Die Visualisierung kann unter <http://128.130.179.24> eingesehen werden. Die Zugangsdaten werden auf Anfrage unter stefan.bindreiter@tuwien.ac.at bereitgestellt.

Diese Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt detailliert erläutert und diskutiert.

5.1. Potentialprofile und Entwicklungsvarianten

Im Zuge der qualitativen Methoden wurden für das Projekt fünf archetypische stadträumliche Situationen in Wien exemplarisch ausgewählt und als Potentialprofile PP1-PP5 beschrieben:

- PP1 „Blockrand“ (z.B. Gründerzeit)
- PP2 „Wohnhöfe des roten Wiens“ (z.B. Zwischenkriegszeit)
- PP3 „Licht, Luft & Autos“ (z.B. Nachkriegssparsamkeit)
- PP4 „Harry Glück & Co“ (z.B. Spätmoderne)
- PP5 „Gewerbe“

Als Grundlagen zur Erstellung der quantitativen Beschreibung der Profile – in Form einer Tabelle mit umfassenden Informationen zu typischen Geometrien, Massen, Baustoffen, Bebauungsdichten etc. – dienen historische und gegenwärtige Plandarstellungen und Entwurfsbeschreibungen (Wiener Wohnen, 2022a; Puscher, Demcisin, Titz, Hermann, et al., 2018), Literatur zu Bauweisen und Bauepochen (Ahnert & Krause, 2014) und GIS-Daten bzw. Literatur zu historischen Planungsinstrumenten und Bauordnungen (Breitling & Zancanella, 1982; Hagen, 2015). Der Verweis auf die ausführliche Tabelle ist im Anhang 9.8 *Weitere Dokumentenanhänge* (Tabellenblatt_AP2) angeführt. Die Vorgehensweise und die daraus resultierenden Teilergebnisse wurden bereits im Zuge der methodischen Beschreibung im Abschnitt 4.2 beschrieben. Abbildung 16 zeigt eine Auswahl beispielhafter Stadtausschnitte, die mit den fünf Potentialprofilen korrelieren.

Abbildung 16: Definition und Analyse der Potentialprofile (eigene Darstellung, Grundkarte: <https://www.wien.gv.at/stadtplan/>).



Für die Entwicklungsvarianten wurden für alle fünf Profile Übersichtsblätter für den Bestand und die drei Testplanungen für die unterschiedlichen Entwicklungsvarianten erstellt.

Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen exemplarisch die Bestandsanalyse bzw. die Variantenstudie „Umbau“ für das Potentialprofil 3. Alle weiteren Analysen und Testentwürfe, inklusive der zugehörigen Auswertungsblätter – die als Grundlage für die material- und umweltbezogene Bewertung (AP4) dienen und die die Quantifizierung und Hochrechnung der Folgeabschätzungen (AP5) darstellen – sind in Anhang 9.8. *Weitere Dokumentenanhänge* (Testentwürfe_AP3) aufgelistet.

Abbildung 17: Übersichtsblatt Bestand, Potentialprofil 3 (eigene Darstellung).

Allgemeine Analyse Bestand

Adresse
 Hubert-Hlajek-Hof, Wehlstraße 131-143, 1020 Wien
 beispielhafter Baukörper: Handelskai 154-166, 1020 Wien

Widmung
 W Wohnen mind. 12 m,
 N < Straße (bis 15 m) + 3 m
 bzw. Straße (ab 15 m) + 4 m
 max. 21 m
 geschlossene Bauweise
 nein, aber Wohnzone (§7a WBo)
 ja

Umgebung
 Grundstücksfläche 1.024,91 m²
 (geschätzter Anteil an Gesamtfläche)
 Perimeterfläche 1.328,05 m²
 (geschätzter Anteil an Gesamtfläche)
 Straßenbreite 16,20 m
 Einbahn nein
 Tempo 30 Zone nein
 Parkplätze / Perimeter 2
 Straßenbäume / Perimeter 4
 sonstiges Donaufahrt
 bzw. Donau als Gegenüber

Flächenermittlung
 UG+EG+5+DG (nicht ausgebaut)
 Geschözzahl
 Gebäudehöhe (Traufe) 21,47m
 BGF pro Geschöß 384,40m²
 BGF gesamt 3.075,20m²
 BRI gesamt 9.446,10m³
 NGF 2.504,46m²
 NF 2.211,49m²
 Wohnungsanzahl 30
 ø Wohnungsgröße 55,33m²
 ø Zimmeranzahl 2,6
 ø Raumhöhe 2,80m
 GFZ Grundstück 2,00
 GFZ Perimeter 2,45

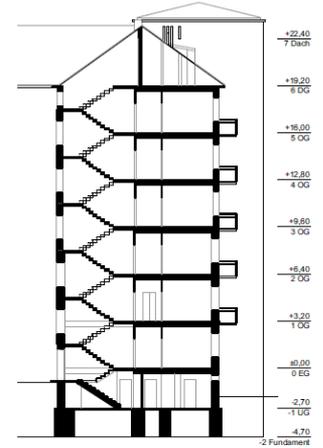
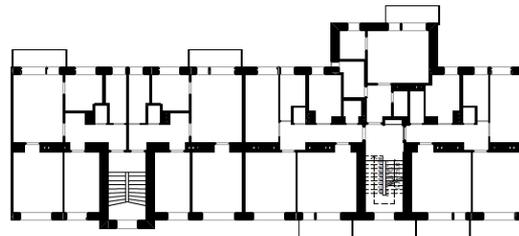


Abbildung 18: Übersichtsblatt V1 (DGA+Sanierung), Potentialprofil 3 (eigene Darstellung).

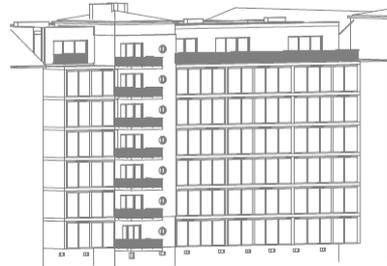
**Nachkriegssparsamkeit 1945-1960
 Entwicklungsvariante Umbau**

Adresse
 Hubert-Hlajek-Hof, Wehlstraße 131-143, 1020 Wien
 beispielhafter Baukörper: Handelskai 154-166, 1020 Wien

Widmung
 W Wohnen mind. 12 m,
 N < Straße (bis 15 m) + 3 m
 bzw. Straße (ab 15 m) + 4 m
 max. 21 m
 geschlossene Bauweise
 nein, aber Wohnzone (§7a WBo)
 ja

Allgemeine Beschreibung Entwicklungsvariante
 - Einbau Aufzug (Barrierefreiheit)
 - Barrierefreie Zugänglichkeit aller Wohneinheiten
 - Dachaufstockung (über die gültige Widmung hinausgehend)
 - Zubau eines "Wohnzugs"
 - Entseglung des Perimeter, Baumpflanzungen
 - aussenliegender Sonnenschutz
 - Umstieg auf regenerative Energieversorgung
 - Abbruch bestehender Balkone (Wärmeträger) und Neubau thermisch getrennter, größerer und besser nutzbarer Balkone

Flächenermittlung
 UG+7
 Gebäudehöhe (Traufe) 24,28m
 BRI Bestand (vor Abbruch) 9.446,10m³
 BRI Abbruch 791,61m³
 BRI Neubau 3318,53m³
 BGF Bestandsgeschoße 488,30m²
 BGF im neuen Geschöß 405,90m²
 BGF gesamt 3.335,70m²
 NGF / Geschöß 322,74m²
 NF / Geschöß 270,99m²
 Wohnungsanzahl / Geschöß 5
 ø Wohnungsgröße 54,19m²
 ø Raumhöhe 3m
 ø Geschößhöhe 3,4m
 GFZ Grundstück 3,25
 GFZ Perimeter 2,51



5.2. Quantifizierung qualitativer Beschreibungen

Die Beschreibung und Quantifizierung erfolgte im Projekt in drei Iterationsstufen. Die Identifikation und erste Beschreibung der Potentialprofile wurden in einem interdisziplinären Projektteam erarbeitet. Diese Profile wurden in Workshops mit Stakeholdern und Expertinnen und Experten abgeglichen bzw. durch Ergebnisse einer Umfrage mit Expertinnen und Experten ergänzt. Abschließend fließen auch die Ergebnisse des Machine-Learning-Modells in die finale Bewertung mit ein.

5.2.1. Beschreibung der Profile

Zur Auswahl für die Spezifizierung der Profile kommen jene Einträge aus AP2 zur Anwendung, die sich in den zur Verfügung stehenden Datenquellen abbilden lassen. Zur Erfassung der räumlichen Eigenschaften sind das etwa die GIS-Themenkarten der Stadt Wien (vgl. Open Data Österreich, 2022). Wesentliches Kriterium bei der Auswahl der Attribute ist die Verfügbarkeit der statistischen Werte auf Zellenebene für jedes Potentialprofil (z.B. Grünraumanteil oder Anzahl an Parzellen je Baublock). Zu den in AP2 definierten städtebaulichen Kennwerten und bautechnischen Spezifizierungen zählen folgende auf das Massenprofil bezogene Quantifizierungen:

- Flächenanteile Gesamtfläche (im Blockmaßstab):
 - Der Anteil an Verkehrsfläche (pro Bruttobaublockfläche inkl. Erschließung) [in %]
 - Der Anteil an Bruttogrundfläche der Gebäude (pro Bruttobaublockfläche inkl. Erschließung) [in %]
 - Der Anteil an Restfläche (Summe aus Grünfläche, Parken auf Eigengrundstück etc. pro Bruttobaublockfläche inkl. Erschließung) [in %]
- Häuserblock/Grundstück:
 - Die mittlere Anzahl an Parzellen pro Baublock [in Stück pro Baublock]
 - Die Brutto-Geschoßfläche pro Baublock [in m²]
 - Eine Kennzahl als Verhältnis der Brutto-Geschoßfläche des Baublocks zur typischen netto Blockfläche [als dimensionslose Verhältniszahl]

Zusätzlich werden profilspezifische Materialzusammensetzungen aus dem Arbeitspaket 4 gemäß der vordefinierten Materialgruppen (MG) berücksichtigt:

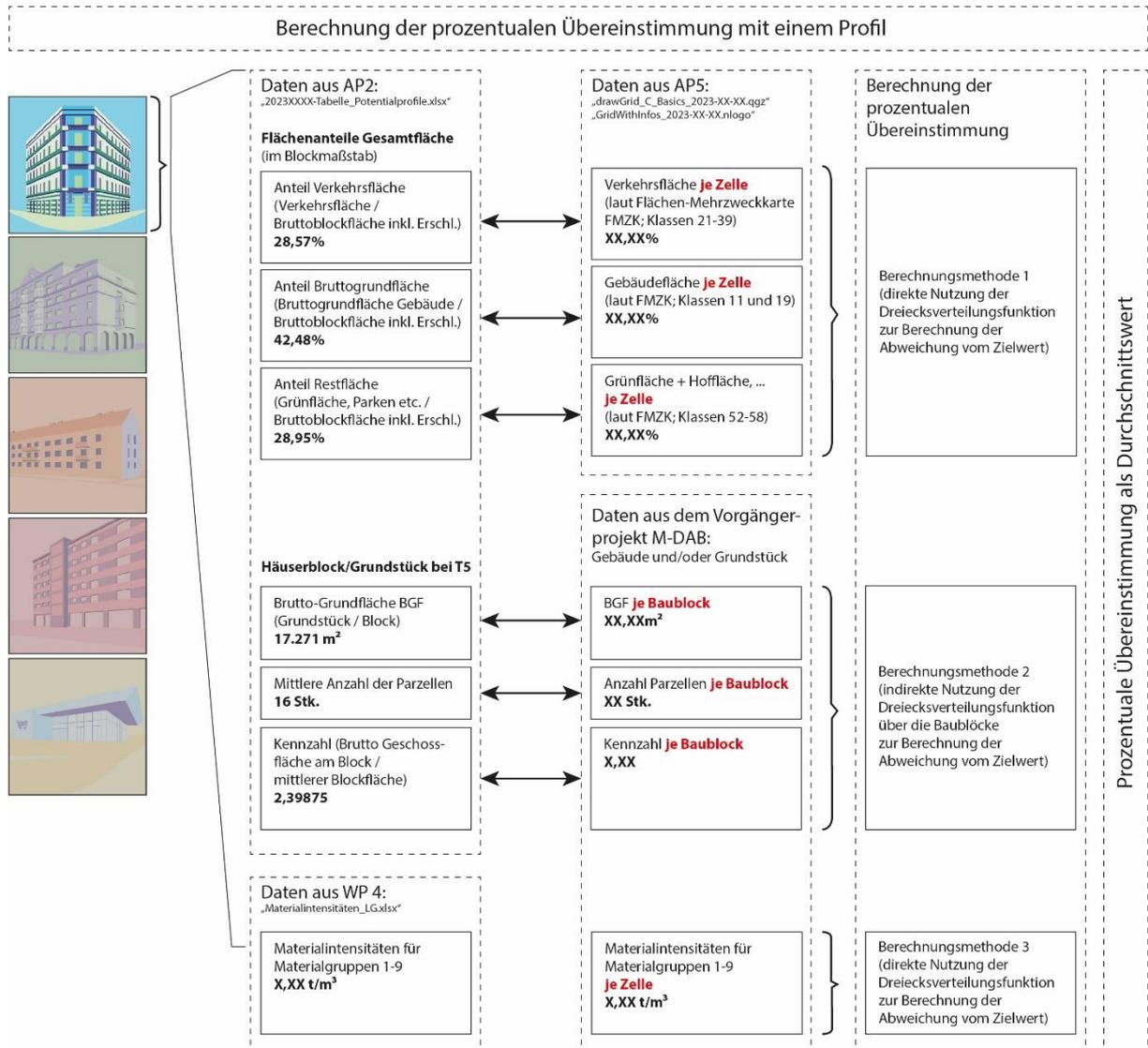
- Typischer Materialmix [in t/m³]
 - MG-1: Beton inkl. Estrich
 - MG-2: Ziegelmauerwerk
 - MG-3: Holz
 - MG-4: Stahl
 - MG-5: Glas
 - MG-6: Mineralwolle
 - MG-7: Polystyrol
 - MG-8: Gipsplatten, Gips
 - MG-9: Sand, Kies, Stein

Aufgrund der Deutlichkeit der Unterscheidung werden allerdings in weiterer Folge lediglich die Materialien Ziegel, Holz, Stahl und Polystyrol in die Materialberechnung miteinbezogen, da diese im Vergleich der idealtypischen Profile die größten Abweichungen aufweisen.

5.2.2. Überprüfung und Abgleich der Kennwerte mit der Stadt

Die verwendete Methode zur Berechnung der Similarität für das Potentialprofil 1 inklusiver der verwendeten Daten und der Einbettung in die interdisziplinären Arbeitspakete des Projekts wird zusammenfassend in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: Zusammenfassung der Berechnung der prozentualen Übereinstimmung mit einem ausgewählten Profil [%] (eigene Darstellung).



Mehrere Workshops innerhalb des Konsortiums und ein Expertinnen- und Experten-Workshop dienten der Verbesserung der Datenzusammensetzung, der Berechnungsmethoden und der Bedienbarkeit des Modells. In diesen Workshops wurden die Attribute (Elemente des Eigenschaftsvektors) festgelegt, die ein Potentialprofil aufgrund der Definitionen aus dem AP2 und AP4 beschreiben. Dabei wurden Formeln für die „prozentuale Zuordnung“ von Rasterzellen zu einem Potentialprofil entwickelt. Beispielsweise wird je Baublock der Übereinstimmungsprozentwert⁶

⁶ Dieser Wert entspricht der Übereinstimmung in Prozent mit einem Vorgabewert unter Berücksichtigung einer erlaubten Abweichung. Die Abweichung wird über eine Dreiecksfunktion definiert (siehe Abbildung 11).

$(x_{1/BB}$ bis $x_{m/BB}$) mit der Baublockfläche (A_{BB}) multipliziert und anschließend durch die Summe aller in der Zelle befindlichen Baublockflächen ($\sum A_{BB}$) dividiert, um herauszufinden, wie hoch der Übereinstimmungsprozentwert mit einem ausgewählten Potentialprofil bezogen auf die Zelle ist.

Dadurch ergibt sich je Zelle und je Potentialprofil ein Wert zwischen 0 und 100 % (y_{Ak} für $k =$ *Attribut 1 bis m*):

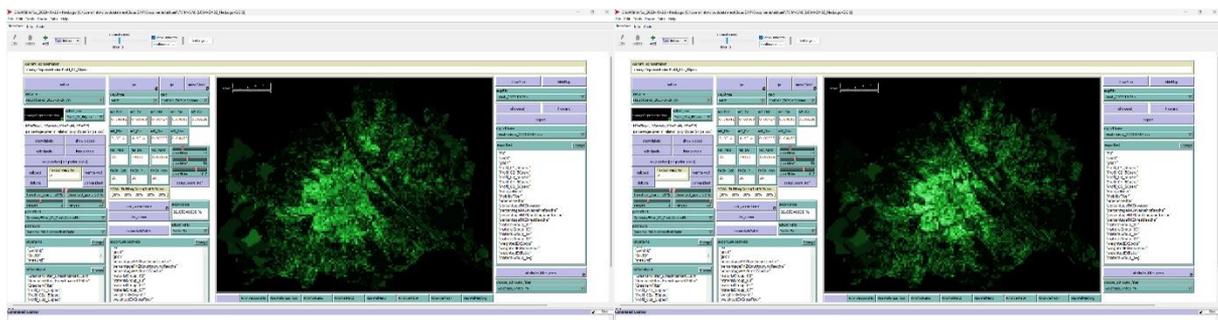
$$y_{Ak} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{BB(i)} \cdot \overline{x_{k/BB}}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (10)$$

Alle m Attribute (y_{A1} bis y_{Am}) haben schließlich Einfluss auf den %-Wert der Rasterzelle:

$$y_A = \sum_{k=1}^m \frac{y_{A(k)}}{m} \quad (11)$$

Eine Visualisierung von Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Zellen oder einer Zelle mit einer bestimmten Vorgabe (gegebenes Potentialprofil) entsteht infolge eines Vergleichs über die Vektorgröße. Wie in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, erfolgt das „pattern matching“, indem der Eigenschaftsvektor $v_{xy} = (E_1, \dots, E_N)$ einer bestimmten Rasterzelle mit einer anderen Zelle (oder einem Potentialprofil) $v_{\hat{xy}} = (E_1, \dots, E_N)$ verglichen wird. Als Similaritätsmaß zum Vergleich zwischen zwei Datensätzen wird im NetLogo-Modell die Euklidische Distanz verwendet. In den Workshops wurde die Methode Schritt für Schritt verbessert. Abbildung 20 stellt beispielsweise die Similarität der Rasterzellen zum Potentialprofil 1 dar, wobei links im Bild die ermittelten Attributwerte aus AP2 und AP4 als Vergleichsdaten zur Beschreibung der Profile dienen, während es rechts die Medianwerte aus einer Expertinnen- und Expertenbefragung sind.

Abbildung 20: Vergleich anhand PP1: Input AP2+AP4 (li.) mit Input Expertinnen und Experten Workshop (re.) (Screenshots).



Im Zuge dieser Befragung, mussten Expertinnen und Experten anhand der Potentialprofilbeschreibungen konkrete Rasterzellen in Wien auswählen und eine Reihung anhand von „Tops und Flops“ hinsichtlich der Übereinstimmung mit den Profilen vornehmen.

Tabelle 6 zeigt die charakteristischen Attributwerte, welche für die quantitative Beschreibung der Potentialprofile und zum Vergleich mit den einzelnen Rasterzellen in der Datenvisualisierung verwendet werden.

Tabelle 6: Typische Werte für die Profile 1 bis 5 (jene in grauer Schrift gekennzeichneten Materialien haben wenig Einfluss auf das Ergebnis und werden nicht berücksichtigt).

Kriterium	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5
Mittlere Anzahl an Parzellen pro Baublock	16 Stk.	28 Stk.	22 Stk.	28 Stk.	1 Stk.
Brutto-Geschoßfläche pro Baublock	17.841 m ²	31.500 m ²	24.900 m ²	79.352 m ²	1.359 m ²
Kennzahl als Verhältnis der Brutto-Geschoßfläche des Baublocks zur typischen netto Blockfläche	2,38	1,75	1,98	1,26	0,23
Anteil Verkehrsfläche	28,89 %	13,10 %	13,38 %	2,48 %	9,09 %
Anteil Bruttogrundfläche der Gebäude	42,64 %	30,29 %	26,43 %	15,35 %	20,59 %
Anteil Restfläche (Summe Grünfläche, Parken auf Eigengrundstück etc.)	28,47 %	56,49 %	53,82 %	82,17 %	70,32 %
Typischer Materialmix [in t/m³]					
Beton inkl. Estrich	0,13148	0,18784	0,39045	0,58041	0,34238
Stahl	0,00558	0,00304	0,01047	0,04083	0,02048
Ziegelmauerwerk	0,30277	0,28850	0,15204	0,03668	0,01598
Sand, Kies, Stein	0,03947	0,04766	0,03851	0,04469	0,02742
Holz	0,01792	0,00983	0,00275	0,00424	0,00336
Mineralwolle	0,00064	0,00075	0,00017	0,00030	0,00078
Polystyrol	0,00030	0,00000	0,00020	0,00049	0,00031
Gipsplatten, Gips	0,00628	0,00574	0,00588	0,00525	0,00557
Glas	0,00105	0,00166	0,00106	0,00128	0,00112
Gesamt	0,50550	0,54503	0,60152	0,71417	0,41740

5.3. Verteilung räumlicher Qualitäten in Wien

Beispiele für die Ergebnisse der Verteilung der Potentialprofile in Wien sind in den Screenshots der interaktiven Datenvisualisierung in Abschnitt 5.4.2 dargestellt. Die Ergebnisse basieren auf den oben beschriebenen Methoden und (Teil-)Ergebnissen bzgl. der Quantifizierung der räumlichen Qualitäten und der iterativen Verbesserung der Parameter durch Expertinnen- und Experten-Interviews und Datenanalysen. Die Rastergröße spielt dabei eine besonders große Rolle.

5.3.1. Rastergröße

Nach mehreren Tests mit verschiedenen Zellengrößen hat sich der Zoom Level 17 für das Projekt als am geeignetsten erwiesen. Dieser Detaillierungsgrad entspricht idealerweise dem darzustellenden Bereich – beispielsweise eines städtischen Blocks oder eines Parks (vgl. OpenStreetMap Wiki contributors, 2021 und Tabelle 2).

Für die Berechnung der Ähnlichkeiten zwischen Zellen und den im AP2 definierten Potentialprofilen wurden die in Tabelle 6 aufgelisteten Parameter auf die Zellen aggregiert. Ein Vergleich der einzelnen Parameter anhand unterschiedlicher Zoom Levels verdeutlicht die Veränderung in der Klarheit der Einzeldaten auf den Zellen. Die obere Reihe in Abbildung 21 zeigt beispielsweise eine Gegenüberstellung des durchschnittlichen Anteils an Verkehrsfläche für den Zoom Level 16 (links), Zoom Level 17 (mittig) und Zoom Level 18 (rechts). Die unterschiedliche Helligkeit der Zellen zeigt den Grad der Ausprägung (eine 100%-ige Übereinstimmung erscheint in hellem Grün (respektive Weiß) und eine 0%-ige in Schwarz). Während beim Zoom Level 16 einzelne Felder stark hervorstechen (als helle Punkte erkennbar), lässt sich bei genauere Betrachtung (feinerer Auflösung) erkennen, dass diese in ihrer Umgebung tatsächlich weniger stark in Erscheinung treten, d.h. eine stärkere Differenzierung aufweisen. Darüber hinaus zeigt sich bei einem Zoom Level 18 eine stärkere Ausprägung des Straßennetzes (erkennbar vor allem hinsichtlich ihrer Helligkeit). Nachdem die Definitionen der Potentialprofile (AP2) auch die anteiligen Straßenflächen in die Betrachtung mit einbeziehen, scheint es hier zu einer Verzerrung durch eine stärkere Trennung der Funktionen zu kommen. Ähnliches gilt für die Bruttogrundfläche der Gebäude (siehe Abbildung 21 mittlere Reihe) und die Restfläche (siehe Abbildung 21 untere Reihe).

5.3.2. Lagefilter

Derzeit stehen drei Filter zur Einschränkung der „prozentualen Übereinstimmung“ einer Zelle mit dem ausgewählten Profil zur Verfügung (Abbildung 22):

1. Der Energiefilter
2. Der Mobilitätsfilter
3. Der Grünraumfilter

Diese Filter können sich grundsätzlich aus statischen und dynamischen Daten zusammensetzen. Zur ersteren Gruppe zählen Daten aus (GIS-)Themenkarten, welche die räumliche Struktur beschreiben: Zum Beispiel, ob sich in einer Zelle ein Fernwärmeanschluss befindet oder nicht bzw. wie groß der Anteil einer Fernwärmeleitung gemessen an der Zelle ist. Zur zweiten Gruppe zählen Daten aus Simulationen in NetLogo, wie beispielsweise die kürzeste Entfernung einer Zelle mit bestimmten Eigenschaften zur nächstgelegenen Zelle mit einer anderen Eigenschaft. Diese dynamischen Daten wurden im finalen Modell nicht integriert, nachdem sich herausgestellt hat, dass die Potentialprofile und Filter ausreichend durch die vorhandenen statischen Daten beschrieben werden.

Abbildung 21: NetLogo Modell; oben: Durchschnittlicher Anteil an Verkehrsfläche im Zoom Level 16 (links), Zoom Level 17 (mittig) Zoom Level 18 (rechts); zweite Reihe: Durchschnittlicher Anteil an Bruttogrundfläche der Gebäude im Zoom Level 16 (links), Zoom Level 17 (mittig) Zoom Level 18 (rechts); unten: Durchschnittlicher Anteil an Restfläche (Screenshot NetLogo, eigene Darstellung).

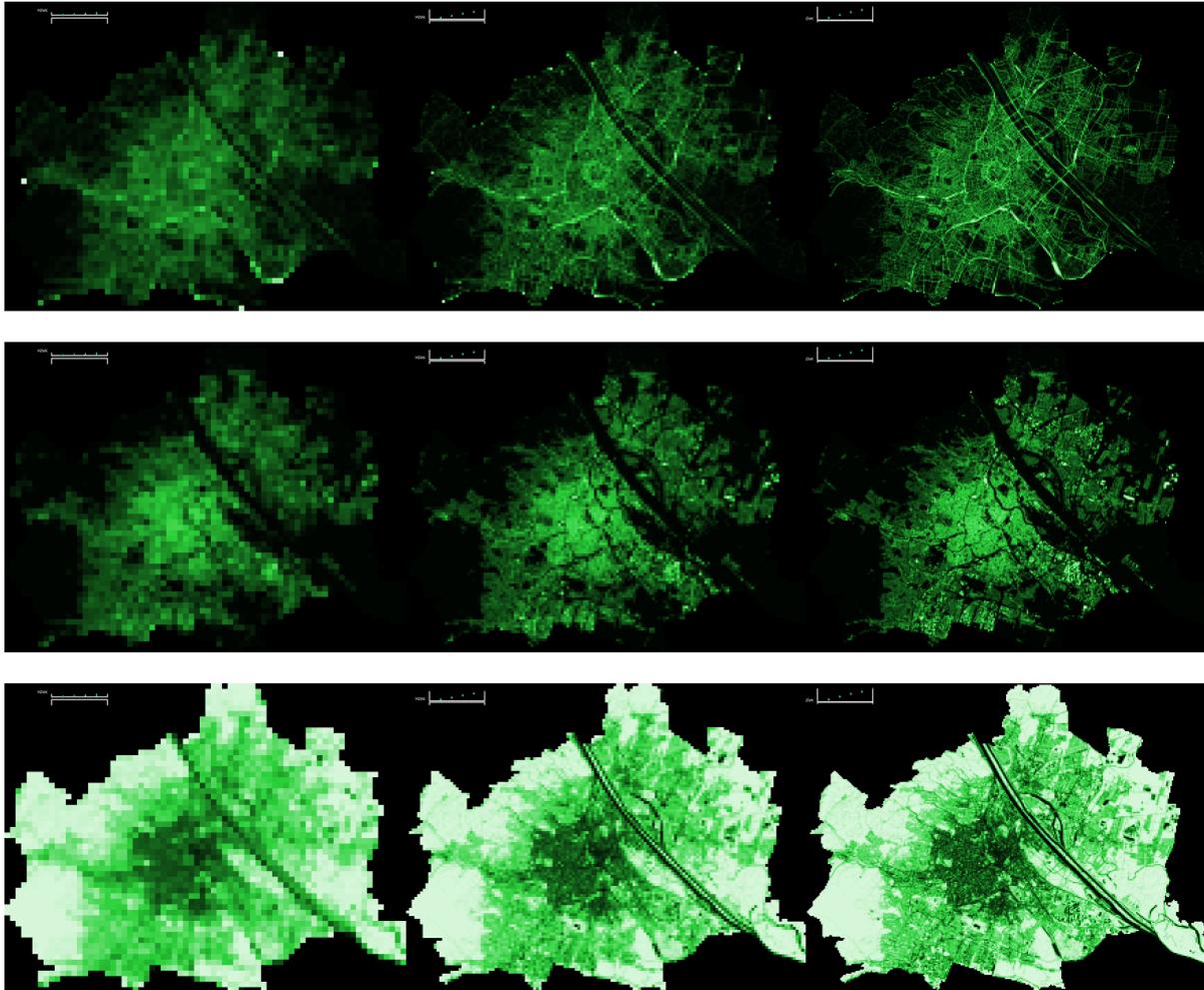
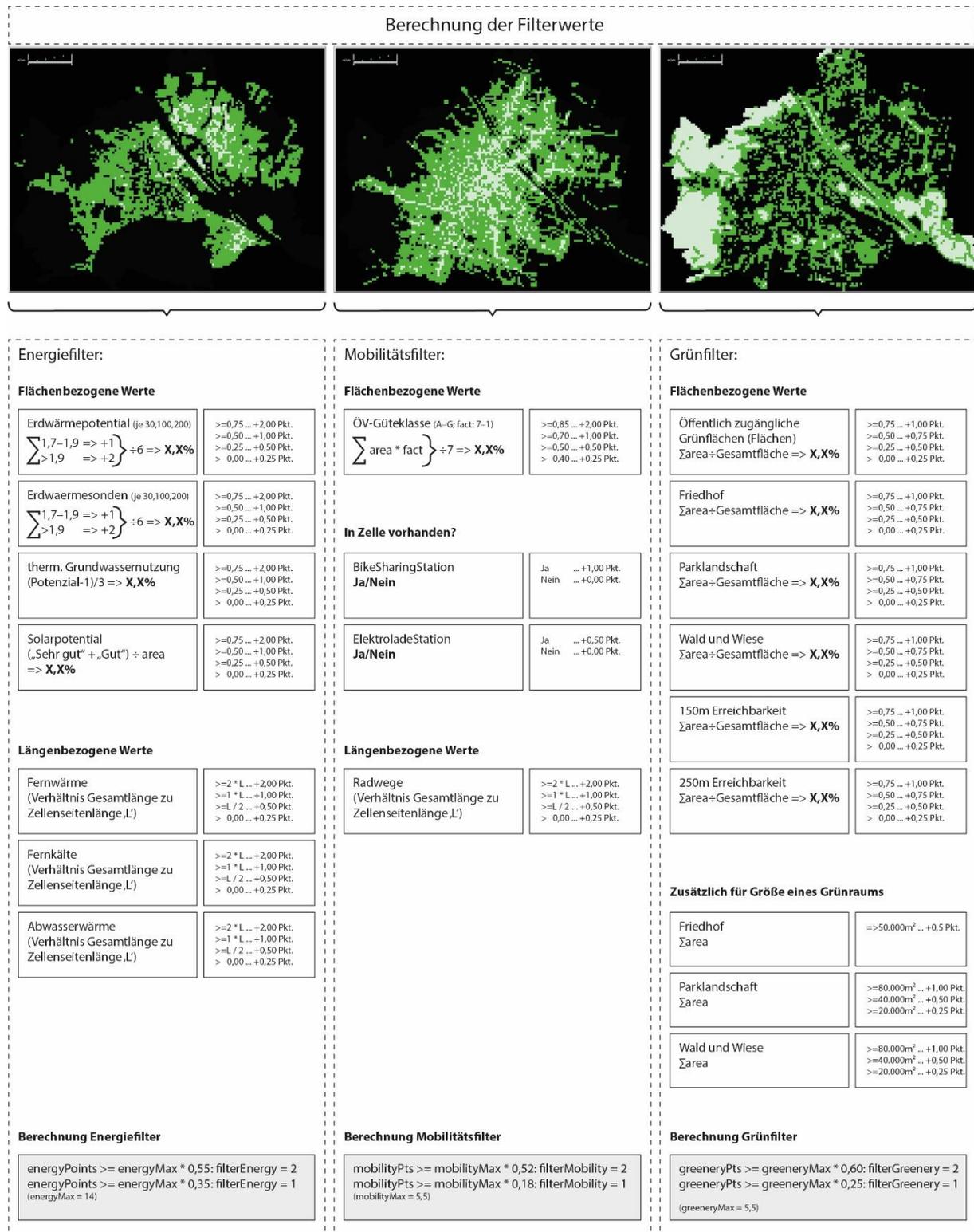


Abbildung 22: Berechnung des Energiefilters (links), des Mobilitätsfilters (mittig) und des Grünraumfilters (rechts). Grafik oben: Das dazugehörige NetLogo Modell zur Visualisierung der Intensität des Filters in drei Stufen von nicht vorhanden bis stark vorhanden (Schwarz $\hat{=}$ Stufe 0, helles Grün $\hat{=}$ Stufe 1, mittleres Grün $\hat{=}$ Stufe 2); Unten: Berechnung der Intensitäten (Screenshot QGIS, eigene Darstellung).



5.3.3. Vergleichsmethode Machine Learning

Im Zuge des Trainings des ML-Modells wurden rund 2% der Zellen (siehe Tabelle 7) erneut klassifiziert. Auf diesem Datenset aufbauend haben wir sowohl mittels Decision Trees als auch mittels Random Forests klassifiziert, wobei die Random-Forest-Methode immer akkuratere Ergebnisse (bezogen auf das Testdatenset) hervorbrachte.

Tabelle 7: Verwendete Zellen nach Klassifikation.

Bezeichnung	Anzahl	Prozent
Alle Zellen	10360	100%
Nicht klassifiziert	10149	97,96%
Klassifiziert	211	2,04%
P1	55	0,53%
P2	67	0,65%
P3	33	0,32%
P4	36	0,35%
P5	20	0,19%

Das Ergebnis der Klassifikation für die gesamte Stadt Wien wird auch in Tabelle 8 grafisch für die Random-Forests-Methode wiedergegeben und interpretiert. Von der Klassifikation her grundsätzlich richtig erfasst wurde der Bereich innerhalb des Gürtels (also PP1 – Gründerzeit), die außerhalb des Gürtels liegenden gründerzeitlichen Bereiche wurden hingegen teilweise dem PP2 und vielerorts auch dem PP3 zugeordnet.

Generell muss sich die Methode bei der Zuteilung für eine bestimmte Klasse entscheiden – was ein großer Vorteil oder aber auch ein Nachteil sein kann: Denn es gibt keine wie auch immer geartete „Güte“ des Ergebnisses (so wie beispielsweise in der Vektordistanz schon erwähnt eine Zugehörigkeit in Prozent) und es gibt keine Klasse „Sonstiges“, wenn eine Zelle gar nicht zu einem Profil passt. Daher würden wir bei einer erneuten Anwendung der Methode darauf achten, dass alle Siedlungsformen und Ausprägungen von Stadtstrukturen als Potentialprofil angelegt sind. Die Findung von geeigneten Potentialprofilen kann dabei iterativ erfolgen – in anderen Worten, die Klassen werden so lange erweitert, bis nur noch wenig falsch zugeordnete Zellen in der Klassifikation vorhanden sind.

Eine Analyse der Genauigkeit von Random Forests und Decision Trees wurde in einem Vorschritt gemacht (vgl. mit Abbildung 23): Hierbei ist zu beobachten, dass Random Forests in unserem Fall im Mittel zu 75% genau waren (Genauigkeit bis 90%, bei Verwendung einer Auswahl von 11 statt aller 18 Features). Decision Trees waren im Mittel zu 70% genau (maximale Genauigkeit 85%, bei Verwendung von 7-8 von insgesamt 18 Features). Es ist in letzterem Fall weiters zu beobachten, dass

die Anzahl an Decision Trees im Wald einen entscheidenden Einfluss auf die Bandbreite der zu erwartenden Genauigkeit hat (vgl. rechts unten in Abbildung 23) – bei 5 Bäumen ist sie zwischen 25% und knapp unter 90%, bei 25 Bäumen zwischen 55% und 90% (Vorsicht, es kann zu Overfitting kommen). Es wurde daher entschieden, die Klassifikation mit einer mittleren Baumanzahl von 15 durchzuführen.

Tabelle 8: Grafische Ansicht der Ergebnisse (Random Forest Methode).

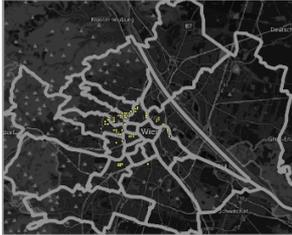
Klasse	Ground Truth	Klassifikation	Ergebnis
P1 (Gründerzeit)			Richtige Vorhersage der Bezirke innerhalb und nahe am Gürtel, wenig treffsicher in den Außenbezirken (Hernals, Ottakring)
P2 (Gemeindebauten der Zwischenkriegszeit)			Gute Vorhersage von „gemeindebauähnlichen“ Anlagen (denn es gibt nur beschränkt viele aus der Zwischenkriegszeit!)
P3 (Nachkriegs-sparsamkeit)			Massives Overmatching – es werden dieser Klasse anscheinend auch alle Einfamilienhäuser an der Peripherie zugerechnet.
P4 (Modernismus)			Gute Vorhersage im Süden (z.B. Wienerberg) und Osten (Floridsdorf, Donaustadt), schlechter im Westen (Hietzing, Hütteldorf) und Norden
P5 (Gewerbebezonen)			Sehr gute Vorhersage der Konzentration auf den Süden (Favoriten, Simmering) und Osten (Floridsdorf, Donaustadt)

Abbildung 23: Genauigkeit von Decision Trees (obere Reihe) und Random Forests (untere Reihe). Spalten vlnr: Verteilung der Genauigkeiten, Anzahl der Features vs. Genauigkeit, Baumtiefe bzw. Anzahl der Trees im Forest vs. Genauigkeit (Screenshots).



5.4. Datenvisualisierung

Zur Betrachtung der Web-App ist folgende Webseite aufzurufen: <http://128.130.179.24/>.

Der Zugang ist mit einem Passwort geschützt – die Zugangsdaten können bei stefan.bindreiter@tuwien.ac.at angefragt werden.

Visualisierungen, Berechnungen und statistische Diagramme basieren auf den Auswahlen, welche Benutzer:innen in der Web-App treffen.

Abbildung 24 zeigt die wesentlichen grafischen Elemente (wie Buttons und Auswahlmeneüs) der interaktiven Datenvisualisierung und ihre Funktionen:

- 1 Auswahl-Schaltfläche
 - 1.1 Auswahl des Potentialprofils
 - 1.2 Auswahl der Entwicklungsvariante, Bauweise und Dichte
 - 1.3 Festlegung der Lagequalitäten
 - 1.4 Link zu Impressum und Datenschutzerklärung
- 2 Kartenansicht
 - 2.1 Schaltfläche für Vollbildmodus, Hinein- und Herauszoomen
- 3 Statistikansicht
 - 3.1 Button zum Ein- und Ausklappen der Statistikansicht

Abbildung 24: M-DAB2 Interaktive Datenvisualisierung als Web-App (Screenshot).



5.4.1. Aufbau

1 Auswahl und Konfiguration

Die in Abbildung 24 unter Punkt 1 dargestellten Auswahlmöglichkeiten dienen der intuitiven Konfiguration und Filterung der Projektergebnisse. Sämtliche Darstellungen in der interaktiven Karte bzw. in den Diagrammen der Statistikansicht beziehen sich auf die aktuell getroffene Auswahl im linken Bildbereich.

- Wurde keine Auswahl getroffen, so ist die Kartensicht bis auf den semitransparenten Zellenraster und die Grundkarte leer.
- Wird ein Potentialprofil ausgewählt, zeigt die Kartendarstellung die „Ähnlichkeit“ der jeweiligen Zelle zum ausgewählten Profil. Potentiale werden anhand dieser Ähnlichkeit gewichtet.
- Wird eine Entwicklungsvariante ausgewählt, werden die Flächen- bzw. Volumspotentiale für diese Entwicklungsvariante verortet. Die Parameter „Bauweise“ und „Dichte“ beziehen sich auf diese Entwicklungsvariante und verändern die aggregierten Ergebnisse in der Kartenansicht und in den statistischen Auswertungen.
- Die Lagefilter dienen der Filterung der Ergebnisse anhand der in Abschnitt 5.3.2 beschriebenen Kriterien.

2 Interaktive Kartendarstellung

Als zentrales Darstellungsmittel dient die Kartenansicht zur Orientierung und Visualisierung von Datenbankabfragen oder Berechnungsergebnissen, die als Folge der getroffenen Auswahl zustande kommen. In Abschnitt 5.4.2 *Funktionen* sind einige Abbildungen enthalten, die exemplarisch die Visualisierungsmöglichkeiten der Kartenansicht darstellen.

3 Statistik und Auswertungen

Neben der räumlichen Betrachtungsmöglichkeit der interaktiven Karte werden in der Web-App auch Statistiken zur aktuellen Auswahl ausgegeben. Sie geben Aufschluss über die Verteilung und die Ausprägung ausgewählter Rasterzellen, Nutzungen oder Materialdaten und bieten vorberechnete Informationen zu Umweltindikatoren und Kosten, welche unter Betrachtung der Auswahl anfallen (siehe Abschnitt 5.5 *Flächenpotentiale, Materialmengen und Umweltindikatoren*).

Kontextbezogene Hilfeseiten

Neben jeder Auswahlmöglichkeit ist ein kleiner Infobutton versteckt, der zur jeweiligen Darstellung die wesentlichsten Informationen kurz und prägnant zusammenfasst, sodass die Nutzer:innen eine Interpretationshilfe der dargestellten Ergebnisse erhalten.

5.4.2. Funktionen

Potentialprofile und Entwicklungsvarianten

Abbildung 25 zeigt beispielhaft die Verortung aller Rasterzellen in Wien, mit Potentialen von mind. 1.000 m² BGF für die Entwicklungsvariante „Zubau (inkl. DGA)“. Der Dichteparameter ist auf „moderat“ eingestellt, was bedeutet, dass die bestehenden Bebauungsbedingungen (Daten siehe Anhang 9.5.1 und Anhang 9.5.2) ausgereizt, aber nicht überschritten werden.

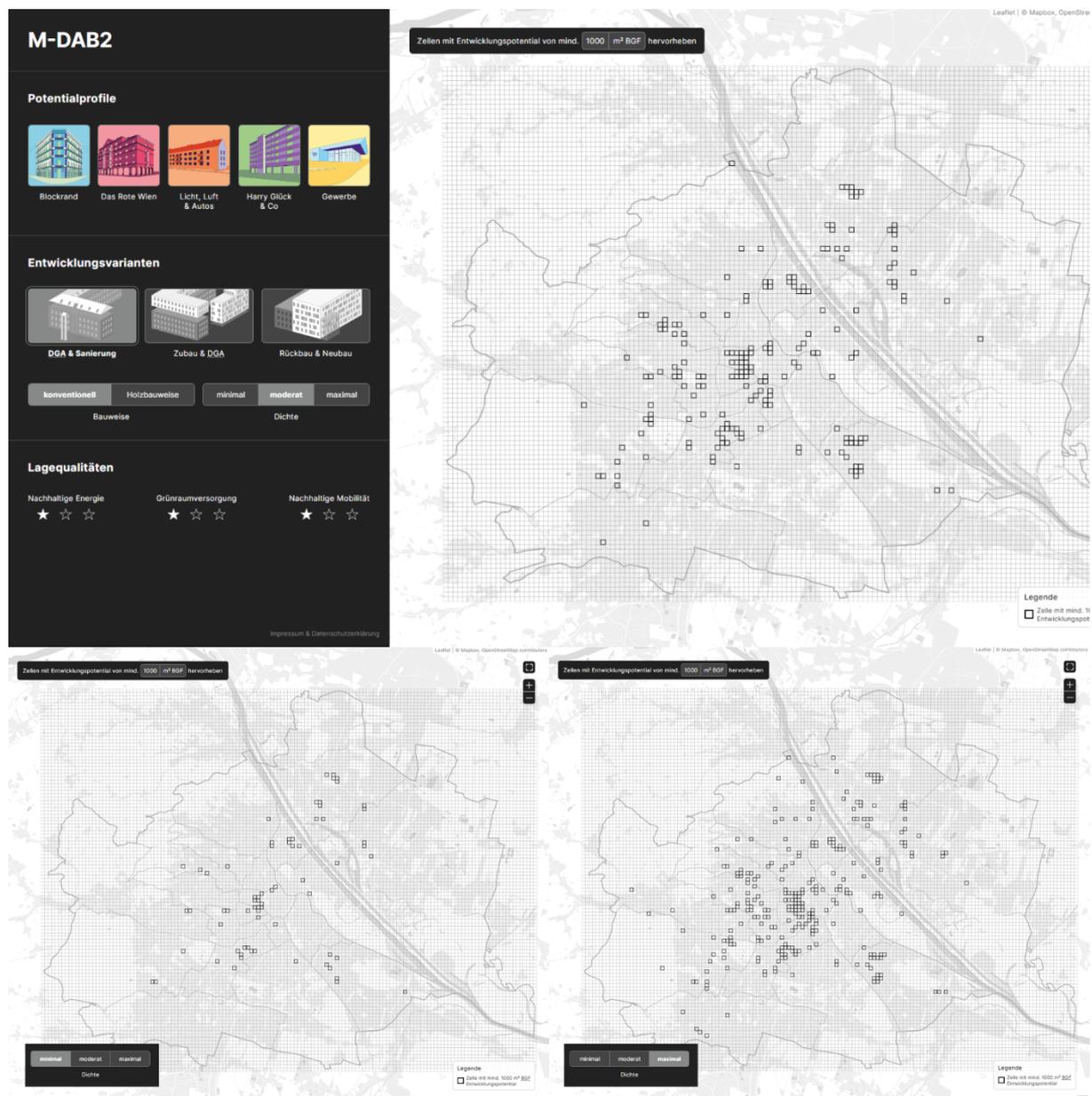
Abbildung 25: Verteilung von Rasterzellen mit Flächenpotentialen der Entwicklungsvariante „Zubau & DGA“ von mind. 1.000 m² BGF (Screenshot oben, bzw. Screenshot Ausschnitte PP1-PP5 unten).



Entwicklungspotentiale, Bauweise und Dichte

Bei der Konfiguration der Entwicklungsvariante lassen sich grundsätzlich zwei unterschiedliche Bauweisen („konventionell“ und „Holzbauweise“) unterscheiden. Die progressive, modulare Holzbauweise wurde bereits in Abschnitt 4.3 *Entwicklungsvarianten* erläutert. Die konventionelle Bauweise basiert auf dem Materialmix für Neubauten aus dem Vorgängerprojekt M-DAB (vgl. Bindreiter et al., 2021: S. 50f). Während sich der Parameter „Bauweise“ nur beim Materialmix und somit in den Statistikauswertungen bei den Umweltwirkungen und den Kosten auswirkt, hat der Parameter „Dichte“ deutliche Auswirkungen auf die theoretisch verfügbaren Potentialflächen und -volumen des gewählten Entwicklungsszenarios. Abbildung 26 zeigt die Verortung von Flächenpotentialen größer als 1.000 m² BGF für Dachgeschoßausbauten für unterschiedliche Bebauungsdichten (vgl. Abschnitt *Dichte* in 4.5.4).

Abbildung 26: Verteilung von Rasterzellen mit Flächenpotentialen der Entwicklungsvariante „DGA & Sanierung“ von mind. 1.000 m² BGF bei „moderater“ Dichte (Screenshot oben), bzw. „minimaler Dichte“ (links unten) und „maximaler Dichte“ (rechts unten).



Lagequalitäten

Die Auswahl der Lagequalitäten setzt sich aus drei Kriterien zusammen: (1) Dem Potential für die Versorgung mit lokalen, nachhaltigen Energiequellen, (2) der Versorgung mit qualitativem Grünraum und (3) der Erreichbarkeit nachhaltiger Verkehrsmittel.

Die Auswahl und Kombination der drei Kriterienwertungen hat den Effekt eines Datenfilters: In der Kartenansicht werden ausschließlich Rasterzellen angezeigt, welche den jeweils dreistufigen Mindestwertungen entsprechen. Beispielsweise werden bei einer Auswahl von zwei Sternen in jeder Kategorie ausschließlich Rasterzellen angezeigt, welche eine Lagequalität von mindestens zwei Sternen in jeder Kategorie aufweisen. Dasselbe Prinzip gilt auch für statistische Daten: Nur Daten mit mindestens der Auswahl entsprechenden Lagequalitäten werden aggregiert (siehe Abbildung 27).

Abbildung 27: „Ungefilterte“ Verteilung von Rasterzellen mit Flächenpotentialen der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ von mind. 1.000 m² BGF bei „moderater“ Dichte (Screenshot oben), bzw. „gefiltert“ (mit jeweils drei Sternen) nach Lagekriterien „Nachhaltige Energie“, „Grünraumversorgung“, „Nachhaltige Mobilität“ (unten vlnr).



5.4.3. Datengrundlagen und Limitationen

Die vorliegende Datenvisualisierung greift auf eine Postgres Datenbank (PostgreSQL-Version 11.20, PostGIS-Plugin-Version 3.3) mit Datenquellen aus Open Government Data (data.gv.at) und der Datenbank des Vorgängerprojekts M-DAB zu. Details sind im Data Management Plan (DMP) im Anhang 9.2 zu finden.

Die verwendeten Daten werden für die Darstellung auf die Rasterzellen aggregiert. Die zellbasierten Daten werden aus dem NetLogo-System via CSV-Dateien in die Postgresql-Datenbank eingespielt. Das Zusammenfügen der Daten auf Rasterzellen wurde in Abschnitt 4.5 *Digitale Methoden* ausführlich beschrieben. Aus der material- und umweltbezogenen Bewertung bilden die Umweltwirkungen des Materialoutputs und die Umweltwirkungen von Input- und Outputmaterial die Grundlage für die umweltbezogenen Berechnungen innerhalb der Visualisierung.

Als Grundkarte (Basemap) für die Kartenansicht werden Mapbox Static Tiles mit OpenStreetMap als Datengrundlage verwendet. Optimiert ist die Web-App zur Betrachtung auf einem horizontal ausgerichteten Bildschirm ab einer Größe von 1280×720 Pixeln. Bestandteile der Benutzeroberfläche werden bei größeren Bildschirmen horizontal skaliert. Entwickelt und getestet wurde die Web-App für die Browser Mozilla Firefox (Version 119) und Google Chrome (Version 118). Die Skalierung der Web-App ist nicht für Mobilgeräte oder kleine Bildschirme geeignet.

5.5. Flächenpotentiale, Materialmengen und Umweltindikatoren

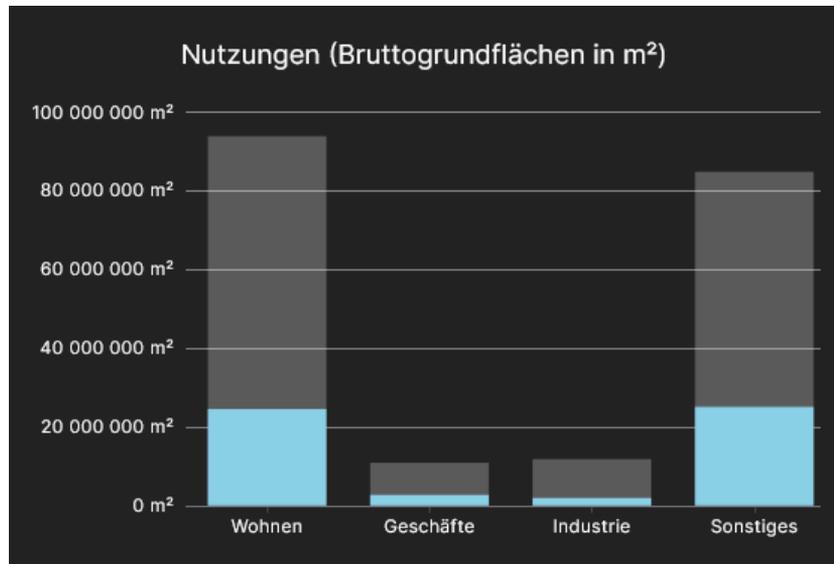
Neben der Verortung räumlicher Qualitäten, der kumulierten Ergebnisse zu Flächenpotentialen (siehe Abschnitt 4.5.4) und Materialmengen in der interaktiven Karte werden in der Web-App auch Statistiken zur aktuellen Auswahl ausgegeben. Sie geben Aufschluss über die Verteilung und Ausprägung ausgewählter Rasterzellen, Nutzungen oder Materialdaten und bieten vorberechnete Informationen zu Umweltindikatoren und Kosten, welche unter Betrachtung der entsprechenden Auswahl anfallen. Nachfolgend sind exemplarisch einige Auswertungen und Statistiken aufgeführt, die in der Web-App betrachtet werden können. Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich die abgebildeten Statistiken auf das Potentialprofil „Blockrand“ mit der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“.

5.5.1. Bestandsdaten im Stadtmodell

Bruttogeschossflächen bzw. Bruttorauminhalte

In der Statistik für die Nutzungen werden die Flächen auf gesamtstädtischer oder auf Rasterzellen-Ebene in vier verschiedenen Kategorien dargestellt: „Wohnen“ (Wohn- und Mischnutzung mit Schwerpunkt Wohnen), „Geschäfte“ (Geschäfts-, Kern- und Mischnutzung mit Schwerpunkt auf betrieblicher Tätigkeit), „Industrie“ (Industrie, produzierendes Gewerbe, Großhandel inkl. Lager) und „Sonstiges“ (alle anderen Nutzungen). Daten zum selektierten Potentialprofil werden in der jeweiligen Potentialprofilfarbe angezeigt (siehe Abbildung 28).

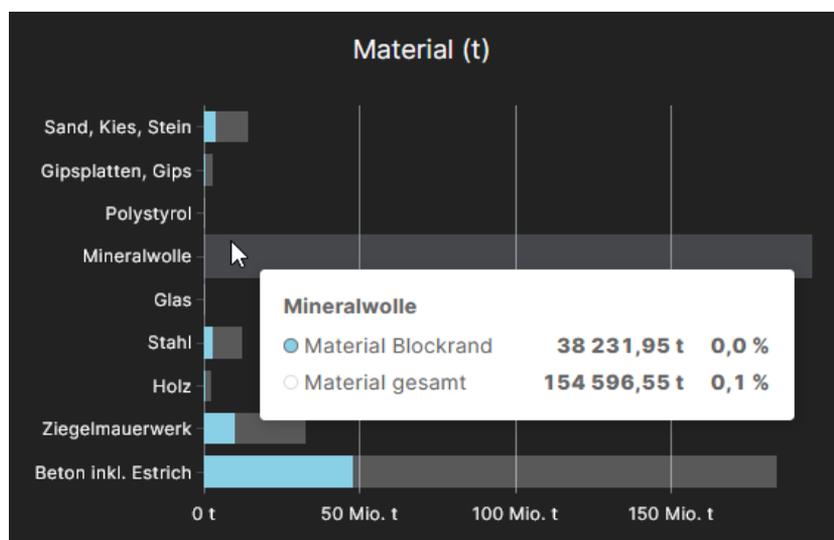
Abbildung 28: Gebäudenutzungsstatistik für ganz Wien mit ausgewähltem Potentialprofil „Blockrand“ (Screenshot).



Material

Die Materialität der Gesamtstadt bzw. der ausgewählten Rasterzelle wird in neun Gruppen unterteilt und in Tonnen [t] ausgegeben. Nach der Auswahl einer Rasterzelle zeigt die Statistik ausschließlich Materialmengen für Gebäude auf der jeweiligen Rasterzelle an, ansonsten beziehen sich die Mengenangaben auf ganz Wien. Anteile der gesamtstädtischen Materialmenge, die mit dem jeweils ausgewählten Potentialprofil übereinstimmen, werden in der jeweiligen Potentialprofilfarbe hervorgehoben (siehe Abbildung 29). Im Tooltip erscheinen für die jeweiligen Materialien genaue Informationen zu den Mengen und den Prozentanteilen an der Gesamtmenge. Während die obere Zeile des Tooltips spezifische Daten zum Potentialprofil anzeigt, bezieht sich die untere Zeile auf die Materialmengen von allen in der zugrundeliegenden Datenbank vorhandenen Gebäuden Wiens.

Abbildung 29: Materialstatistik (Bestand) für ganz Wien mit ausgewähltem Potentialprofil „Blockrand“ (Screenshot).



5.5.2. Flächen- und Volumenpotentiale je Auswahl

Wird eine Entwicklungsvariante ausgewählt, kann über die interaktive Kartendarstellung lokalisiert werden, wo sich die Flächen- bzw. Volumenpotentiale in Wien befinden. Abbildung 30 zeigt die Gegenüberstellung der lokalisierten Bruttogeschoßflächenpotentiale für die Entwicklungsvariante „Dachgeschoßausbau & Sanierung“ unter aktuellen Bebauungsvorschriften. Links in der Abbildung sind alle Rasterzellen mit mind. 500 m² BGF verortet und rechts all jene mit mind. 500 m² BGF, in denen das Stadtgebiet räumlichen Qualitäten analog zum Potentialprofil 1 („Blockrand“) aufweist.

Nach der Auswahl einer Entwicklungsvariante wird die Statistik zu Bruttogrundflächen, die im Zuge der Entwicklung entstehen können, in drei Kategorien als Säulendiagramm angezeigt. (1) „Neubau“ beschreibt sämtliche neu errichteten Flächen in Vollgeschoßen, exklusive Dachgeschoßflächen, (2) „Dachgeschoß“, ausschließlich kumulierte Dachgeschoßflächen und (3) „Rückbau“, die Gesamtheit aller Bruttogrundflächen innerhalb von Gebäuden, die durch die Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ wegfallen. In Abbildung 30 beziehen sich die Potentiale der Entwicklungsvariante „Dachgeschoßausbau & Sanierung“ nur auf jene Flächen, welche im Zuge von Dachgeschoßausbauten „dazugewonnen“ werden können.

Abbildung 30: Verortung von Flächenpotentialen von mind. 500 m² Bruttogeschoßfläche für Dachgeschoßausbauten, links: Alle Rasterzellen mit mind. 500 m² BGF, rechts: Alle Rasterzellen mit mind. 500 m² BGF mit räumlichen Qualitäten analog zu PP1 (Screenshot).



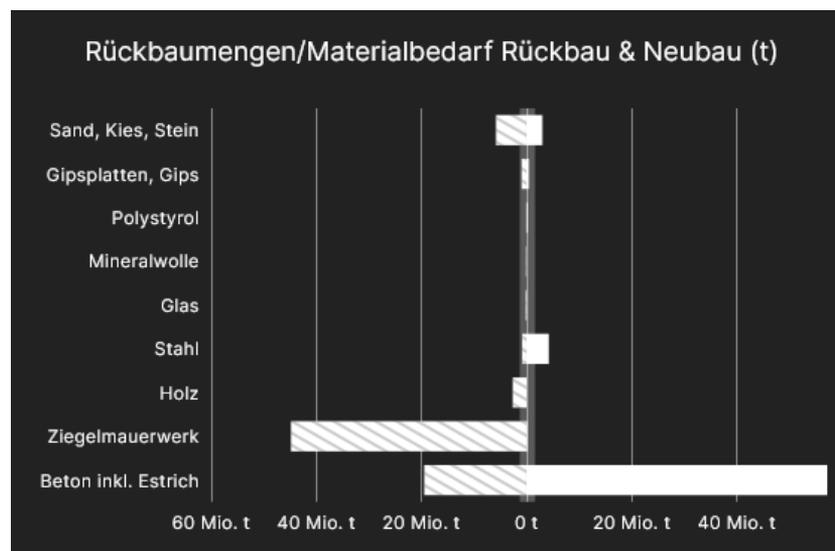
Analog zur Statistik der Bruttogrundflächen werden durch die ausgewählte Entwicklungsvariante anfallende Neu- und Rückbaufächen kategorisiert in m³ Bruttorauminhalt dargestellt.

5.5.3. Materialbedarf bzw. Rückbaumaterialien

Die Materialität der Gesamtstadt bzw. der ausgewählten Rasterzelle wird in neun Gruppen unterteilt und in Tonnen [t] ausgegeben. Nach Auswahl einer Rasterzelle zeigt die Statistik ausschließlich Materialmengen für Gebäude auf der jeweiligen Rasterzelle an, ansonsten beziehen sich die Mengenangaben auf ganz Wien. Anteile der gesamtstädtischen Materialmenge, die mit dem jeweils ausgewählten Potentialprofil übereinstimmen, werden in der jeweiligen Potentialprofilfarbe hervorgehoben.

In der Rückbaumengen/Materialbedarf-Statistik (siehe Abbildung 31) werden die Rückbaumassen von neun Materialgruppen dem Materialbedarf gegenübergestellt: Links der Nulllinie sind die Rückbaumengen als schraffierte Balken dargestellt und rechts die neue Materialmenge, welche bei der ausgewählten Entwicklungsvariante für neue Bauteile benötigt wird. Befindet sich der Mauszeiger über einem Datenbalken, erscheint ein Tooltip mit der Angabe genauer Rückbau- und Materialbedarfswerte in Tonnen.

Abbildung 31: Statistik zu Rückbaumengen und Materialbedarf bei der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ (Screenshot).



5.5.4. Umweltindikatoren und Kosten

Je nach Auswahl werden sechs Umweltindikatoren ausgegeben. Abbildung 32 zeigt dazu die Auswertung der LCA (siehe auch Abschnitt 4.4 *Material und Umweltbezogene Bewertung*). Die Datengrundlage bilden in diesem Beispiel sämtliche Rückbaumaterialien, die anfallen würden, wenn alle Gebäude in der räumlichen Situation PP1 „Blockrand“ rückgebaut werden würden.

Abbildung 32: Umweltindikatoren-Tabelle für die Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ (Screenshot).

Umweltindikatoren Rückbau & Neubau		
Basis: Rückbaumaterialien, die bei Rückbau & Neubau anfallen.		
Indikatoren [†]	Wert	Einheit
Total nicht erneuerbare Primärenergie	12 856 955 398,4	MJ
Globales Erwärmungspotenzial	1 012 373 969,2	‡kg CO ₂ -Äq.
Versauerungspotenzial	31 696 134,3	mol H ⁺ -Äq.
Potential für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	13 206 705,6	kg Sb-Äq.
Ökotoxizität	782 527 570,9	CTUe
Landnutzung	29 576 867	m ² ·a Ernte-Äq.

[†]Betrachtung von: Abbruch (C1), Transport (C2), der Abfallbehandlung (C3) und der Beseitigung (C4) nach EN 15978
[‡]Das entspricht dem CO₂-Ausstoß eines PKWs mit Verbrennungsmotor bei einer Wegstrecke von 7 996 634 828 km.

Wie bei der Anzeige der Umweltindikatoren werden je nach Auswahl des Potentialprofils, der Entwicklungsvariante, der Dichte und der Lagequalitäten die minimalen und maximalen Kosten für die ausgewählte Entwicklungsvariante ausgegeben (siehe Abbildung 33), wobei zwischen Errichtungs- und Rückbaukosten (die nur in der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ anfallen) unterschieden wird. Beim Klicken auf eine Rasterzelle werden die kumulierten Werte der Umweltindikatoren bzw. die Entwicklungskosten nur für Gebäude auf der ausgewählten Rasterzelle statt auf der gesamtstädtischen Ebene angezeigt.

Abbildung 33: Tabelle zu Mindest- und Maximalkosten der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ – Basis Potentialprofil 1, ganz Wien (Screenshot).

Kosten Rückbau & Neubau		
Position	min. €	max. €
Errichtung	116 086 299 600	122 071 919 961
Rückbau	4 759 077 358	5 711 781 823

5.6. Die M-DAB Projekte im „Stadt der Zukunft“ Programm

Die Anknüpfungspunkte des M-DAB2 Projekts an die Programmziele des „Stadt der Zukunft“-Programms sind vielfältig, da das Projekt sowohl auf Ebene der Grundlagenforschung (Materialzusammensetzung des Gebäudebestands, Datenschnittstellen) als auch auf anwendungsorientierter Ebene (Prozesse, Schnittstellen, Tool-Entwicklung) Beiträge zu den Programmzielen leistet und damit den angestrebten Transformationsprozess in Richtung einer nachhaltig ausgerichteten, zukunftsfähigen Stadt unterstützt. Tabelle 9 stellt die Ziele des „Stadt der Zukunft“-Programms den Handlungsfeldern und Wirkungen des Projekts M-DAB2 gegenüber. Die im Projekt geschaffenen Ergebnisse beziehen sich primär auf den Ausschreibungsschwerpunkt 1 „Digitales Planen, Bauen und Betreiben“ und das Subthema 1.2 „Systemintegration und -kombination von Digitalem Planen, Bauen und Betreiben“.

Tabelle 9: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands und der Forschungsfragen zum Vorgängerprojekt M-DAB.

Programmziele (nach Ausschreibungsleitfaden 8. Ausschreibung)	
Ziel 1: Beitrag zur Entwicklung resilienter und klimaneutraler Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität	M-DAB2 hilft durch die Verbesserung des Wissens über die Materialzusammensetzung des Wiener Gebäudebestandes schon frühzeitig (in der strategischen Planung) zu erkennen, wo (und wie viel) Potential für Recycling bzw. Bedarf für die Reststoffverwertung bei der Transformation der Stadt durch Bauvorhaben entsteht. Die Entwicklung von Grundlagen und Tools für evidenzbasiertes Planen und Entscheiden bietet die Möglichkeit für die Auswirkung verschiedener baulicher Entwicklungsvarianten in unterschiedlichen städtebaulichen Raumsituationen abzuschätzen und so Materialmengen und materialbezogene Umweltwirkungen zu ermitteln.
Ziel 2: Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz	Die bei der Entwicklung der methodischen Grundlagen und Tools gewonnenen Erkenntnisse helfen dabei, strategische städtische Planungsprozesse hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen, bezogen auf die in den Gebäuden gebundenen Materialressourcen, zu sensibilisieren. Damit ergeben sich durch die Projektarbeit und die Projektergebnisse mittel- und langfristig positive Auswirkungen auf eine Ressourcen- und Energieeffizienz durch die Einsparung von Primärressourcen und die Erhöhung von Recyclingquoten.
Ziel 3: Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem	Der Austausch zwischen Akteurinnen und Akteure der Stadtverwaltung, der Forschung und der Bau- und Abfallwirtschaft im Zuge der Projektdurchführung unterstützt Unternehmen und die öffentliche Administration bei der Entwicklung innovativer Dienstleistungen, Produkte und Prozesse. Dadurch werden Bestrebungen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz durch die Reduzierung von Baurestmassen und

Gebiet intelligenter Energielösungen für Gebäude und Städte	Primärressourcen bzw. zur Transformation in Richtung Kreislaufwirtschaft gestärkt und das spezifische Knowhow und Wissen verbessert.
---	--

Somit unterstützt das M-DAB2 Projekt auch die nationalen Bestrebungen zur Energieforschung und die damit verbundenen strategischen Ziele (vgl. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/ziele-inhalte/>):

- Nachhaltiges Energiesystem
- Reduktion der Klimawirkung
- Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit
- Erhöhung der F&E-Qualität

Vor allem zur Reduktion der Klimawirkung bietet das Projekt Grundlagenforschung (Wissen um Materialmengen und Qualitäten im Gebäudebestand Wiens) zur Sensibilisierung von Planungsprozessen hinsichtlich ihrer Materialintensität und materialbezogenen Umweltwirkungen. Die entwickelten Methoden und die interaktive Datenvisualisierung zeigen zudem Möglichkeiten auf, wie Szenarien und Policies getestet und simuliert werden können, was einen wertvollen Beitrag für die Grundlage evidenzbasierten Entscheidens liefert.

Das Projekt folgt dabei auch den Leitlinien des Ausschreibungsschwerpunkts „Digitales Planen, Bauen und Betreiben“, wonach die Digitalisierung entlang des Lebenszyklus von Gebäuden – von der strategischen Planung bis hin zum Abriss und zum Recycling – vorangetrieben werden soll und die anwendungsnahe Forschung strategische Entscheidungsprozesse der Stadtentwicklung unterstützen soll, um frühzeitig Umweltwirkungen auf Basis von eingesetzten und freiwerdenden Materialmengen in Bauprozessen abschätzen zu können.

6 Schlussfolgerungen

Wie bereits in Kapitel 5 ausführlich dargestellt, konnten alle Projektziele erreicht werden. Dabei ist die Entwicklung der Methode zur Abschätzung der Materialintensität unterschiedlicher Szenarien der Innenentwicklung (-> Entwicklungsvarianten) und Qualifizierung von Innenentwicklungspotentialen (-> Potentialprofile + Entwicklungsvarianten) der erstmalige Versuch auch qualitative und räumliche Kriterien bei der Quantifizierung von Materialressourcen in die Betrachtung mit einzubeziehen.

6.1. Erkenntnisse des Projektteams

Der intensive Methodenmix aus qualitativen und quantitativen Methoden, war für die beteiligten Forscher:innen und Projektpartner:innen eine große Herausforderung, da es von allen eine hohe Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit, zu abstraktem Denken und zur individuellen Weiterbildung in anderen Fachrichtungen erforderte.

Das rasterbasierte Datenkonzept war dabei für die Methodenentwicklung und auch für den Datenaustausch und das interdisziplinäre Zusammenarbeiten mit unterschiedlicher Software und Werkzeugen sehr geeignet. Anhand der Attribute und Indikatoren, die durch qualitative und quantitative Analysen konkreter Potentialflächen (Potentialprototypen inkl. Entwicklungsvarianten) in Potentialprofile überführt werden, können mit digitalen Methoden ähnliche Potentiale in der Stadt automatisiert lokalisiert und quantifiziert werden. Die Zuordnung der räumlichen Eigenschaften zur jeweiligen Rasterzelle und die Gewichtung der unterschiedlichen Parameter war eine der Schlüsselherausforderungen im laufenden Projekt.

Die Datenvisualisierung als Kommunikationshilfe: Mithilfe der interaktiven Visualisierung, sowohl frühzeitig im Entwicklungstool NetLogo als auch in den zahlreichen Mockups und der finalen webbasierten Datenvisualisierung war für die Projektzusammenarbeit im interdisziplinären Team von außerordentlicher Bedeutung. Dies gilt sowohl für die projektinterne Kommunikation als auch in den Workshops mit Stakeholdern und externen Expertinnen und Experten. Durch die Visualisierung können diese Daten und Potentiale anhand unterschiedlicher Filter- und Gewichtungskriterien sichtbar gemacht werden, wobei die Ergebnisse auch unter dem Aspekt der unterschiedlichen Sichtweisen der Nutzer:innen-Zielgruppen dargestellt und untersucht werden können. Dabei wurden bewusst keine zielgruppenspezifischen Use-Cases umgesetzt, um die Ergebnisdaten zielgruppenunabhängig und möglichst neutral darstellen zu können.

Eine große Herausforderung stellte die verständliche Darstellung der großen Datenmengen dar, da die Skalengrößen (von Materialmengen, Umweltindikatoren und Potentialflächen) auf gesamtstädtischer Betrachtungsebene nicht mehr intuitiv nachvollziehbar sind. Somit kann als Verbesserungspotential bzw. Entwicklungsbedarf die Darstellung und Kommunikation der Ergebnisse – insbesondere für die Lesbarkeit und Interpretation der Umweltwirkungen für „Laien“ – identifiziert werden. Die Umsetzung und Darstellung der Ergebnisse durch Referenz- und Vergleichsgrößen, wie etwa Personenäquivalente kann hier eine mögliche Lösung des Problems darstellen. Ebenso war die Namenswahl der Potentialprofile anfänglich nicht konsistent: So sorgten die epochenbezogenen Kennzeichnungen (z.B. „Gründerzeit“ oder „Zwischenkriegszeit“) gemischt mit einer

Nutzungsbeschreibung („Gewerbe“) anfänglich für Verwirrung. Infolgedessen sollten die Beschreibungen der „qualitativen“ Raumsituationen schließlich unabhängig von der Errichtungsperiode erfolgen. Die Umbenennung der Potentialprofile erfolgte relativ spät im Projekt.

Die rasterweise Betrachtung führt automatisch zu einer Unschärfe bei der Profilverordnung, nachdem es aufgrund der gewählten Zellgröße von ca. 204x204 m keine „reinen“ Zellen gibt, die nur einem Profil zuzuordnen sind. Somit bewegt sich jede Zelle in einer gewissen Bandbreite und kann Ähnlichkeiten zu mehreren Potentialprofilen aufweisen. Hier zeigt sich eine Schwäche des Machine-Learning-Ansatzes, der für jede Zelle definitiv ein Ergebnis liefert (die Zuordnung der Zelle zu genau einem PP). Vergleichend wäre hier ein Ansatz hochinteressant, bei dem die räumliche Clusterung nicht auf Rasterzelle, sondern auf „Baublockebene“ erfolgen würde.

6.2. Relevanz für Zielgruppen

Das Projekt M-DAB2 im Förderinstrument Kooperative F&E-Projekte „Industrielle Forschung“ hat noch nicht den Anspruch, ein marktreifes Produkt zu erzeugen. Dennoch wurde im Zuge der Projektbearbeitung in mehreren Workshops mit Stakeholdern der Stadtplanung und der Immobilienentwicklung der laufende Projektfortschritt, die entwickelten Methoden und auch die Relevanz der Projektergebnisse für die jeweiligen Zielgruppen diskutiert. Gerade im Bereich der „Gebrauchstauglichkeit“ der Datenvisualisierung stellte sich heraus, dass die Lagefilter von hohem Interesse (und Nutzen) sind. Deshalb wurde in weiterer Folge mehr Fokus auf deren Zusammensetzung unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Daten der Stadt Wien gelegt (etwa durch Treffen mit Expertinnen und Experten in Nachhaltiger Energie). Im Zuge der Workshops wurden mehrfach die Funktionen eines „Profilkonfigurators“ und/oder eines „Filterkonfigurators“ nachgefragt und diskutiert. Mit diesen könnten in weiterer Folge zielgruppenspezifische Kriterien zusammengestellt werden, was wiederum in einem marktreifen Produkt umgesetzt werden könnte. Dies ist aber nicht mehr Teil des Forschungsprojekts. Für die Umsetzung eines marktreifen Werkzeugs ist die im Projekt erstellte Datenvisualisierung klarerweise nicht geeignet, da die Auswertungen zielgruppenspezifisch angepasst werden müssten. Ebenso fehlen eine Benutzerverwaltung und die regelmäßige Aktualisierung und Validierung der Grundlagendaten.

Zudem ist das im Projekt gewählte Aggregationslevel für Daten in der visuellen Auswertung für Daten für Projektentwickler:innen nicht detailliert genug. Diese erwarten grundstücksgenaue Auswertungen, die im Projekt keine Berücksichtigung finden. Somit bieten die Auswertungen in einem ca. 204x204 m-Raster unmittelbar noch wenig Mehrwert für diese Zielgruppe. Die Auswertung der Potentialflächen in einer feineren Skalierung wäre aus Sicht der Projektentwickler:innen wünschenswert. In M-DAB2 wurde aufgrund der (noch) nicht ausreichenden Datengrundlage darauf verzichtet, da damit auf Gebäude oder Baublockebene eine Scheingenauigkeit in der Auswertung suggeriert werden würde. Daher können klassische Projektentwickler:innen von diesem Tool (noch) nicht unmittelbar profitieren. Sind diese (Daten-)Lücken einmal gefüllt, ermöglicht die präsentierte Methode Immobilienentwickler:innen, bereits in der Planungsphase Einsparungspotentiale beim Einsatz von Ressourcen möglichst ganzheitlich zu erfassen, um daraus nachhaltige Konzepte für die Planung, Produktion und Errichtung abzuleiten.

Für Anwendungen im Bereich des Städtebaus, der Quartiersplanung und der regionalen Planung bietet die Datenlage jedoch ausreichende Qualität, um Rückschlüsse für Planungs- und Entscheidungsprozesse zu geben. Mögliche Zielgruppen sind somit Akteurinnen und Akteure der strategischen städtischen Planung (Architektur- und Planungsbüros, Magistrate und Behörden). Aber auch Akteurinnen und Akteure im Bereich der Raumforschung und Sozialgeografie könnten in Betracht gezogen werden.

Für eine wirtschaftliche Verwertung sind die Fragen des Geschäftsmodells zu klären. Hier bieten sich üblicherweise Modelle zur Einzelabfrage mit Einzelzahlung oder Abo-Modelle an. Da es sich im Projekt um eine industrielle Forschung handelt, wurden diese Themen bisher nicht behandelt. Eine wirtschaftliche Verwertung ist mittelfristig nur dann möglich, wenn man effiziente Wege findet, die Datenverfügbarkeit und Qualität zu erhöhen (auf der die Hochrechnungen beruhen), sowie zielgruppenspezifische Filter- und Bewertungsmodelle modular einbinden zu können.

Das positive Feedback bei den Workshops durch die Teilnehmer:innen und der Austausch mit unterschiedlichsten Stakeholdern der Stadtplanung und Bauwirtschaft bei diversen Veranstaltungen und Projektpräsentationen zeigt die hohe Dringlichkeit wirksamer Entscheidungshilfen und Werkzeuge für die strategische Planung und das Management von Ressourcen und Rohstoffen in der Stadtentwicklung und Bauwirtschaft. Mit der entwickelten und getesteten Methodik in Projekt M-DAB2 wird ein weiterer Baustein geschaffen, der eine ressourcenschonende Planung auf Gebäude- bzw. auf Grundstücksebene mit Prinzipien der nachhaltigen Siedlungsentwicklung verbindet und somit einen wichtigen Beitrag für den Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Stadt im Sinne der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen leistet.

6.3. Bisherige Verwertung, Anwendungs- und Marktpotentiale

Bereits im Juli 2022 erfolgte eine allgemeine Projektvorstellung vor wissenschaftlichem Publikum (Bindreiter et al., 2022) mit anschließender Methodendiskussion im Zuge der AESOP-Konferenz in Tartu, Estland (07/2022). Die Dissemination der Methode und Ergebnisse des AP5 erfolgte bei zwei Posterpräsentationen auf einschlägigen Konferenzen. Zum einen auf dem „Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design“ (SimAUD) am Mohawk College in Hamilton, Ontario, Canada (23.-26.05.2023) und zum anderen auf der „Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe“ (eCAADe) Konferenz an der TU Graz (20.-23.09.2023). Darüber hinaus erfolgte im Juli 2023 eine Vorstellung der quantitativen Analyse- und Klassifizierungsmethoden, welche in AP5 und AP6 zur Anwendung kommen, vor wissenschaftlichem Publikum (Bindreiter et al., 2023) mit anschließender Methodendiskussion im Zuge der AESOP-Konferenz in Lodz, Polen (07/2023). Eine vertiefende Publikation in Bezug auf das „pattern matching“ mittels Machine Learning wurde auf der „SimAUD 2024“ (Washington) eingereicht und ist gerade in Begutachtung. Hinzu kommt, dass die in AP4 entwickelten und eingesetzte Methode auf einer der global bedeutendsten Abfallwirtschaftskonferenzen „Waste Symposium“ in Sardinia 2023 erfolgreich vorgestellt werden konnte und dort zu relevanten Denkanstößen geführt hat (Grabuschnig et al., 2023).

Eine allgemeine Präsentation des Projektes erfolgte im Zuge der Veranstaltung „Blickpunkt Forschung – Klimafitte Stadt“, die gemeinsam von der Wirtschaftskammer Österreich und der TU Wien im Okt 2023 veranstaltet wurde (vgl. TU Wien, 2023). Begleitend zur Projektarbeit werden im Projektkontext gegenwärtig zwei Diplom- und Masterarbeiten betreut.

Konkrete marktreife Anwendungen lassen sich aus den geschaffenen Daten und Methoden unmittelbar noch nicht entwickeln. Dies ist im Förderinstrument „Kooperatives F&E Projekt Industrielle Forschung“ auch nicht vorgesehen und wurden im Zuge der Projektdurchführung nicht vertiefend untersucht. Eine wirtschaftliche Verwertung ist mittelfristig nur dann möglich, wenn man effiziente Wege findet, die Datenverfügbarkeit und Qualität zu erhöhen (auf der die Hochrechnungen beruhen), sowie zielgruppenspezifische Filter- und Bewertungsmodelle modular einbinden zu können.

Wissenschaftliche Präsentationen:

Bindreiter, S., Forster, J., Lorenz, W., Wurzer, G., Grabuschnig, L., Fellner, J., Battlogg, S., Kalteis, M., Dengg, E., & Pachauer, V. (2022). Material intensity of inward development - resource assessment and localization of urban development potentials. In *Space for Species: Redefining Spatial Justice - Book of Abstracts* (pp. 426–427).

Bindreiter, S., Lorenz, W., Grabuschnig, L., Dengg, E., Wurzer, G., Pachauer, V., Ugljanin, N., Truckenmüller, T., & Rasper, P. (2023, October 4). M-DAB2: Der Materialaspekt der Innenentwicklung (Materialressourcen der Stadt) [Conference Presentation]. *Blickpunkt Forschung: Klimafitte Stadt @ TU Wien*, Wien, Austria.

Bindreiter, S., Lorenz, W., Dengg, E., Pachauer, V., Grabuschnig, L., Wurzer, G., Ugljanin, N., & Rasper Paul. (2023, September 21). M-DAB2: The project [Poster Presentation]. *eCAADe 2023 (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe)*, Graz, Austria.

Bindreiter, S., Ugljanin, N., & Lorenz, W. (2023). Validating geospatial open government data and “potential profile”: models for urban inward development scenarios in Vienna. In *Book of abstracts: Integrated planning in a world of turbulence* (pp. 148–149). AESOP.

Grabuschnig, L., Fellner, J., & Bindreiter, S. (2023). Environmental impact assessment of different modifications of the Viennese building stock [Conference Presentation]. *19th International Symposium on Waste Management, Resource Recovery and Sustainable Landfilling (SARDINIA 2023)*, Santa Margherita Di Pula, Cagliari, Italy.

TU Wien. (2023). *Nachlese zum Blickpunkt Forschung 2023: Klimafitte Stadt @ TU Wien | TU Wien*. <https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/nachlese-zum-blickpunkt-forschung-2023-klimafitte-stadt-tu-wien> [Zugegriffen: 10. Jänner 2024]

Wurzer, G., Ugljanin, N., Bindreiter, S., & Lorenz, W. (2023, May 23). Material intensity of inner development [Poster Presentation]. *SimAUD Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, Hamilton, Ontario, Canada. <https://doi.org/10.34726/4322>

Liste der Diplomarbeiten:

Zakharov, A. (o.J.). *Digitaler Materialkataster des städtischen Gebäudebestandes als Instrument der Kreislaufwirtschaftsstrategie* (Fertigstellung geplant Mitte 2024)

Pašović, D. (o.J.). *Vergleich der Massenströme und Umwelt-auswirkungen zweier Strategien im Umgang mit Bestandsgebäuden – Aufstockung und thermische Sanierung vs. Abbruch und Neubau* (Fertigstellung geplant Anfang 2024)

7 Ausblick und Empfehlungen

7.1. Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Auf Basis der dargestellten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen in diesem thematisch sehr umfangreichen Projekt ergeben sich in den unterschiedlichen Themenfeldern weitere Forschungs- und Entwicklungsaufgaben, die auf den Projektergebnissen aufbauen können.

Die Daten zum Gebäudebestand in Wien sind nach wie vor sehr lückenhaft: Während durch verschiedenste photogrammetrische und lasergestützte Scan- und Aufnahmeverfahren die Geometrien (Gebäudehüllen) immer detaillierter und aktueller zur Verfügung stehen, ist die Attribuierung der Gebäude noch nicht ausreichend fortgeschritten. Es fehlt nach wie vor an der Verschränkung von administrativen und domänenspezifischen Sachdaten, um verlässliche Hochrechnungen und Simulationen auf gesamtstädtischer Ebene durchführen zu können.

Für marktreife Anwendungen ist die Verbesserung der Gebäudedaten ein wesentliches Schlüsselkriterium. Deshalb ist die Anwendung und Entwicklung weiterer Methoden zur Datenanreicherung notwendig, um das Wissen über die Gebäude weiter zu verbessern. Dabei muss der Fokus nicht nur auf die Informationen zur Materialzusammensetzung, sondern auch auf die konkrete Gebäudenutzung gelegt werden, damit Grundlagen für die strategische Stadtplanung geschaffen werden können. Die Forschungsfelder reichen von der automatisierten Erkennung von Sanierungs- und Bauprozessen bis hin zur Leerstandserkennung. Um Bestandsaufnahmen und Prognosen über den Gebäudebestand, seiner Nutzung und Auslastung durchführen zu können, ist jedenfalls auch die Verknüpfung mit demographischen Entwicklungen und Siedlungsdichte von hoher Relevanz.

Als konkrete Weiterentwicklung und thematische Anknüpfungspunkte des bestehenden Forschungsvorhabens können die weitere Modulation/Adaption der entwickelten und angewendeten Methoden im Bereich des Pattern Matchings und der automatisierten Erkennung „räumlicher Qualitäten“ auf konkrete Baublöcke und der Vergleich mit den rasterbasierten Ergebnissen angesehen werden. Dies würde, wie bereits in den Schlussfolgerungen dargestellt, die Relevanz der Ergebnisse für Projektentwickler:innen erhöhen. Auch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Filterparameter, die Gewichtung von Attributen und der Abgleich mit demografischen Einflussfaktoren würden spannende Forschungsfragen aufwerfen. Zudem gilt es im Sinne der Wissenschaftskommunikation, die intuitive Verständlichkeit der Forschungsergebnisse zu erhöhen, indem diese durch geeignete Vergleichs- und Referenzgrößen (z.B. Personenäquivalente) für Umweltindikatoren aufbereitet werden. Hierzu müssen noch Best-Practice-Verfahren ermittelt bzw. entwickelt werden.

Der genannte Forschungs- und Entwicklungsbedarf muss jedenfalls darauf abzielen, Datenlücken zu verringern, bzw. Methoden zu schaffen, die trotz lückenhafter Ausgangsdaten zu zuverlässigeren Hochrechnungen und Abschätzungen führen. Deshalb sind die M-DAB2-Projektpartner:innen in den letzten Monaten im intensiven Austausch mit den Teams der abgeschlossenen FFG-Projekte „sci_bim“ (<https://projekte.ffg.at/projekt/3037611>) und „bimstocks“ (<https://projekte.ffg.at/projekt/3793852>), um künftige vertiefende Forschungsoperationen im Bereich der Materialressourcen im Gebäudebestand zu entwickeln.

7.2. Potential für Demonstrationsvorhaben

Konkrete Potentiale für Demonstrationsvorhaben können mit den künftigen Anwender:innen und Zielgruppen identifiziert und ausgearbeitet werden. Wie bereits in Abschnitt 6.2 diskutiert, ist eine weitere Auseinandersetzung bzw. Weiterentwicklung der Datenvisualisierung von hoher Relevanz.

Für die bedürfnisorientierte und strategische Stadtplanung können Use-Cases entwickelt werden, bei denen die Einbindung der Forschungsergebnisse und der entwickelten Methoden als Werkzeug für die Folgeabschätzung in der Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung ermöglichen, um auf diese Weise schon bei der Festlegung der hoheitlichen Rahmenbedingungen Umweltwirkungen und Nutzungspotentiale genauer abschätzen zu können. Dazu kann man die Proof-Of-Concept Datenvisualisierung der Ergebnisse um eine Simulationskomponente erweitern, in der tatsächliche „Planspiele“ durchführbar werden, um einer bedürfnisorientierten Stadtplanung gerecht zu werden. Diese können um benutzer- bzw. zielgruppenspezifische Funktionen erweitert werden, welche die jeweiligen Interessen und Perspektiven in unterschiedlichen Planungshorizonten und Maßstäben besser abbilden. Wie bereits in Abschnitt 6.2 erläutert sind die dynamische Kriterienauswahl und -gewichtung und somit die Editierbarkeit von Filterfunktionen wesentliche Grundfunktionen, die für eine konkrete Marktanwendung noch fehlen. Diese Funktionalität kann möglicherweise auch die Schlüsselkomponente in einem „Business-Model“ für eine solche Anwendung sein.

Die damit verbundenen Chancen und Risiken erfordern jedenfalls ethische Überlegungen und Bedenken, soll ein solches Vorhaben primär die Gemeinwohlinteressen und nicht wirtschaftliche Individualinteressen unterstützen: Denn die Identifikation von Materialmengen und Umweltwirkungen (auf gesamtstädtischer Ebene) ist unmittelbar mit dem Erkennen von Potentialen und Flächen verbunden, was naturgemäß ein großes Interesse bei Immobilienentwickler:innen und (-spekulant:innen) weckt. Verbesserte Daten und automatisiertes Reporting beschleunigen wirtschaftliche Prozesse, während demokratische Entscheidungsfindung und Planungsentscheidung nicht beliebig beschleunigt werden können. Hier gilt es als Forschende und Planende den Fokus darauf zu legen, die Gemeinden und öffentlichen Entscheidungsträger:innen mit Werkzeugen und Knowhow auszustatten, um mit privatwirtschaftlichen Akteurinnen und Akteure, nationalen und internationalen Spekulant:innen Schritt halten zu können. Dies gelingt am ehesten durch offene Daten und Methoden, um Chancengleichheit im Wettbewerb um Flächen, Grundstücke und Ressourcen herzustellen bzw. die Transparenz bei der Folgeabschätzung von Umweltwirkungen und externen Kosten zu erhöhen.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodisches Zusammenspiel der Arbeitspakete in M-DAB2 (eigene Darstellung).....	21
Abbildung 2: Potentialprofil 1 – Gründerzeithaus, Grundriss 1. OG (eigene Darstellung).	25
Abbildung 3: Potentialprofil 2 – Baublock, Erschließung und unmittelbare Umgebung (eigene Darstellung).	26
Abbildung 4: Entwicklungsvarianten (schematisch, vlnr) V1 Dachgeschoßausbau & Sanierung, V2 Zubau, V3 Rückbau & Neubau (eigene Darstellung).	30
Abbildung 5: Florian Nagler, Forschungshäuser in Bad Aibling (https://www.einfach-bauen.net/forschungshaeuser-bad-aibling/).	31
Abbildung 6: Aspekte der Nachverdichtung (Grafik: Superblock Architektur; Puscher, Demcisin, Titz, Hermann, et al., 2018).....	35
Abbildung 7: Transformation eines Wohnbaus aus den 1960er Jahren in Bordeaux, (Foto: DBZ, 2017).	36
Abbildung 8: Ökobilanzphasen (eigene Darstellung nach ÖNORM EN ISO 14040, 2021).	38
Abbildung 9: Betrachtete Gebäudelebenszyklusphasen in gelb (DIN EN 15978, 2011).	40
Abbildung 10: NetLogo als Datendrehscheibe, Test- und Prüfumgebung (Screenshot).....	43
Abbildung 11: Dreiecksverteilungsfunktion zur Berechnung der Abweichung vom Zielwert (gegeben durch das ausgewählte Potentialprofil) in [%] (eigene Darstellung).....	46
Abbildung 12: Von den Nachbarzellen werden jeweils 10% der Werte übergeben (eigene Darstellung).	48
Abbildung 13: Flächenpotentiale in einem schematischen Baublock (eigene Darstellung).	50
Abbildung 14: Klassifikation von Zellen. Oben: Expertinnen- und Experten-Interface zur Klassifikation. Unten: Beispiele für eine ausgewählte Zellen je Potentialprofil (Screenshot).	53
Abbildung 15: Decision Tree des Modells (eigene Darstellung).....	54
Abbildung 16: Definition und Analyse der Potentialprofile (eigene Darstellung, Grundkarte: https://www.wien.gv.at/stadtplan/).	57
Abbildung 17: Übersichtsblatt Bestand, Potentialprofil 3 (eigene Darstellung).	58
Abbildung 18: Übersichtsblatt V1 (DGA+Sanierung), Potentialprofil 3 (eigene Darstellung).	58
Abbildung 19: Zusammenfassung der Berechnung der prozentualen Übereinstimmung mit einem ausgewählten Profil [%] (eigene Darstellung).	60
Abbildung 20: Vergleich anhand PP1: Input AP2+AP4 (li.) mit Input Expertinnen und Experten Workshop (re.) (Screenshots).....	61
Abbildung 21: NetLogo Modell; oben: Durchschnittlicher Anteil an Verkehrsfläche im Zoom Level 16 (links), Zoom Level 17 (mittig) Zoom Level 18 (rechts); zweite Reihe: Durchschnittlicher Anteil an Bruttogrundfläche der Gebäude im Zoom Level 16 (links), Zoom Level 17 (mittig) Zoom Level 18 (rechts); unten: Durchschnittlicher Anteil an Restfläche (Screenshot NetLogo, eigene Darstellung)..	64

Abbildung 22: Berechnung des Energiefilters (links), des Mobilitätsfilters (mittig) und des Grünraumfilters (rechts). Grafik oben: Das dazugehörige NetLogo Modell zur Visualisierung der Intensität des Filters in drei Stufen von nicht vorhanden bis stark vorhanden (Schwarz \triangleq Stufe 0, helles Grün \triangleq Stufe 1, mittleres Grün \triangleq Stufe 2); Unten: Berechnung der Intensitäten (Screenshot QGIS, eigene Darstellung).	65
Abbildung 23: Genauigkeit von Decision Trees (obere Reihe) und Random Forests (untere Reihe). Spalten vlnr: Verteilung der Genauigkeiten, Anzahl der Features vs. Genauigkeit, Baumtiefe bzw. Anzahl der Trees im Forest vs. Genauigkeit (Screenshots).	68
Abbildung 24: M-DAB2 Interaktive Datenvisualisierung als Web-App (Screenshot).....	69
Abbildung 25: Verteilung von Rasterzellen mit Flächenpotentialen der Entwicklungsvariante „Zubau & DGA“ von mind. 1.000 m ² BGF (Screenshot oben, bzw. Screenshot Ausschnitte PP1-PP5 unten)...	70
Abbildung 26: Verteilung von Rasterzellen mit Flächenpotentialen der Entwicklungsvariante „DGA & Sanierung“ von mind. 1.000 m ² BGF bei „moderater“ Dichte (Screenshot oben), bzw. „minimaler Dichte“ (links unten) und „maximaler Dichte“ (rechts unten).	71
Abbildung 27: „Ungefilterte“ Verteilung von Rasterzellen mit Flächenpotentialen der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ von mind. 1.000 m ² BGF bei „moderater“ Dichte (Screenshot oben), bzw. „gefiltert“ (mit jeweils drei Sternen) nach Lagekriterien „Nachhaltige Energie“, „Grünraumversorgung“, „Nachhaltige Mobilität“ (unten vlnr).....	72
Abbildung 28: Gebäudenutzungsstatistik für ganz Wien mit ausgewähltem Potentialprofil „Blockrand“ (Screenshot).	74
Abbildung 29: Materialstatistik (Bestand) für ganz Wien mit ausgewähltem Potentialprofil „Blockrand“ (Screenshot).	74
Abbildung 30: Verortung von Flächenpotentialen von mind. 500 m ² Bruttogeschoßfläche für Dachgeschoßausbauten, links: Alle Rasterzellen mit mind. 500 m ² BGF, rechts: Alle Rasterzellen mit mind. 500 m ² BGF mit räumlichen Qualitäten analog zu PP1 (Screenshot).	75
Abbildung 31: Statistik zu Rückbaumengen und Materialbedarf bei der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ (Screenshot).	76
Abbildung 32: Umweltindikatoren-Tabelle für die Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ (Screenshot).	77
Abbildung 33: Tabelle zu Mindest- und Maximalkosten der Entwicklungsvariante „Rückbau & Neubau“ – Basis Potentialprofil 1, ganz Wien (Screenshot).	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands und der Forschungsfragen zum Vorgängerprojekt M-DAB.....	20
Tabelle 2: Zoom Level Auflösung und Beispiele für darzustellende Bereiche (nach OpenStreetMap Wiki contributors, 2021b, 'Zoom Levels').....	45
Tabelle 3: Beschreibung der Lagefilter.....	48
Tabelle 4: Flächen- und Materialbilanz je Entwicklungsvariante (Ergebniskennzahlen und Berechnung).....	51
Tabelle 5: Berücksichtigung unterschiedlicher Flächen-/Volumenspotentiale in Entwicklungsvarianten (unterschieden nach In/Out in der Flächenbilanz je Zelle).....	52
Tabelle 6: Typische Werte für die Profile 1 bis 5 (jene in grauer Schrift gekennzeichneten Materialien haben wenig Einfluss auf das Ergebnis und werden nicht berücksichtigt).....	62
Tabelle 7: Verwendete Zellen nach Klassifikation.....	66
Tabelle 8: Grafische Ansicht der Ergebnisse (Random Forest Methode).....	67
Tabelle 9: Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands und der Forschungsfragen zum Vorgängerprojekt M-DAB.....	78
Tabelle 10: OGD Datensätze von www.data.gv.at mit Downloadzeitpunkt.....	101
Tabelle 11: Metadaten Denkmalliste OGD BDA.....	102
Tabelle 12: Metadaten Widmung/Bauklassen.....	103
Tabelle 13: Metadaten Bauanzeigen / Datenauszug.....	104
Tabelle 14: Metadaten Attributsammlung je Rasterzelle.....	105
Tabelle 15: Metadaten Attributsammlung je Gebäudeteil (Potentiale).....	107
Tabelle 16: Metadaten Attributsammlung je Rasterzelle.....	109
Tabelle 17: Metadaten Datenbankabfrage Attributsammlung je Gebäudeteil M-DAB.....	114
Tabelle 18: Metadaten Datenbankabfrage Materialintensität.....	116
Tabelle 19: Metadaten Datenbankabfrage Materialintensität DGA.....	117
Tabelle 20: Metadaten Datenbankabfrage Materialien.....	118
Tabelle 21: Metadaten Datenbankabfrage Materialgruppen.....	119
Tabelle 22: Metadaten Datenbankabfrage Gebäudenutzung.....	120

Literaturverzeichnis

- Ahnert, R. & Krause, K.H. (2014) *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 - Band 1-3*.
- AIT (2021) *CIL | City Intelligence Lab*. [Online]. 2021. Available from: <http://cities.ait.ac.at/site/> [Zugegriffen: 9 Januar 2021].
- Anand, C.K. & Amor, B. (2017) Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [Online] 67408–416. Available from: doi:10.1016/J.RSER.2016.09.058 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Banko, G. & Weiß, M. (2016) *Gewidmetes, nicht bebautes Bauland. Erstellung von Auswertungen für Österreich*. Umweltbundesamt GmbH.
- Bauer, R. & Himpele, K. (2019) *Auf dem Weg zurück zur Zwei-Millionen-Stadt – die Entwicklung der Wiener Bevölkerung - wien1x1.at - Die Stadt*. [Online]. 2019. Available from: <https://wien1x1.at/bev-entwicklung-1/> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Bednar, T., Bothe, D., Forster, J., Fritz, S., u. a. (2020) *Simultane Planungsumgebung für Gebäudecluster in resilienten, ressourcen- und höchst energieeffizienten Stadtteilen*. [Online]. Available from: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at> [Zugegriffen: 15 Januar 2021].
- Bibri, S.E., Krogstie, J. & Kärrholm, M. (2020) Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability. *Developments in the Built Environment*. [Online] 4100021. Available from: doi:10.1016/J.DIBE.2020.100021 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Bill, R. (2016) *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. (6. Auflage). Berlin Offenbach, Herbert-Wichmann-Verlag.
- Bindreiter, S. (2018) *Ermittlung von Baulandpotentialen an Regionalbahnlinien am Beispiel des S-Bahn-Netzes in Oberösterreich*. Wien.
- Bindreiter, S., Forster, J., Fellner, J., Gassner, A., u. a. (2021) M-DAB Materialressourcen der Stadt digitalisieren, analysieren und nachhaltig bewirtschaften. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Projektendbericht FFG*. [Online] Available from: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2022-1-m-dab.pdf [Zugegriffen: 13 Februar 2024].
- BKA (2019) *Ziele der Agenda 2030 - Bundeskanzleramt Österreich*. [Online]. 2019. Available from: <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/themen/nachhaltige-entwicklung-agenda-2030/ziele-der-agenda-2030.html> [Zugegriffen: 9 Februar 2023].
- Braune, A., Klemm, S., Lemaitre, C., Kreißig, J., u. a. (2020) *Ihr Weg zum klimaneutralen Gebäude*. [Online]. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. Available from: www.dgnb.de [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Breitling, P. & Zancanella, J. (1982) *In der Altstadt leben: Altstadterhaltung dargestellt am Beispiel Graz. Graz/Stuttgart*.

- Brunsdon, C. (2020) Robin Lovelace, Jakub Nowosad and Jannes Muenchow. *Geocomputation with R*. <https://doi.org/10.1177/2399808320945456>. [Online] 47 (7), 1309–1310. Available from: doi:10.1177/2399808320945456 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Dastjerdi, B., Strezov, V., Rajaeifar, M.A., Kumar, R., u. a. (2022) *Waste to Energy Technologies. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. [Online] Available from: doi:10.1016/B978-0-323-90386-8.00012-7 [Zugegriffen: 2 August 2023].
- DBZ (2017) *Besser Wohnen Umbau von 530 Wohnungen, Bordeaux / FR - Deutsche BauZeitschrift*. [Online]. 2017. Available from: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Besser_Wohnen_Umbau_von_530_Wohnungen_Bordeaux_FR-2811077.html [Zugegriffen: 6 Februar 2024].
- Die Presse (2022) *Neuer Glanz für alte Wiener Bauten | DiePresse.com*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.diepresse.com/6157066/neuer-glanz-fuer-alte-wiener-bauten> [Zugegriffen: 8 Februar 2024].
- D'Ignazio, C. & Klein, L.F. (2020) *Data Feminism*. [Online]. Available from: doi:10.7551/mitpress/11805.001.0001.
- DIN EN 15978 (2011) *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin, Weiden, Beuth Verlag GmbH.
- Duden (2024) *Grätzel ► Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft | Duden*. [Online]. 2024. Available from: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Graetzel> [Zugegriffen: 24 Januar 2024].
- Duinker, P.N. & Greig, L.A. (2007) Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future. *Environmental Impact Assessment Review*. [Online] 27 (3), 206–219. Available from: doi:10.1016/J.EIAR.2006.11.001 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Ehrbar, D. (2013) *SANSTRAT - Argumentarium Sanierung : ganzheitliche Sanierungsstrategien für Wohnbauten und Siedlungen der 1940er bis 1970er Jahre*. Doris Ehrbar & Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (Hrsg.). [Zürich], Faktor Verl.
- ETH (2021) *City Energy Analyst (CEA) – Future Cities Laboratory | ETH Zurich*. [Online]. 2021. Available from: <https://fcl.ethz.ch/research/high-density-cities/multi-scale-energy-systems/cea.html> [Zugegriffen: 9 Januar 2021].
- ETH (2017) *Raum+*. [Online]. Available from: <https://www.raumplus.ethz.ch/de/home/>.
- European Commission (2010) *ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN*.
- Finnveden, G. & Potting, J. (2014) Life Cycle Assessment. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*. [Online] 74–77. Available from: doi:10.1016/B978-0-12-386454-3.00627-8 [Zugegriffen: 2 August 2023].
- Forster, J. (2016) *Strategische raumbezogene Visualisierung im Kontext der Innenentwicklung urbaner Siedlungs-, Energie- und Mobilitätssysteme am Beispiel der Stadt Wien*. TU Wien.

- Gaffron, P., Huismans, G. & Skala, F. (2005) *Ecocity Book I A better place to live*. Hamuburg, Utrecht, Vienna.
- Gaffron, P., Huismans, G., Skala, F., Senternovem, G.H., u. a. (2008) *Ecocity Book II How To Make It Happen*. Hamburg, Utrecht, Vienna, Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Glander, I., Hipp, N., Preuße, B. & Reese, A. (2022) *Baukultur Bericht 2022/2023 - Neue Umbaukultur*. [Online]. Bundesstiftung Baukultur. Available from: www.dnb.de [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Glazebrook, G. & Newman, P. (2018) The City of the Future. *Urban Planning*. [Online] 3 (2), 1–20. Available from: doi:10.17645/UP.V3I2.1247 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Grams, A. (2017) *Spielräume für Dichte. Der Innenentwicklungskompass als problemorientierte Methode für Verdichtung in kleinen und mittleren Gemeinden*. ETH Zürich.
- Hagen, A. (2015) *Wiener Bauordnungen und Planungsinstrumente im 19. Jahrhundert*. [Online]. Klagenfurt - Graz - Wien, Zentrum für Umweltgeschichte / Centre for Environmental History Institut für Soziale Ökologie IFF - Fakultät für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt. Available from: <https://docplayer.org/34654897-Wienerbauordnungen-und-planungsinstrumente-im-19-jahrhundert.html> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Homeier, I., Pangerl, E., Tollmann, J. & Daskalow, K. (2018) *Monitoring-bericht 2017 Smart City Wien Rahmenstrategie*.
- Jansen, M. (2014) Die Bedeutung ehemaliger Befestigungsanlagen für das Stadtgrün. In: *Militärische Schichten der Kulturlandschaft*. S.
- Jessen, J. (2018) Leitbilder der Stadtentwicklung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.) (Hrsg.). *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. [Online]. Hannover. S. 1399–1410. Available from: <https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB%202018/Leitbilder%20der%20Stadtentwicklung.pdf> [Zugegriffen: 21 Januar 2021].
- Kampmeier, B. & Zehfuß, J. (2021) Brandverhalten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. In: *Bauphysik Kalender 2021*. [Online]. S. 91–116. Available from: doi:<https://doi.org/10.1002/9783433610572.ch6>.
- Kosow, H. & Gassner, R. (2008) *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien*.
- Krause, H. (2009) *Mauern um Wien : die Stadtbefestigung von 1529 bis 1857*. Wien archäologisch. Wien, Museen der Stadt Wien - Stadtarchäologie.
- Kurz, T., Gardner, B., Verplanken, B. & Abraham, C. (2015) Habitual behaviors or patterns of practice? Explaining and changing repetitive climate-relevant actions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. [Online] 6 (1), 113–128. Available from: doi:10.1002/WCC.327 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].

- Kuzmich et al. (2011) *Siedlungsformen für die Stadterweiterung*. Werkstattberichte / Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung. Wien.
- Lederer, J., Fellner, J., Gassner, A., Gruhler, K., u. a. (2021a) Determining the material intensities of buildings selected by random sampling: A case study from Vienna. *Journal of Industrial Ecology*. [Online] 25 (4), 848–863. Available from: doi:<https://doi.org/10.1111/jiec.13100>.
- Lederer, J., Fellner, J., Gassner, A., Gruhler, K., u. a. (2021b) Determining the material intensities of buildings selected by random sampling: A case study from Vienna. *Journal of Industrial Ecology*. [Online] 25 (4), 848–863. Available from: doi:[10.1111/JIEC.13100](https://doi.org/10.1111/JIEC.13100) [Zugegriffen: 13 Juli 2022].
- Lederer, J., Gassner, A., Kleemann, F. & Fellner, J. (2020) Potentials for a circular economy of mineral construction materials and demolition waste in urban areas: a case study from Vienna. *Resources, Conservation and Recycling*. [Online] 161104942. Available from: doi:[10.1016/j.resconrec.2020.104942](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104942) [Zugegriffen: 21 April 2021].
- Lorenz, W.E. (2013) Combining Complexity and Harmony by the Box-Counting Method A comparison between entrance façades of the Pantheon in Rome and Il Redentore by Palladio. In: *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. 2013 S.
- Lorenz, W.E. (2009) Fractal Geometry of Architecture Implementation of the Box-Counting Method in a CAD-Software. In: *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. [Online]. 2009 S. Available from: doi:[10.52842/conf.ecaade.2009.697](https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2009.697).
- Magistrat der Stadt Wien (2019) *Smart City Wien Rahmenstrategie 2019-2050, Die Wiener Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*. [Online] Available from: <https://smartcity.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/2019/10/Smart-City-Wien-Rahmenstrategie-2019-2050.pdf> [Zugegriffen: 20 Februar 2024].
- Mayerhofer, R., Walchhofer, H.P., Voigt, A. & Linzer, H. (2009) *Ressourceneffiziente Bauungsstrukturen und Stadtgestalt*. Schriftenreihe / Institut für Örtliche Raumplanung, Technische Universität Wien. Wien, Österr. Kunst- u. Kulturverl.
- Microsoft Learn (2022) *Bing Maps Tile System - Bing Maps | Microsoft Learn*. [Online]. 2022. Available from: <https://learn.microsoft.com/en-us/bingmaps/articles/bing-maps-tile-system?redirectedfrom=MSDN> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- MIT (2021) *Urban Modeling Interface | MIT Sustainable Design Lab*. [Online]. 2021. Available from: <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/umi/index.html> [Zugegriffen: 9 Januar 2021].
- Mitteregger, M., Bruck, E.M., Soteropoulos, A., Stickler, A., u. a. (2020) AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. *AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa*. [Online] Available from: doi:[10.1007/978-3-662-61283-5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61283-5) [Zugegriffen: 12 Dezember 2021].
- Moeckel, R. (2017) Working from Home: Modeling the Impact of Telework on Transportation and Land Use. *Transportation Research Procedia*. [Online] 26207–214. Available from: doi:[10.1016/J.TRPRO.2017.07.021](https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2017.07.021) [Zugegriffen: 7 Februar 2024].

- O A (o. J.) *Bauordnung für Wien – BO für Wien. Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch StF.: LGBl. Nr. 11/1930 idF 70/2021*. [Online]. Available from: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrW&Gesetzesnummer=20000006> [Zugegriffen: 17 Januar 2023].
- Open Data Österreich (2022) *Offene Daten Österreich | data.gv.at*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.data.gv.at/> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- OpenStreetMap Wiki contributors (2021a) *Slippy map tilenames – OpenStreetMap Wiki*. [Online]. 2021. Available from: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Slippy_map_tilenames [Zugegriffen: 20 Februar 2024].
- OpenStreetMap Wiki contributors (2021b) *Zoom levels – OpenStreetMap Wiki*. [Online]. 2021. Available from: https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Zoom_levels&oldid=2167744 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Pohl, A. (2019) Vom Bettgeher zur Sharing Economy: der Wandel der Ökonomie des Teilens. In: *Das Rote Wien in Zahlen: 1919-1934 : mit sieben Textbeiträgen*. S. 58–63.
- Puscher, G., Demcisin, C., Titz, T., Hermann, E., u. a. (2018a) *Masterplan Gründerzeit*. [Online] Werkstattbericht 180. Available from: <http://www.digital.wienbibliothek.at/wbrup/3935368> [Zugegriffen: 6 Februar 2024].
- Puscher, G., Demcisin, C., Titz, T., Herrmann, E., u. a. (2018b) *Masterplan Gründerzeit : Handlungsempfehlungen zur qualitätsorientierten Weiterentwicklung der gründerzeitlichen Bestandsstadt*. Werkstattbericht. Gregor Puscher, Christiane Demcisin, Thomas Titz, Eckart Herrmann, u. a. (Hrsg.). [Wien], Magistrat der Stadt Wien, MA 21 - Stadtteilplanung und Flächennutzung.
- QGIS Development Team (1989) *QGIS - A Free and Open Source Geographic Information System*. [Online]. 1989. pen Source Geospatial Foundation Project. Available from: <https://qgis.org/en/site/> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Reiß-Schmidt, S. (2018) Innenentwicklung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.). *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. [Online]. Hannover. S. 995–1000. Available from: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0156-55993> [Zugegriffen: 20 Februar 2024].
- Röck, M., Saade, M.R.M., Balouktsi, M., Rasmussen, F.N., u. a. (2020) Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*. [Online] 258114107. Available from: doi:10.1016/J.APENERGY.2019.114107 [Zugegriffen: 8 Februar 2024].
- Rosen, A. (2021) *Urban Mining Index : Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung*. Fraunhofer IRB-Verlag, Bergische Universität Wuppertal Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen, & Verlag (Hrsg.). Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag.

- Rumpfhuber, A. (2016) *Wunschmaschine Wohnanlage: eine Studie zur funktionalen Nachverdichtung von 46 Großwohnanlagen der Stadt Wien*. Sonderzahl.
- Sample, J. & Ioup, E. (2010) *Tile-Based Geospatial Information Systems*. [Online]. Available from: doi:10.1007/978-1-4419-7631-4.
- Schönwandt, W. (1999) Grundriss einer Planungstheorie der «Dritten Generation». *DISP*. [Online] 136–137 (1–2). Available from: doi:10.1080/02513625.1999.10556696.
- Schwehr, P. & Zemp, R. (2021) Dichte auf dem Prüfstand. Dokumentation und Erkenntnisse. *TEC21*.
- Selle, K. (1997) Planung und Kommunikation. *disP - The Planning Review*. [Online] 33 (129). Available from: doi:10.1080/02513625.1997.10556645.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Minaei, M., Shahabi, H. & Hagenauer, J. (2019) Big data in Geohazard; pattern mining and large scale analysis of landslides in Iran. *Earth Science Informatics*. [Online] 12 (1), 1–17. Available from: doi:10.1007/S12145-018-0354-6 [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien (2023) *Flächenwidmungs- und Bebauungsplan*. [Online]. 2023. Available from: <https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/start.aspx?bookmark=vscsRroKCUZmpQFGviqURW3-ceAju1ZHrYndscnPSng-b-b&lang=de&bmadr=> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien (2007) *Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien*. [Online]. Wien, Magistrat der Stadt Wien. Available from: <https://www.digital.wienbibliothek.at/wbrup/periodical/titleinfo/2221945> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien (2022) *Wohnhausanlage Sandleiten – Wien Geschichte Wiki*. [Online]. 2022. Available from: https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Wohnhausanlage_Sandleiten [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien | Das Wiener Stadt- und Landesarchiv & die Wienbibliothek im Rathaus (2022) *Stadtbefestigung – Wien Geschichte Wiki*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Stadtbefestigung> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien MA18 (o. J.) *Karten zu den Themen „Gebäude, Wohnungen und Haushalte“ - Stadtforschung*. [Online]. Available from: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/grundlagen/stadtforschung/karten/gebäude-wohnen.html> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien MA18 (2019) *Karten zum Thema „Bevölkerung“ - Stadtforschung*. [Online]. 2019. Available from: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/grundlagen/stadtforschung/karten/bevoelkerung.html> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadt Wien Projektleitung Kulturgut (2022) *Bauperioden - Themenstadtplan Wien Kulturgut*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.wien.gv.at/kultur/kulturgut/architektur/bauperioden.html> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Stadtbauamt Wien (1950) *Der Aufbau Fachschrift der Stadtbaudirektion Wien*. Wien Stadtbauamtsdirektion (Hrsg.). Wien Wien, Jugend & Volk Compress Verlags-GmbH.

- Treberspurg, M. (2017) *Attic Adapt 2050 : ein systematischer Ansatz für Dachgeschoßausbauten in Holzbauweise. Weiterbauen! Nachverdichten des Gebäudebestands der Nachkriegszeit (1950-1970) am Beispiel der Wohnhausanlagen der Gemeinde Wien*. Martin Treberspurg, Universität für Bodenkultur Wien Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, AlpS - Zentrum für Naturgefahren-Management, Universität für Bodenkultur Wien, u. a. (Hrsg.). Wien Innsbruck, Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien alpS GmbH.
- UIV (2019) *Wiens Klima- & Energieziele für 2030 & 2050*. [Online]. Available from: <https://smartcity.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/2019/06/Dokumentation-der-Berechnungen-zur-Aktualisierung-der-Smart-City-Wien-Rahmenstrategie.pdf> [Zugegriffen: 16 Februar 2021].
- Umweltbundesamt (2021) *Bodenverbrauch in Österreich*. [Online]. 2021. Available from: <https://www.umweltbundesamt.at/news210624> [Zugegriffen: 24 Januar 2024].
- Waddell, P. (2002) Urbansim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American Planning Association*. [Online] 68 (3). Available from: doi:10.1080/01944360208976274.
- Wiener Wohnen (2022a) *Gemeindewohnungen: Gemeindebaubeschreibungen*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.wienerwohnen.at/wiener-gemeindebau/gemeindebaubeschreibungen.html?gbSearchDistrict=&gbSearchStreet=&gbSearchYear=&gbSearchArchitect=&gbSearchFlatCount=&page=1&rows=5&sorting=1,asc,0> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Wiener Wohnen (2022b) *Heinz-Nittel-Hof - Wiener Wohnen - Gemeindewohnungen*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.wienerwohnen.at/hof/1759/Heinz-Nittel-Hof.html%7C> [Zugegriffen: 5 November 2023].
- Wiener Wohnen (2022c) *Hubert-Hladej-Hof - Wiener Wohnen - Gemeindewohnungen*. [Online]. 2022. Available from: <https://www.wienerwohnen.at/hof/68/68.html> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Wilensky, U. (1999) *NetLogo Home Page*. [Online]. 1999. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL. . Available from: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [Zugegriffen: 7 Februar 2024].
- Wolf, T., Untergutsch, A., Wensing, C., Dr. Mittelbach, H., u. a. (2020) *Potenziale von Bauen mit Holz*. 248.
- Zeumer, M., John, V. & Hartwig, J. (2009) Nachhaltiger Materialeinsatz–Graue Energie im Lebenszyklus. *Detail Green*. 1 (1), 54–60.

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
Art.	Artikel
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BGF	Bruttogrundfläche in m ² (Gebäudegrundfläche × Geschoßanzahl)
BRI	Bruttorauminhalt in m ³ (BGF × Stockwerkshöhe)
DB	Datenbank
DGA	Dachgeschoßausbau
FMZK	Flächen-Mehrzweckkarte (der Stadt Wien)
GIS	Geoinformationssystem
idF	in der Fassung (bei Rechtsnormen)
li.	links
M-DAB	Materialressourcen der Stadt – Digitalisieren, Analysieren und (nachhaltig) Bewirtschaften
OGD	Open Government Data
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PP	Potentialprofil
re.	rechts
s.a.	siehe auch
StF	Stammfassung (bei Rechtsnormen)
usw.	und so weiter
uvam.	und viele(s) andere mehr
V1 – V3	Entwicklungsvarianten
vlnr.	von links nach rechts
z.B.	zum Beispiel

9 Anhang

9.1. Glossar

Abbruch	Als Entwicklungsvariante kann es im Sinne der Materialwiederverwendung keinen konventionellen Abbruch geben, bei dem die abgebrochenen Materialien zerstört und damit nicht weiterverwendet werden können. Statt dem Abbruch wird der Begriff „Rückbau“ verwendet.
Entwicklungsvariante	Beschreibt „typische“ (bauliche) Entwicklungsmöglichkeit eines Potentialprofils, z.B. Zu- und Ergänzungsbau, Abriss + Neubau, Aufstockung + Dachgeschoßausbau. Die Entwicklungsvarianten werden ebenso wie die Potentialprofile aus konkreten Beispielen abgeleitet.
Grätzel	Das Grätzel (ostösterreichisch umgangssprachlich) ist im Duden als „ <i>Teil eines Wohnviertels, einer Straße in einem Wohnviertel; Häuserblock</i> “ beschrieben (Duden, 2024). Es ist somit eine räumliche Einheit, die mehrere Gebäude umfasst, aber doch meist kleiner ist als ein Stadtbezirk.
Innenentwicklung	„ <i>Innenentwicklung bezeichnet ein Leitbild der Raum- und Stadtentwicklung und zugleich eine planerische Strategie. Der Grundsatz „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“ ist fachlich heute wegen seiner wirtschaftlichen, ökologischen und städtebaulichen Vorteile weitgehend unumstritten, wenn auch nicht ohne Zielkonflikte. Zur Umsetzung bedarf es eines aktiven, strategischen Flächenmanagements.</i> “ (Reiß-Schmidt, 2018)
Lagequalitätsfilter	Filter in der Web-App, der die angezeigten Kartenzellen weiter räumlich eingrenzt (Zellen außerhalb der eingestellten Lagequalitäten sind nicht mehr sichtbar). Filterkriterien: <ul style="list-style-type: none">- Nachhaltige Energie- Nachhaltige Mobilität- Qualitative Grünraumversorgung
Neubau	Analog Bauordnung für Wien §60(1a): „ <i>Unter Neubau ist die Errichtung neuer Gebäude zu verstehen</i> “.
Potentialprofil	Ein Potentialprofil beschreibt eine „typische“ räumliche Situation in der Stadt Wien und ist von konkreten Beispielen abgeleitet. Dazu werden charakteristische Eigenschaften identifiziert. Die Profilbeschreibung umfasst Aussagen zu charakteristischen Dimensionen (Block, Gebäude, oder Erschließung), zur Materialzusammensetzung, zu Nutzungen, zum Grünanteil, uvam. Im Zuge der Methodenentwicklung für das Projekt werden beispielhaft fünf ^{*)} unterschiedliche Potentialprofile ausgewählt: <ul style="list-style-type: none">• PP1: Dichter Blockrand (wie z.B. Gründerzeit)• PP2: Große Höfe oder das Rote Wien (wie z.B. in der Zwischenkriegszeit)• PP3: Licht, Luft und Platz für Autos (wie z.B. Nachkriegssparsamkeit)• PP4: Harry Glück und Co (wie z.B. Spätmoderne)

- PP5: Die „Gewerbeschachtel“

*) Beliebige andere Potentialprofile könnten definiert werden.

Rückbau	Beschreibt die „Zerlegung“ eines Gebäudes in seine Einzelteile mit dem Ziel, diese in weiterer Folge bei anderen Bauvorhaben wieder einzusetzen. Das Ziel dieser Vorgehensweise ist die Ressourcenschonung.
Umbau	Abweichend von der Bauordnung für Wien §60(1a) („ <i>Unter Umbau sind jene Änderungen des Gebäudes zu verstehen, durch welche die Raumeinteilung oder die Raumwidmungen so geändert werden, dass nach Durchführung der Änderungen das Gebäude als ein anderes anzusehen ist</i> “) sind hier Sanierungen und Dachausbauten gemeint.
Tooltip	Fenster in einer grafischen Benutzungsoberfläche, welches sich öffnet, wenn der Mauszeiger eine Schaltfläche berührt oder darauf verweilt. Der Tooltip liefert zusätzliche Informationen zur Schaltfläche oder Erklärungen für abgekürzte Texte. (Englische Schreibweise: „Tooltip“).
Zubau	Analog Bauordnung für Wien §60(1a): „ <i>Zubauten sind alle Vergrößerungen eines Gebäudes in waagrechter oder lotrechter Richtung</i> “ z.B. Dachaufstockung oder die Vergrößerung von Trakttiefen.

9.2. Data Management Plan (DMP)

Das Projekt M-DAB2 baut zu großen Teilen auf frei verfügbarer Open Government Data (OGD) auf, die uneingeschränkt für Dritte zugänglich sind. Folgender Datenmanagement-Plan gibt Auskunft, wie im Projekt auf Basis der „FAIR“-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) mit diesen Daten umgegangen wird und in welcher Form die im Projekt erarbeiteten Forschungsdaten publiziert werden.

1: Datenerstellung und Dokumentation

Das Projekt M-DAB2 verwendet unterschiedliche Datenquellen zur Bearbeitung der Fragestellungen:

Im Zuge der Kooperationsvereinbarung zwischen dem Institut für Raumplanung der TU Wien (Prof. Dr. Andreas Voigt) und der Stadt Wien (MA 18 DI Clemens Horak, Bakk) wurden für die Projektbearbeitung folgende Daten durch die Magistratsabteilungen der Stadt Wien zur Verfügung gestellt:

- MA 21: Generalisierte Flächenwidmung mit Bauklassenabgrenzung als Flächenbestand, sowie besondere Bestimmungen, Höhen als Flächenbestand, bebaubare Flächen als Flächenbestand – Ansprechpartner/Übermittler: Hr. DI Mario Marth
- MA 37: ELAK, Auszüge zu Bauanzeigen (Information über Dachgeschoßausbauten und Sanierungen seit 2005) – Ansprechpartner/Übermittler: Hr. Ing. Richard Nowak

Über eine Vereinbarung mit der MA37 wurden die Bauakten folgender Liegenschaften ausgehoben:

- Sandleitengasse 43 („Sandleitenhof“),
- Handelskai 154-156 (Wohnhausanlage Wehlistraße „Hubert-Hladej-Hof“),
- Skraupstraße 24/44-54 („Heinz-Nittel-Hof“),
- Erzherzog-Karl-Straße 57 („Hofer Supermarkt“)

Neben diesen Daten werden aus dem OGD-Angebot der Stadt Wien folgende Daten für die Analysen, Berechnungen und die Simulation verwendet:

- Gebäude aus dem Baukörpermodell
- Bauperioden
- Bezirksgrenzen
- Realnutzungskartierung

Der Download erfolgte über die OGD-Plattform: www.data.gv.at

Informationen über Denkmalschutz:

- Denkmalliste des Bundesdenkmalamts für Wien

Eine detaillierte Übersicht über Formate und Attribute der Datensätze ist im Folgenden in den Metadatenübersichten in den Abschnitten 9.3-9.7 dargestellt.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Die im Projekt verwendeten Daten unterliegen keinen Persönlichkeitsrechten. Die Urheberrechte der jeweiligen Datensätze sind in den Metadatenübersichten in den Abschnitten 8.2-8.5 dargestellt. Bei Open Government Data der Stadt Wien unterliegen die Datensätze der Lizenz „Creative Commons Namensnennung 4.0 International“ und können über die Open-Data-Plattform www.data.gv.at bezogen werden. Andere Datenauszüge der Stadt Wien wurden im Zuge einer Kooperationsvereinbarung und Datennutzungsvereinbarung überlassen (siehe *Datenerstellung und Dokumentation* in 8.1. und *Metadaten Kooperationsvereinbarung* in Abschnitt 8.3.) und dürfen vom

Projektkonsortium nur für die Bearbeitung des Projekts M-DAB2 verwendet und nicht weitergegeben werden.

Andere Daten (z.B. aus Vorprojekten der Projektpartner) sind bereits publiziert.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Der Datenaustausch zwischen den Projektpartnern erfolgt über eine TU-interne Cloud-Lösung („TU Owncloud“). Die Datengrundlage für die Simulation wird in einer PostgreSQL Datenbank auf einem virtuellen Server innerhalb des TU-Netzes gehalten. Backups erfolgen automatisiert über die IT-Services der TU Wien.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Für die Projektbearbeitung und Erforschung der Methodik wurden durch die Magistratsabteilungen der Stadt Wien im Zuge einer Kooperationsvereinbarung (Institut für Raumplanung der TU Wien (Prof. Dr. Andreas Voigt) und der Stadt Wien (MA 18 DI Clemens Horak, Bakk)) folgende Daten zur Verfügung gestellt:

- MA 21: Generalisierte Flächenwidmung mit Bauklassenabgrenzung als Flächenbestand, sowie besondere Bestimmung Höhen als Flächenbestand, bebaubare Flächen als Flächenbestand – Ansprechpartner/Übermittler: Hr. DI Mario Marth
- MA 37: ELAK, Auszüge zu Bauanzeigen (Information über Dachgeschoßausbauten und Sanierungen seit 2005) – Ansprechpartner/Übermittler: Hr. Ing. Richard Nowak

Diese Datensätze dürfen lt. Kooperationsvereinbarung nicht weitergegeben werden.

Die Datengrundlage für die Simulation, wird in einer PostgreSQL Datenbank auf einem virtuellen Server innerhalb des TU-Netzes gehalten. Ein Zugriff auf die Rohdaten kann aufgrund der Kooperationsvereinbarung mit der Stadt Wien nicht gewährt werden. Der Zugriff ist lediglich über den Visualisierungsprototypen möglich, da hier die Daten durch Aggregation ausreichend abstrahiert wurden. Ein Zugriff auf den Visualisierungsprototypen kann auf Anfrage an das Projektteam gewährt werden.

9.3. Metadaten www.data.gv.at (OGD)

Die Struktur und Beschreibung der Metadaten der OGD-Datensätze können www.data.gv.at entnommen werden. Folgende Datensätze sind eingeflossen:

Tabelle 10: OGD Datensätze von www.data.gv.at mit Downloadzeitpunkt

Datensatz	(letztes) Bezugsdatum
<p><i>Daten für Gebäudeinformationen (Download shp-Dateien)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Baukörpermodell (LOD0.4) Grunddaten aus der Flächen-MZK Vektordaten Wien • Gebäudeinformation Standorte Wien • Bauperioden und Bautypologien Wien • Realnutzungskartierung ab 2007 Wien (2020) • Flächen-Mehrzweckkarte FMZK • BEV Kataster und Grenzen 	<p>15.11.2022</p> <p>15.11.2022</p> <p>15.11.2022</p> <p>15.11.2022</p> <p>30.11.2022</p> <p>30.11.2022</p>
<p><i>Daten für Filterberechnungen (via Webservice in QGIS)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Themen/Datensatz/bzw. Layer im Webservice 	
<p>Filter Grünraum</p> <ul style="list-style-type: none"> • öffentlich zugängliche Grünflächen (Flächen)/ "Oeffentlich zugaengliche Gruenflaechen - Flaechen" • Friedhöfe;Parklandschaft;Wald und Wiese/ "Realnutzungskartierung_2020" • 150m Erreichbarkeit/ "GRUENRAUM_ERREICHBK_150M" • 250m Erreichbarkeit/ "GRUENRAUM_ERREICHBK_250M" 	<p>24.02.2023</p> <p>06.06.2023</p> <p>14.06.2023</p> <p>14.06.2023</p>
<p>Filter Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erdwärmepotential/ "Erdwaermepotential" • Erdwärmesonden/ "ErdwaermeSonden" • thermische Grundwassernutzung/ "Thermische_Grundwassernutzung" • Solarpotential/ "Solarpotential_2022_Leistung" • Fernwärme; Fernkälte/ "MA18/MA28 Leitungskataster" • Abwasserwärme/ „Abwasserwaerme" 	<p>05.06.2023</p> <p>26.02.2023</p> <p>24.02.2023</p> <p>09.03.2023</p> <p>20.01.2023</p> <p>02.03.2023</p>
<p>Filter Mobilität</p> <ul style="list-style-type: none"> • ÖV-Güteklasse/ "OeV_Gueteklassen" • BikeSharingStation/ "bikesharemap" • ElektroladeStation/ "Elektroladestationen" • Radwege/ "Radwege" 	<p>04.03.2023</p> <p>14.06.2023</p> <p>24.02.2023</p> <p>24.02.2023</p>

9.4. Metadaten Denkmalliste (OGD)

Link und Downloaddatum für M-DAB2:

<https://www.bda.gv.at/service/denkmalverzeichnisse/denkmalliste-gemaess-3-dmsg.html>,
15.11.2022

Titel: Denkmalliste gemäß § 3 DMSG

Beschreibung: Die Liste ist nach Bundesländern, innerhalb der Bundesländer nach Gemeinden, innerhalb der Gemeinden nach Adressen, und zwar jeweils alphabetisch bzw. nach Katastralgemeindenummern geordnet. Der Umfang der Unterschutzstellung ist in der tabellarischen Übersicht nicht angeführt. Die Tatsache der Unterschutzstellung unbeweglicher Denkmale ist im Grundbuch ersichtlich gemacht. Die entsprechenden Unterlagen finden Sie in der Urkundensammlung des Grundbuchs. Unter Denkmalschutz stehende bewegliche Objekte sind in dieser Liste nicht enthalten. Auskünfte zu den einzelnen Objekten können bei den zuständigen regionalen Abteilungen bzw. in der Zentrale des Bundesdenkmalamtes eingeholt werden. Der für die Erstellung der Listen relevante Stichtag ist in der Kopfzeile des pdf-Files angeführt und gilt analog für die anderen Formate. Die Aktualisierung erfolgt jeweils mit 1. Jänner (bis spätestens 30. Juni) jedes Kalenderjahres.

Bei der Denkmalliste handelt es sich um ein freies Werk gemäß § 7 Abs. 1 Urheberrechtsgesetz. Sie genießt daher keinen urheberrechtlichen Schutz.

Tabelle 11: Metadaten Denkmalliste OGD BDA

Datenverantwortliche Stelle	Bundesdenkmalamt
Kontaktseite der datenverantwortlichen Stelle	https://www.bda.gv.at/ueber-uns/startseite-kontakt.html
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	service@bda.gv.at
Veröffentlichende Stelle	Bundesdenkmalamt
Kontaktseite der veröffentlichenden Stelle	https://www.bda.gv.at/ueber-uns/startseite-kontakt.html
Veröffentlichende Stelle - E-Mailkontakt	service@bda.gv.at
Lizenz	freies Werk gemäß § 7 Abs. 1 Urheberrechtsgesetz
Attributbeschreibung	ObjektID;Gemeinde (=Gemeindenname + Gemeindenummer9; KG (=Katastralgemeindenname + Katastralgemeindenummer); Bezeichnung (=Objektnamen und Kurzbeschreibung); Adresse (=Adresse, Straße, Nummer); GdstNr (=Grundstücksnummer); Status (=Beschreibung der Unterschutzstellung durch Bescheid, Verordnung, ...)
Geographische Abdeckung/Lage	3.376 Objekte in Wien
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	29.06.2022

9.5. Metadaten Kooperationsvereinbarung MA 18

9.5.1. Metadaten Widmung/Bauklassen Stadt Wien

Link und Downloaddatum für M-DAB2:

Bereitstellung durch MA 21/ Daten bereitgestellt durch Christian Müllegger am 17.08.2022

Titel: Polygonbestand des Flächenwidmungs- und Bebauungsplans der Gemeinde Wien

Beschreibung: Generalisierte Flächenwidmung mit der BKL-Abgrenzung als Flächenbestand

Tabelle 12: Metadaten Widmung/Bauklassen

Datenverantwortliche Stelle	Magistrat Wien - Magistratsabteilung 21 - Stadtteilplanung und Flächennutzung
Kontaktseite der datenverantwortlichen Stelle	https://www.wien.gv.at/advuew/internet/AdvPrSrv.asp?Layout=stelle&Type=K&stellecd=2012101511392613
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	post@ma21.wien.gv.at
Lizenz	Kooperationsvereinbarung und Nutzungsbedingung für Projekt M-DAB2 keine Weitergabe an Dritte
Attributbeschreibung	Attribut, OBJEKTID (Shape, Int64), Hauptwidmung (String), Bauklasse (String), Beschränkte Bebaubare Fläche (String), Bauhöhenbeschränkung (String), Bebaubarkeit (String) B/U, Shape_Length (Double) Abgeleitete Attribute für M-DAB2: Nutzung (int), Baukl (int), Baukl_min (Double), Baukl_max (Double), bb_minmax (Double), bb_maxmax (Double), bauh_minmax (Double), bauh_maxmax (Double), maxbeb_m2 (Double), beb_flaeche_rate (double) bebaubar (boolean)
Geographische Abdeckung/Lage	Wien (gesamtes Stadtgebiet)
Geographische Ausdehnung	WGS84: POLYGON ((16.1882008772998987 48.1213538551402991, 16.5481423536746988 48.3062722350344984))
Datenqualität/Herkunft	Daten bereitgestellt von Hr. DI Mario Marth, MA 21 Meta-Datenbeschreibung durch M-DAB Team / Stefan Bindreiter
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenabzug vom 17.08.2022

9.5.2. Metadaten Bauanzeigen Stadt Wien – Update

Link und Downloaddatum für M-DAB/M-DAB2:

Bereitstellung durch MA 37 am 27.05.2020 (für Projekt M-DAB),

Update am 12.10.2022 (für Projekt M-DAB2)

Titel: Datenexport nach Berichtsschema P1

Beschreibung: Datenabzug Bauverfahren / Baubeginne u. Fertigstellungen, mehr als 72.000 Einträge von 2005-2020/01 für M-DAB1

Aktualisierte Datenabzüge Bauverfahren / Baubeginne u. Fertigstellungen, mehr als 9000 Einträge für die Jahre 2019, 2020, 2021 und 2022 bis einschließlich September 2022 (für M-DAB2)

Tabelle 13: Metadaten Bauanzeigen / Datenauszug

Datenverantwortliche Stelle	Magistratsabteilung 37 – Baupolizei
Kontaktseite der datenverantwortlichen Stelle	https://www.wien.gv.at/kontakte/ma37/index.html
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	post@ma37.wien.gv.at
Lizenz	Kooperationsvereinbarung und Nutzungsbedingung für Projekt M-DAB2 keine Weitergabe an Dritte Hinweis: In einem gemeinsamen Video-Meeting (M-DAB1) und div. Telefonaten (M-DAB2) wurden nur die fettgedruckten Attribute aus dem Datenauszuge extrahiert und für die weitere Projektnutzung verwendet
Attributbeschreibung	Name, Bezirk, Straße, Hausnummer, Katastralgemeinde-Name, Einlagezahl, Titel, ACD (=Adresscode), Geschäftsfallmaterie, Status (1), Sachgebiet, Begriffe, Betreff/Ergänzungen, Zuständige OE, Zuständige/r Bearbeiter/in, Ein-/Ausgangsdatum, Status des Geschäftsfalls, Abgelegt am, Fachdatum, Wert, Am/Von, Abgelegt, FD1, FD2, FD3, FD4, ENDE DLZ , Kleing, KLG, 70a, Bauanz, 62, Dach, DG, Neub, Erricht, Zubau, Umbau, Abbruch, baul, techn, 61, Planwechsel, Planw, KLG, 70a, Bauanzeige 62, DG-Ausbau (=ja/nein Dachgeschoßausbau), Neubau (=ja/nein Neubau), Zubau (=ja/nein Zubau), Umbau (=ja/nein Umbau), Abbruch (=ja/nein Abbruch) , baul. Änderung, techn. Anlage, Planwechsel, Sonstiges)
Geographische Abdeckung/Lage	Wien (gesamtes Stadtgebiet), gefiltert 55.793 Einträge mit positiven Einträgen zu DG-Ausbau, Neubau, Zubau, Umbau oder Abbruch
Geographische Ausdehnung	WGS84: POLYGON ((16.577511 48.322571, 16.18218 48.117668))
Datenqualität/Herkunft	Daten bereitgestellt durch Hrn. Ing. Richard Nowak, MA37
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	27.05.2020 / Update 30.09.2022

9.6. Metadaten Datensätze M-DAB2

9.6.1. DB-Metadaten – Attributsammlung je Gebäudeteil (Materialien)

Titel: Gebäude (bkm_materials) Basisdaten Materialien

Beschreibung: Datenbank-Tabelle mit gesammelten Attributen auf Gebäudeteilebene, welche den Status-Quo des Gebäudebestands der Stadt Wien abbilden. Sie bilden die Grundlage für die Ermittlung der Flächenpotentiale (Grundflächen- und Geschoßflächenpotentiale) und die Basis für die Aggregation der Materialmengen auf den Rasterzellen- und der gesamtstädtischen Ebene. Die Tabelle ist aus Performancegründen geteilt mit „Gebäude Basisdaten Potentiale“ (siehe Abschnitt 9.6.2).

Tabelle 14: Metadaten Attributsammlung je Rasterzelle

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	id (integer): Primary Key; geom (USER-DEFINED): Geometrie des Gebäudeteils; fmzk_id (double precision): Eindeutige ID für Gebäudeteil aus Flächen-Mehrzweckkarte; flaeche (double precision): Grundfläche des Gebäudeteils in m ² (gerundet auf 2 Stellen); volumen (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils in m ³ (gerundet auf 2 Stellen) - Grundfläche mal Traufhöh; use (integer): Nutzung 1 Wohnen, 2 Gemischt, 3 Industrie, 4 Sonstiges; bp (integer): Bauperiode 0 ... unbekannt, 1 ... bis einschl. 1918, 2 ... 1919-1945 , 3 ... 1946-1979, 4 ... 1980-2000 , 5 ... nach 2000; size (integer): 1 ... bis 1.000m ³ gross volume (GV), 2 ... 1.000-10.000m ³ GV 1, 3 ... über 10.000m ³ GV; bmg1 (double precision): Bestand Materialgruppe 1 in (t) je Gebäudeteil; bmg2 (double precision): Bestand Materialgruppe 2 in (t); bmg3 (double precision): Bestand Materialgruppe 3 in (t); bmg4 (double precision): Bestand Materialgruppe 4 in (t); bmg5 (double precision): Bestand Materialgruppe 5 in (t); bmg6 (double precision): Bestand Materialgruppe 6 in (t); bmg7 (double precision): Bestand Materialgruppe 7 in (t); bmg8 (double precision): Bestand Materialgruppe 8 in (t); bmg9 (double precision): Bestand Materialgruppe 9 in (t); bmg1_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 1 in (t) je Gebäudeteil für Gebäudeteile die auf nichtmehr bebaubaren Flächen liegen (also idR nicht abgerissen werden); bmg2_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 2 in (t); bmg3_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 3 in (t); bmg4_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 4 in (t); bmg5_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 5 in (t); bmg6_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 6 in (t); bmg7_bbk_u (double

	<p>precision): Bestand Materialgruppe 7 in (t); bmg8_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 8 in (t); bmg9_bbk_u (double precision): Bestand Materialgruppe 9 in (t); m3gv_use1 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 1 Wohnen in m³; m3gv_use2 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 2 Gemischt in m³; m3gv_use3 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 3 Industrie in m³; m3gv_use4 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 4 Sonstiges in m³; m2gf_use1 (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 1 Wohnen in m²; m2gf_use2 (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 2 Gemischt in m²; m2gf_use3 (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 3 Industrie in m²; m2gf_use4 (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 4 Sonstiges in m²; m2bgf_use1 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 1 Wohnen in m²; m2bgf_use2 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 2 Gemischt in m²; m2bgf_use3 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 3 Industrie in m²; m2bgf_use4 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 4 Sonstiges in m²; m3gv_use1_bbk_u (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 1 Wohnen in m³; m3gv_use2_bbk_u (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 2 Gemischt in m³; m3gv_use3_bbk_u (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 3 Industrie in m³; m3gv_use4_bbk_u (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 4 Sonstiges in m³; m2gf_use1_bbk_u (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 1 Wohnen in m²; m2gf_use2_bbk_u (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 2 Gemischt in m²; m2gf_use3_bbk_u (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 3 Industrie in m²; m2gf_use4_bbk_u (double precision): Bestand Grundfläche Nutzung 4 Sonstiges in m²; m2bgf_use1_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 1 Wohnen in m²; m2bgf_use2_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 2 Gemischt in m²; m2bgf_use3_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 3 Industrie in m²; m2bgf_use4_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 4 Sonstiges in m²;</p>
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB2
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Stichtagsdaten Baukörpermodell 15.11.2022, Finale Version M-DAB2 vom 31.12.2023

9.6.2. DB-Metadaten – Attributsammlung je Gebäudeteil (Potentiale)

Titel: Gebäude (bkm_potentials) Basisdaten Potentiale

Beschreibung: Datenbank-Tabelle mit gesammelten Attributen auf Gebäudeteilebene, welche den Status-Quo des Gebäudebestands der Stadt Wien abbilden. Sie bilden die Grundlage für die Ermittlung der Flächenpotentiale (Grundflächen- und Geschoßflächenpotentiale) und die Basis für die Aggregation der Materialmengen auf den Rasterzellen- und der gesamtstädtischen Ebene. Die Tabelle ist aus Performancegründen geteilt mit „Gebäude Basisdaten Materialien“ (siehe Abschnitt 9.6.1).

Tabelle 15: Metadaten Attributsammlung je Gebäudeteil (Potentiale)

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	<p>id (integer): Primary Key; geom (USER-DEFINED): Geometrie des Gebäudeteils; fmzk_id (double precision): Eindeutige ID für Gebäudeteil aus Flächen-Mehrzweckkarte; flaeche (double precision): Grundfläche des Gebäudeteils in m² (gerundet auf 2 Stellen); size (integer): 1 ... bis 1.000m³ gross volume (GV), 2 ... 1.000-10.000m³ GV 1, 3 ... über 10.000m³ GV; use (integer): Nutzung 1 Wohnen, 2 Gemischt, 3 Industrie, 4 Sonstiges; bp (integer): Bauperiode 0 ... unbekannt, 1 ... bis einschl. 1918, 2 ... 1919-1945 , 3 ... 1946-1979, 4 ... 1980-2000 , 5 ... nach 2000; m3volumen (double precision): Volumen des Gebäudeteils (Fläche mal Traufhöhe) in m³; geschosshoehe (integer): Geschosshoehe - Annahme auf Basis der Nutzung -> 3m bei Nutzung Wohnen + Sonstiges, 4m bei Nutzung Gemischt + Industrie; geschosse (integer): Anzahl der Geschosse (Ganzzahl abgerundet -> Traufhöhe/Geschosshoehe); geschosshoehe_3_2 (double precision): Geschosshoehe - Annahme auf Basis der Nutzung -> 3.2 bei Wohnen und sonstiges, 4m bei Nutzung Gemischt + Industrie; m2bfg_use1 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 1 Wohnen in m²; m2bfg_use2 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 2 Gemischt in m²; m2bfg_use3 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 3 Industrie in m²; m2bfg_use4 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 4 Sonstiges in m²; m3gv_use1 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 1 Wohnen in m³; m3gv_use2 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 2 Gemischt in m³; m3gv_use3 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 3 Industrie in m³; m3gv_use4 (double precision): Bruttorauminhalt des Gebäudeteils Nutzung 4 Sonstiges in m³; m2gfzpot_min (double precision): min. Geschoßflächenpotential in m² bei Gebäudeteilen > 50m² Grundfläche:</p>

	<p>wenn kein Denkmalschutz und letzte bauliche Veränderung (lt. ELAK MA37) vor dem Jahr 2000 dann Ermittlung Anzahl möglicher zusätzlicher Geschosse*Grundfläche (abgerundet((max Hoehe in Bebauungsplan abzgl. Gebäudehöhe)/Geschosshöhe)*Grundfläche); m2gfzpot_minbkl (double precision): min. Geschoßflächenpotential in m² bei Gebäudeteilen > 50m² Grundfläche: wenn kein Denkmalschutz und letzte bauliche Veränderung (lt. ELAK MA37) vor dem Jahr 2000 dann Ermittlung Anzahl möglicher zusätzlicher Geschosse*Grundfläche (abgerundet((min zulässige Hoehe in Bebauungsplan abzgl. Gebäudehöhe)/Geschosshöhe)*Grundfläche) ; m2gfzpot_max (double precision): max. Geschoßflächenpotential in m² bei Gebäudeteilen > 50m² Grundfläche: wenn kein Denkmalschutz und letzte bauliche Veränderung (lt. ELAK MA37) vor dem Jahr 2000 dann Ermittlung Anzahl möglicher zusätzlicher Geschosse*Grundfläche (abgerundet ((max Hoehe in Bebauungsplan abzgl. Gebäudehöhe)/Geschosshöhe)*Grundfläche); m2gfzpot_max_plus (double precision): wie m2gfzpot_max +1Geschoss; m2gfzpot_min_gh3_2 (double precision): wie m2gfzpot_min -> Annahme Geschosshoehe 3.2m bei use1, use4; m2gfzpot_minbkl_gh3_2 (double precision): wie m2gfzpot_minbkl -> Annahme Geschosshoehe 3.2m bei use1, use4; m2gfzpot_max_gh3_2 (double precision): wie m2gfzpot_max -> Annahme Geschosshoehe 3.2m bei use1, use4; m2gfzpot_maxplus_gh3_2 (double precision): wie m2gfzpot_maxplus -> Annahme Geschosshoehe 3.2m bei use1, use4; m2dga_use1 (double precision): Dachgeschoßausbau Potential in m² bei Gebäudeteilen > 100m² Grundfläche: wenn kein Denkmalschutz und letzte bauliche Veränderung (lt. ELAK MA37) vor dem Jahr 2000, Nutzung Wohnen; m2dga_use2 (double precision): Dachgeschoßausbau Potential in m² bei Gebäudeteilen > 100m² Grundfläche: wenn kein Denkmalschutz und letzte bauliche Veränderung (lt. ELAK MA37) vor dem Jahr 2000, Nutzung Gemischt; denkmalongst (integer): > 0 wenn für das Grundstück des Gebäudeteils ein Eintrag in der Denkmalliste des Bundesdenkmalamts vorhanden ist;</p>
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB2
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Stichtagsdaten Baukörpermodell 15.11.2022, Finale Version M-DAB2 vom 31.12.2023

9.6.3. DB-Metadaten – Attributsammlung je Rasterzelle

Titel: Rasterzelle (patch_data) Basisdaten

Beschreibung: Datenbank-Tabelle mit gesammelten Attributen auf Rasterzellen-Ebene

Tabelle 16: Metadaten Attributsammlung je Rasterzelle

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	<p>id (integer): Primary Key; geom (USER-DEFINED): Geometrie Gridzelle; fid (bigint): Primary Key aus QGIS; area_grid (double precision): Fläche in m²; area_proj (double precision): Fläche in m² projiziert; patch_id (character varying): x_y für Zeilen und Spalten von links unten 0_0 bis rechts oben 196_151; bmg1 (double precision): Bestand Materialgruppe 1 in (t) kumuliert aus Gebäudeteilen (Gebäudeteile die in mehreren Gridzellen liegen werden aliquot zur Gebäudeteilgrundfläche auf Gridzellen aufgeteilt); bmg2 (double precision): Bestand Materialgruppe 2 in (t); bmg3 (double precision): Bestand Materialgruppe 3 in (t); bmg4 (double precision): Bestand Materialgruppe 4 in (t); bmg5 (double precision): Bestand Materialgruppe 5 in (t); bmg6 (double precision): Bestand Materialgruppe 6 in (t); bmg7 (double precision): Bestand Materialgruppe 7 in (t); bmg8 (double precision): Bestand Materialgruppe 8 in (t); bmg9 (double precision): Bestand Materialgruppe 9 in (t); bmg1_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 1 (nicht abbrechbar); bmg2_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 2 (nicht abbrechbar); bmg3_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 3 (nicht abbrechbar); bmg4_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 4 (nicht abbrechbar); bmg5_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 5 (nicht abbrechbar); bmg6_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 6 (nicht abbrechbar); bmg7_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 7 (nicht abbrechbar); bmg8_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 8 (nicht abbrechbar); bmg9_bbk_u (double precision): bestand materialgruppe 9 (nicht abbrechbar) ; m3gv_use1 (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 1 Gemischt in m³; m3gv_use2 (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 2 Gemischt in m³ ; m3gv_use3 (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 3 Gemischt in m³; m3gv_use4 (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 4 Gemischt in m³; m3gv_total (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) gesamt in m³; m3gv_use1_bbk_u (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 1 Gemischt in m³ (nicht abbrechbar); m3gv_use2_bbk_u (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 2 Gemischt in m³ (nicht abbrechbar); m3gv_use3_bbk_u (double precision): Bestand umbautes Volumen (gross volume) Nutzung 3 Gemischt in m³ (nicht abbrechbar); m3gv_use4_bbk_u (double precision): Bestand umbautes</p>

Volumen (gross volume) Nutzung 4 Gemischt in m³ (nicht abbrechbar);
 mix_mg1_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 1 in t je m3 in patchzelle (bmg1 / m3gv_total); mix_mg2_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 2 in t je m3 in patchzelle;
 mix_mg3_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 3 in t je m3 in patchzelle; mix_mg4_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 4 in t je m3 in patchzelle; mix_mg5_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 5 in t je m3 in patchzelle;
 mix_mg6_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 6 in t je m3 in patchzelle; mix_mg7_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 7 in t je m3 in patchzelle; mix_mg8_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 8 in t je m3 in patchzelle;
 mix_mg9_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgruppe 9 in t je m3 in patchzelle; mix_mat_t_je_m3 (double precision): materialmix materialgesamt in t je m3 in patchzelle ((bmg1 + bmg2 + bmg3 + bmg4 + bmg5 + bmg6 + bmg7 + bmg8 + bmg9)/m3gv_total); m2bfg_use1 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 1 Wohnen in m²;
 m2bfg_use2 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 2 Gemischt in m²; m2bfg_use3 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 3 Industrie in m²; m2bfg_use4 (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 4 Sonstiges in m²;
 m2bfg_use1_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 1 Wohnen in m² (nicht abbrechbar); m2bfg_use2_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 2 Gemischt in m² (nicht abbrechbar); m2bfg_use3_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 3 Industrie in m² (nicht abbrechbar);
 m2bfg_use4_bbk_u (double precision): Bestand Bruttogeschoßfläche Nutzung 4 Sonstiges in m² (nicht abbrechbar); m2bfp_use1 (double precision): Bauflächenpotential Nutzung 1 Wohnen in m² (Grundflächen ungebaut - Algorithmus Forster 35%); m2bfp_use2 (double precision): Bauflächenpotential Nutzung 2 Gemischt in m² (Grundflächen ungebaut - Algorithmus Forster 35%); m2bfp_use3 (double precision): Bauflächenpotential Nutzung 3 Industrie in m² (Grundflächen ungebaut - Algorithmus Forster 35%); m2bfp_use4 (double precision): Bauflächenpotential Nutzung 4 Sonstiges in m² (Grundflächen ungebaut - Algorithmus Forster 35%); m2gf_use1_bbk_u (double precision): Bestand Nutzung 1 Wohnen in m² (Grundflächen); m2gf_use2_bbk_u (double precision): Bestand Nutzung 2 Gemischt in m² (Grundflächen); m2gf_use3_bbk_u (double precision): Bestand Nutzung 3 Industrie in m² (Grundflächen); m2gf_use4_bbk_u (double precision): Bestand Nutzung 4 Sonstiges in m² (Grundflächen); m2gfzpot_use1_min (double precision): min. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 1 Wohnen in m² (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfzpot_use2_min (double precision): min. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 2 Gemischt in m² (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfzpot_use3_min (double precision): min. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 3 Industrie in m² (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfzpot_use4_min (double precision): min. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 4 Sonstiges in m² (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfzpot_use1_max (double precision): max. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 1 Wohnen in m² (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfzpot_use2_max (double precision): max. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 2 Gemischt in m² (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfzpot_use3_max (double precision): max.

Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 3 Industrie in m² (Annahme Geschosshöhe 4m);
 m2gfzpot_use4_max (double precision): max. Geschoßflächenpotential Aufstockung/DGA lt. Bebauungsplan im für Bestand Nutzung 4 Sonstiges in m² (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfzpot_use1_maxplus (double precision): max geschossflaechenpotential +1geschoss im bestand nutzung 1 wohnen; m2gfzpot_use2_maxplus (double precision): max geschossflaechenpotential +1geschoss im bestand nutzung 2 gemischt; m2gfzpot_use3_maxplus (double precision): max geschossflaechenpotential +1geschoss im bestand nutzung 3 industrie; m2gfzpot_use4_maxplus (double precision): max geschossflaechenpotential +1geschoss im bestand nutzung 4 sonstiges; m2gfzpot_gh3_2_use1_min (double precision): min geschossflaechenpotential im bestand nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfzpot_gh3_2_use1_max (double precision): max geschossflaechenpotential im bestand nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfzpot_gh3_2_use4_min (double precision): min geschossflaechenpotential im bestand nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfzpot_gh3_2_use4_max (double precision): max geschossflaechenpotential im bestand nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfzpot_gh3_2_use1_maxplus (double precision): max geschossflaechenpotential +1geschoss im bestand nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfzpot_gh3_2_use4_maxplus (double precision): max geschossflaechenpotential +1geschoss im bestand nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3.2m) ; m3gvnp_use1_min (double precision): min BRI potential nutzung 1 wohnen; m3gvnp_use2_min (double precision): min BRI potential nutzung 2 gemischt; m3gvnp_use3_min (double precision): min BRI potential nutzung 3 industrie; m3gvnp_use4_min (double precision): min BRI potential nutzung 4 sonstiges; m3gvnp_use1_max (double precision): max BRI potential nutzung 1 wohnen; m3gvnp_use2_max (double precision): max BRI potential nutzung 2 gemischt; m3gvnp_use3_max (double precision): max BRI potential nutzung 3 industrie; m3gvnp_use4_max (double precision): max BRI potential nutzung 4 sonstiges; m3gvnp_use1_maxplus (double precision): max BRI potential +1geschoss nutzung 1 wohnen; m3gvnp_use2_maxplus (double precision): max BRI potential +1geschoss nutzung 2 gemischt; m3gvnp_use3_maxplus (double precision): max BRI potential +1geschoss nutzung 3 industrie; m3gvnp_use4_maxplus (double precision): max BRI potential +1geschoss nutzung 4 sonstiges ; m3gvnp3_2_use1_min (double precision): min BRI potential +1geschoss geschosshoehe 3_2 nutzung 1 wohnen; m3gvnp3_2_use4_min (double precision): min BRI potential +1geschoss geschosshoehe 3_2 nutzung 4 sonstiges; m3gvnp3_2_use1_max (double precision): max BRI potential +1geschoss geschosshoehe 3_2 nutzung 1 wohnen; m3gvnp3_2_use4_max (double precision): max BRI potential +1geschoss geschosshoehe 3_2 nutzung 4 sonstiges; m3gvnp3_2_use1_maxplus (double precision): max BRI potential +1geschoss geschosshoehe 3_2 nutzung 1 wohnen; m3gvnp3_2_use4_maxplus (double precision): max BRI potential +1geschoss geschosshoehe 3_2 nutzung 4 sonstiges; m2gfznp_use1_min (double precision): min Geschoßflächenpotential auf bauflaechenpotential nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfznp_use2_min (double precision): min Geschoßflächenpotential auf bauflaechenpotential nutzung 2 gemischt (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfznp_use3_min (double precision): min Geschoßflächenpotential auf bauflaechenpotential nutzung 3 industrie (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfznp_use4_min (double precision): min Geschoßflächenpotential auf

	<p> baulaeichenpotential nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfznp_use1_max (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential Nutzung 1 Wohnen in m² (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfznp_use2_max (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential Nutzung 2 Gemischt in m² (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfznp_use3_max (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential Nutzung 3 Industrie in m² (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfznp_use4_max (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential Nutzung 4 Sonstiges in m² (Annahme Geschosshöhe 3m); m2gfznp_use1_maxplus (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential +1geschoss nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3m); m2gfznp_use2_maxplus (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential +1geschoss nutzung 2 gemischt (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfznp_use3_maxplus (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential +1geschoss nutzung 3 industrie (Annahme Geschosshöhe 4m); m2gfznp_use4_maxplus (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential +1geschoss nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3m); m2gfznp3_2_use1_min (double precision): min Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfznp3_2_use4_min (double precision): min Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfznp3_2_use1_max (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfznp3_2_use4_max (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfznp3_2_use1_maxplus (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential +1geschoss nutzung 1 wohnen (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2gfznp3_2_use4_maxplus (double precision): max Geschoßflächenpotential auf Baufächenpotential +1geschoss nutzung 4 sonstiges (Annahme Geschosshoehe 3.2m); m2dga_use1 (double precision): Dachgeschoßpotential in m² nutzung 1 Wohnen (kein ELAK nach 2000, kein Denkmalschutz, Grundflächen > 100m², Bauklasse <=5); m2dga_use2 (double precision): Dachgeschoßpotential in m² nutzung 2 Gemischt (kein ELAK nach 2000, kein Denkmalschutz, Grundflächen > 100m², Bauklasse <=5); m3dga3_2_use1 (double precision): Volumen Dachgeschoßausbaupotential in m³ nutzung 1 Wohnen m2dga_use1*3.2/2 (DGA Fläche mal 3.2m Geschoßhöhe / 2); m3dga3_2_use2 (double precision): Volumen Dachgeschoßausbaupotential in m³ nutzung 2 Gemischt m2dga_use2*3.2/2 (DGA Fläche mal 3.2m Geschoßhöhe / 2); filter_energy (numeric): Werte 0, 1, 2; filter_greenery (numeric): Werte 0, 1, 2; filter_mobility (numeric): Werte 0, 1, 2; p1_sim (double precision): Ähnlichkeit zum Potentialprofil P1; p2_sim (double precision): Ähnlichkeit zum Potentialprofil P2; p3_sim (double precision): Ähnlichkeit zum Potentialprofil P3; p4_sim (double precision): Ähnlichkeit zum Potentialprofil P4; p5_sim (double precision): Ähnlichkeit zum Potentialprofil P5 </p>
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB2
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Stichtagsdaten Baukörpermodell 15.11.2022, Finale Version M-DAB2 vom 31.12.2023

9.6.4. DB-Views für kumulierte Darstellungen

Auf Basis dieser Grundlagentabellen sind aus Performancegründen für die statistischen Auswertungen, Diagrammdaten und die Histogramme noch einige Datenbank-Views erstellt worden, welche die Daten für die unterschiedlichsten Konfigurationseinstellungen aggregieren.

9.7. Metadaten Datensätze aus Vorprojekten (M-DAB)

Die Daten wurden mit den im Vorgängerprojekt M-DAB entwickelten Methoden aktualisiert und in die M-DAB2 Datenbank eingespielt. Die wesentlichsten Inhalte sind die Materialmengen je m² Bruttogeschoßfläche bzw. je m³ Bruttogebäudevolumen, die für die unterschiedlichen Bauperioden, Gebäudenutzungen und Gebäudegrößen hinterlegt wurden. Zudem wurden im Zuge des Projekts eine umfassende Attributsammlung auf Gebäudeteilebene aus unterschiedlichsten Quellen zusammengestellt.

9.7.1. DB-Metadaten – Attributsammlung je Gebäudeteil M-DAB1

Titel: Gebäude Basisdaten

Beschreibung: Tabelle mit gesammelten Attributen auf Gebäudeteilebene, welche den Status-Quo des Gebäudebestands der Stadt Wien abbilden. Sie bilden die Grundlage für die Ermittlung der Flächenpotentiale (Grundflächen- und Geschoßflächenpotentiale) und die Basis für die Aggregation der Materialmengen auf den Rasterzellen- und der gesamtstädtischen Ebene.

Tabelle 17: Metadaten Datenbankabfrage Attributsammlung je Gebäudeteil M-DAB

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	<p>name: Bezeichnung des Objekts (Abhängig vom Aggregationslevel: Schlüssel für Gebäudeteil, Gebäude, Baublock, Zählbezirk, Bezirk) text blk: Schlüssel für Baublock, text</p> <p>alevel: Aggregationslevel, numerisch (0-5, wobei 0... Wien, 1... Bezirk, 2... Zählbezirk, 3... Baublock, 4...Gebäude, 5...Gebäudeteil) alevelname: Bezeichnung Aggregationslevel, text flevel: Filterlevel, numerisch (0-3, wobei 0... Wien, 1... Bezirk, 2... Zählbezirk , 3... Baublock) flevelname: Bezeichnung Filterlevel, text</p> <p>agebteile: Anzahl Gebäudeteile, numerisch ageb: Anzahl Gebäude, numerisch</p> <p>baup: Liste der vorkommenden Bauperioden (Namen), nutzungen: Liste der vorkommenden Nutzung (Nutzungsschlüssel),</p> <p>gebeitedga: Anzahl Gebäudeteile mit Dachgeschoßausbau, numerisch gebeilesaniert: Anzahl Gebäudeteile saniert, numerisch gebeiledenkmal: Anzahl Gebäudeteile denkmalgeschützt, numerisch</p> <p>baukl_min: minimale Bauklasse in Aggregation, numerisch baukl_max: maximale Bauklasse in Aggregation, numerisch</p>

	<p>m2flaeche: aggregierte Grundfläche der Gebäudeteile in m², numerisch m3volumen: aggregiertes Volumen der Gebäudeteile in m³, numerisch m2gfz: Bruttogeschoßfläche der Gebäudeteile in m², numerisch m3dgavolpot: Potential Dachgeschoßausbau in m³, numerisch m2gfzpotential: Potential Bruttogeschoßfläche Ausbau in m², numerisch m3gfzvolpot: Potential Gebäudevolumen Ausbau in m³, numerisch <i>m2gfpotential*</i>: Potential Grundfläche Zubau in m², numerisch <i>m3gfvolpotmin*</i>: minimales Potential Gebäudevolumen Zubau in m³, numerisch <i>m3gfvolpotmax*</i>: maximales Potential Gebäudevolumen Zubau in m³, numerisch</p> <p>mgBestand: Array (9 Materialgruppen) des Bestandsmaterials in Tonnen je Materialgruppe mgPotDGAusbau: Array (9 Materialgruppen) des Potentials für Dachgeschoßausbauten in Tonnen je Materialgruppe mgPotDGAOut: Array (9 Materialgruppen) der potentiellen Abbruchmengen durch Dachgeschoßausbauten in Tonnen je Materialgruppe mgPotVollAusbau: Array (9 Materialgruppen) des Potentials für Ausbau in Tonnen je Materialgruppe <i>mgPotZubauMin*</i>: Array (9 Materialgruppen) des minimalen Potentials durch Zubauten in Tonnen je Materialgruppe <i>mgPotZubauMax*</i>: Array (9 Materialgruppen) des maximalen Potentials für Zubauten in Tonnen je Materialgruppe</p> <p><i>*erst ab Aggregationslevel Baublock verfügbar, da auf Gebäude- und Gebäudeteilebene zusätzliche Bauflächenpotentiale am Grundstück nicht erfasst werden können.</i></p>
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenübertrag und Aktualisierung Stichtagsdaten Baukörpermodell 15.11.2022

9.7.2. DB-Metadaten – Materialintensität

Titel: Materialintensität

Beschreibung: Materialintensität in Tonnen je m³ umbauten Raum (Bruttogebäudevolumen)

Tabelle 18: Metadaten Datenbankabfrage Materialintensität

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	<p>baupname: Bezeichnung Bauperiode, text baupcl: Schlüssel Bauperiode, numerisch (0-5) size_id: Schlüssel Gebäudevolumen, numerisch (1-3) use_id: Schlüssel Gebäudenutzung, numerisch (1-4)</p> <p>mg1: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe1, mg2: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe2, mg3: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe3, mg4: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe4, mg5: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe5, mg6: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe6, mg7: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe7, mg8: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe8, mg9: Materialmenge in Tonnen je m³ - Materialgruppe9</p>
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB / Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement - Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenübertrag M-DAB DB -> M-DAB2 DB 21.06.2022

9.7.3. DB-Metadaten – Materialintensität Dachgeschoßausbau

Titel: Materialintensität Dachgeschoßausbau

Beschreibung: Materialintensität in Tonnen je m² Bruttogeschoßfläche (BGF) bei Dachgeschoßausbauten je Materialgruppen, wobei typische Mengen des Abbruchmaterials und die neu verbauten Materialien berücksichtigt werden.

Tabelle 19: Metadaten Datenbankabfrage Materialintensität DGA

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	Datenbankumsetzung mgroupidx: Schlüssel Materialgruppenindex, numerisch (1-9) m_out: Abbruchmaterial in Tonnen je m ² BGF m_in: "Neubau-/Sanierungsmaterial" in Tonnen je m ² BGF
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB / Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement - Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenübertrag M-DAB DB -> M-DAB2 DB 21.06.2022

9.7.4. DB-Metadaten – Materialien

Titel: Materialnamen

Beschreibung: Bezeichnung der Materialien auf Deutsch und Englisch

Tabelle 20: Metadaten Datenbankabfrage Materialien

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	material_id - Primärschlüssel, numerisch name_de: Materialbezeichnung deutsch name_en: Materialbezeichnung englisch mggroup_id: Zuordnung Materialgruppe (Fremdschlüssel, numerisch) Materialnamen (deutsch): "Beton", "Estrich", "Ziegel", "Mörtel", "Putz", "Holz", "Stahl", "Glas", "Mineralwolle", "Polystyrol", "Gips", "Sand", "Kies", "Stein"
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenübertrag M-DAB DB -> M-DAB2 DB 21.06.2022

9.7.5. DB-Metadaten – Materialgruppen

Titel: Materialgruppen

Beschreibung: Bezeichnung der Materialgruppe auf Deutsch und Englisch

Tabelle 21: Metadaten Datenbankabfrage Materialgruppen

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	mgroup_id: Primärschlüssel, numerisch name_de: Materialgruppenbezeichnung deutsch name_en: Materialgruppenbezeichnung englisch Materialgruppen (deutsch): "Beton inkl. Estrich", "Ziegelmauerwerk", "Holz", "Stahl", "Glas", „Mineralwolle", "Polystyrol", "Gipsplatten, Gips", "Sand, Kies, Stein"
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenübertrag M-DAB DB -> M-DAB2 DB 21.06.2022

9.7.6. DB-Metadaten – Gebäudenutzung

Titel: Gebäudenutzung

Beschreibung: Bezeichnung der Gebäudenutzung auf Deutsch und Englisch

Tabelle 22: Metadaten Datenbankabfrage Gebäudenutzung

Datenverantwortliche Stelle	Institut für Raumplanung - Forschungsbereich Örtliche Raumplanung / Simlab
Datenverantwortliche Stelle - E-Mailkontakt	stefan.bindreiter@tuwien.ac.at
Lizenz	Zur projektinternen Verwendung
Attributbeschreibung	use_id: Primärschlüssel, numerisch name_de: Bezeichnung Gebäudenutzung deutsch name_en: Bezeichnung Gebäudenutzung englisch Nutzungsbezeichnungen (deutsch): „Wohnen“, „Gemischt/Büro“, „Industrie“, „Sonstiges“
Datenqualität/Herkunft	Projekt M-DAB
Datensatz, Dienst oder Dokument Änderungsdatum	Datenübertrag M-DAB DB -> M-DAB2 DB 21.06.2022

9.8. Weitere Dokumentenanhänge

Tabellenblatt_AP2.pdf

Kennwerte zur Quantifizierung der Potentialprofile

Testentwürfe_AP3.pdf

Analyseblätter der Testentwürfe analog zu Abbildung 17 und Abbildung 18

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at