

# **GREeNvaluation - Echtzeit Monitoring und Leistungsevaluierung**

M. Kogler, F. Kraus,  
G. Frühwirt, U. Pitha, B. Scharf,  
M. Feher-Lehrner, S. Lins,  
A. Seirafi, P. Seirafi, M. Jech

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**37/2023**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# GREeNvaluation - Echtzeit Monitoring und Leistungsevaluierung

Martha Kogler MSc, DI Florian Kraus  
Green4Cities GmbH

Mag. DI Günther Frühwirt, DI<sup>in</sup> Dr.<sup>in</sup> Ulrike Pitha, DI Dr. Bernhard Scharf  
Universität für Bodenkultur Wien - IBLB Institut  
für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Mag.<sup>a</sup> Maria Feher-Lehrner, Mag.<sup>a</sup> Susanne Lins MAS MSc  
tatwort Nachhaltige Projekte GmbH

André Seirafi, Mag. Patrick Seirafi  
Fluxguide Ausstellungssysteme GmbH

Dr. Markus Jech  
UBIMET GmbH

Wien, Jänner 2023

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## **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](http://www.NachhaltigWirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>12</b>
3.1.	Aktuelle Herausforderungen im urbanen Raum.....	12
3.2.	Relevanz grüner Infrastrukturen im urbanen Raum.....	13
3.2.1.	Dachbegrünung .....	13
3.2.2.	Fassadenbegrünung.....	14
3.2.3.	Park und Grünflächen .....	14
3.2.4.	Gehölze .....	15
3.3.	Bestehende Bewertungsmethoden zur Quantifizierung von Ökosystemdienstleistungen... ..	15
3.4.	Stand des Wissens aus eigenen Vorprojekten.....	16
3.5.	Ziel des Projekts .....	17
<b>4</b>	<b>Projekthinhalt</b> .....	<b>19</b>
4.1.	Inputdaten .....	19
4.1.1.	Echtzeitwetterdaten .....	19
4.1.2.	10 Jahres Reanalysen für Simulationen.....	19
4.1.3.	Demonstrations-Standorte .....	20
4.1.4.	Messkampagne.....	21
4.1.5.	GREENPASS® Technologie - ENVI-met Simulation.....	22
4.2.	Berechnungsmethode.....	23
4.2.1.	Korrelationsanalyse .....	23
4.2.2.	Machine Learning .....	23
4.2.3.	KPIs & Monetarisierung.....	24
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>26</b>
5.1.	Stakeholderanforderungen.....	26
5.2.	Messkampagne .....	26
5.2.1.	Stomatäre Leitfähigkeit (SL) .....	27
5.2.2.	Leaf Area Index (LAI).....	27
5.2.3.	Strahlungsbilanz.....	28
5.2.4.	Ergebnisse der Messkampagnen.....	28
5.3.	Ökosystemdienstleistungen & Monetarisierung .....	29
5.4.	Webapplikation.....	30
5.5.	Beitrag zu "Stadt der Zukunft" .....	31
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>32</b>
6.1.	Erkenntnisse.....	32
6.2.	Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten .....	32

6.3. Weiterführendes Forschungsprojekt .....	35
<b>7 Ausblick und Empfehlungen .....</b>	<b>36</b>
7.1. Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten .....	36
7.2. Potential für Demonstrationsvorhaben .....	36
7.2.1. Herausforderungen .....	36
7.2.2. Chancen .....	38
<b>8 Verzeichnisse .....</b>	<b>39</b>
<b>9 Anhang .....</b>	<b>44</b>
9.1. Deliverable 8.1: White Paper .....	44
9.2. Deliverable 8.2: Projekt-Folder .....	44
9.3. Data Management Plan (DMP) .....	44



# 1 Kurzfassung

Die Bevölkerungszahl der Ballungszentren wächst in Österreich weiter und bedingt eine Zunahme der Flächenversiegelung und Baudichte. Dieser Trend fördert die negativen Auswirkungen des Klimawandels, wie urbane Hitzeinseln, zusätzlich. Um den Bedürfnissen einer wachsenden Stadt gerecht zu werden, muss diese limitierte Fläche durch unterschiedliche grüne Infrastrukturen im urbanen Raum effizient geschützt, verknüpft und gepflegt werden. Auch internationale, nationale und lokale Richtlinien und Strategien zur Thematik Anpassung an die Klimawandelfolgen teilen diese naturwissenschaftlich belegte Auffassung und empfehlen die Integration von grünen Infrastrukturen in städtischen Räumen (z.B. EU Green Infrastructure Strategy, Special Report IPCC, Weißbuch „Stadtgrün“, Urban Heat Island Strategie Plan Wien).

Die Umsetzung dieser Richtlinien und Strategien ist bislang jedoch sehr gering, sowohl in öffentlichen Räumen, Stadtentwicklungen als auch in privaten Bauvorhaben. Eine wesentliche Ursache dafür sind Unsicherheiten in Bezug auf die Wirkungen grüner Infrastrukturen und deren monetäre Bewertbarkeit sowie Nutzen. Einzige Ansätze dazu bieten die Wertermittlung von Bäumen oder generische Berechnungsmodelle für CO<sub>2</sub> Speicherung ebenfalls nur von Gehölzen. Gerade aber die Leistungen urbanen Grüns in Bezug auf die CO<sub>2</sub> Speicherung erbringen einen nur sehr geringen return of invest.

Daher soll ein GREeNvaluation toolkit entwickelt werden, der Wetter- und Messdaten in Echt-Zeit verarbeiten und Aussagen zu den Ökosystemdienstleistungen quantitativ und monetär berechnen kann. Der GREeNvaluation toolkit soll deutlich über den Leistungsumfang bestehender Lösungen hinausgehen. Anhand von drei Demo-Standorten soll demonstriert werden, welche Leistungen unterschiedliche Begrünungen live in Abhängigkeit der aktuellen Wetterbedingungen erbringen, um die Bedeutung Grüner Infrastrukturen aufzeigen zu können.

Die Verbindung der besonderen Kompetenzen des GREeNvaluation Konsortiums haben einen neuen und bislang nicht erreichten Ansatz erlaubt. Mit Hilfe hochauflösenden Mikroklimasimulationen (ENVI-met) wurden Analysen des Energie-, Wasser- und Lufthaushalts bei unterschiedlichen klimatischen Rahmenbedingungen, unterschiedlichen Begrünungsszenarien und jahreszeitlichen Bedingungen erstellt. Die Simulationsergebnisse wurden in der Entwicklung mit Messdaten der Universität für Bodenkultur abgeglichen. Da die Simulation der Wirkungsleistung von grünen Infrastrukturen sehr zeit- und kostenintensiv ist und daher nicht auf einer laufenden Basis umsetzbar ist, wurde von GREENPASS ein Machine Learning Verfahren (ein neuronales Netzwerk) entwickelt. Dafür wurden engmaschige Wetterdaten in hoher zeitlicher Auflösung gestützt auf reale Klimastationen generiert, die das Machine Learning mittels API automatisch antreiben. Durch die Expertise im Bereich der Umweltkommunikation und Stakeholder Einbindung wurde sichergestellt, dass der zu entwickelnde GREeNvaluation toolkit den Anforderungen der Zielgruppen bestmöglich entspricht. Dafür wurden Entscheidungsträger\*innen im Zuge des Projekts aktiv eingebunden. Für die ökonomische Bewertung wurde eine Auswahl an Ökosystemdienstleistungen aus dem Bewertungskatalog der GREENPASS-Technologie herangezogen (Sauerstoffproduktion, CO<sub>2</sub>-Speicherung, Wasserspeicherung, Strahlung, Evapotranspiration, Kühlleistung Innenraum, Grünfläche-Wertanteil). Diese Wirkungsleistungen wurden mit monetären Bewertungsansätzen aus

der Literatur verknüpft. Die Ergebnisse wurden über eine GIS-basierte Webapplikation der Zielgruppe in maßgeschneiderter Form zur Verfügung gestellt. Sie ist ebenfalls per API an die vom Machine Learning erzeugte Datenbank angebunden. Somit ist es möglich, die Daten in Bezug auf einzelne grüne Infrastrukturen (z. B. ein bestimmter Baum) oder grüne Infrastruktur Typen (z. B. alle Dachbegrünungen) für frei wählbare Zeiträume (Tag, Woche, Jahr) abzurufen. Die Ergebnisse können auf der Web-Plattform öffentlich abgerufen werden und sind zum Download verfügbar.

Diese Methode wurde anhand von drei Demo-Standorten mit unterschiedlichen Bebauungstypologien durchgespielt. Der Demo-Standort Boutiquehotel, der im 15. Wiener Gemeindebezirk inmitten verdichteter gründerzeitlicher Blockrandbebauung steht, hat in Summe 2.126 m<sup>2</sup> Grünfläche. Diese Begrünungen erhöhen den Wertanteil der Immobilie einmalig um 831.600 €. Laufende Einsparungen durch Ökosystemdienstleistungen von 350.100 € pro Jahr wurden berechnet. Die Gartenanlage der Universität für Bodenkultur Wien im 19. Wiener Gemeindebezirk steht in aufgelockerter Bebauung und stellt mit 73.700 m<sup>2</sup> Grünfläche den größten untersuchten Demo-Standort dar. Die einmalige Immobilienwertsteigerung hat hier 21.598.600 € ergeben. In Summe wurden im Demo-Standort Boku 21.628.000 € laufende Kosten im untersuchten Zeitraum von einem Jahr eingespart. Die Donauplatte, als repräsentativer Demo-Standort für ein Stadtentwicklungsgebiet, weist in Summe 13.960 m<sup>2</sup> Grünfläche auf. Die einmalige Immobilienwertsteigerung liegt hier bei 26.949.800 €. Die laufenden Einsparungen haben in Summe 2.224.100 € im Jahr ergeben.

Das Ziel des Forschungsprojektes - ein Proof of Concept der Evaluierung und Monetarisierung von Ökosystemdienstleistungen in Echt-Zeit – wurde erreicht. Mit dem Projekt konnte gezeigt werden, dass das GREeNvaluation Tool an unterschiedlichen Bebauungstypologien mit unterschiedlichen Grünen Infrastruktur Typologien anwendbar ist und sich Einsparungen in unterschiedlicher Größenordnung berechnen lassen. Damit konnten die Ökosystemdienstleistungen von Grünen Infrastrukturen - auch monetär - sichtbar gemacht werden. Eine faktenbasierte und ökonomische Argumentationsbasis für die Umsetzung von grünen Infrastrukturen konnte somit geschaffen werden.

## 2 Abstract

The population of Austria's metropolitan areas continues to grow, leading to an increase in land sealing and building density. This trend further promotes the negative effects of climate change, such as urban heat islands. In order to meet the needs of a growing city, this limited area must be efficiently protected, linked and maintained through various green infrastructures in urban spaces. International, national and local guidelines and strategies on adaptation to climate change impacts also share this scientifically proven view and recommend the integration of green infrastructures in urban spaces (e.g. EU Green Infrastructure Strategy, Special Report IPCC, White Paper "Urban Greening", Urban Heat Island Strategy Plan Vienna).

However, the implementation of these guidelines and strategies has been very low so far, both in public spaces, urban developments and private building projects. A major reason for this are uncertainties regarding the effects of green infrastructures and their monetary evaluation as well as benefits. The available approaches to this are the valuation of trees or generic calculation models for CO<sub>2</sub> storage only for woody plants. However, the benefits of urban green spaces in terms of CO<sub>2</sub> storage provide just a very low return of investment.

Therefore, a GREeNvaluation toolkit is to be developed, which can process weather and measurement data in real time and calculate ecosystem services quantitatively and monetarily. The GREeNvaluation toolkit will go significantly beyond the scope of existing solutions. Three demo sites will be used to demonstrate which services different greening systems provide in real time depending on the current weather conditions in order to be able to show the importance of green infrastructures.

The combination of the particular skills of the GREeNvaluation consortium have allowed a new and previously unachieved approach. High-resolution microclimate simulations (ENVI-met) were used to produce analyses in the field of energy, water, and air under different climatic conditions, different greening scenarios, and seasonal conditions. The simulation results were matched with measured data from the University of Natural Resources and Applied Life Sciences during development. Since simulating the impact performance of green infrastructures is very time-consuming and cost-intensive and therefore cannot be implemented on an ongoing basis, a machine learning method (a neural network) was developed by GREENPASS. For this purpose, close-meshed weather data in high temporal resolution supported by real climate stations were generated, which automatically drive the machine learning via API. Expertise in environmental communication and stakeholder engagement was used to ensure that the GREeNvaluation toolkit would best meet the needs of the target groups. To this end, decision-makers were actively involved in the course of the project. For the economic evaluation, a selection of ecosystem services from the GREENPASS technology evaluation catalog was used (oxygen production, CO<sub>2</sub> storage, water storage, radiation, evapotranspiration, indoor cooling capacity, green space value share). These impact services were linked to monetary valuation approaches from the literature. The results were made available to the target audience in a customized form via a GIS-based web application. It is also connected via API to the database generated by the machine learning. Thus, it is possible to retrieve the data related to individual green infrastructures (e.g., a specific tree) or green infrastructure types (e.g., all green

roofs) for freely selectable time periods (day, week, year). The results can be publicly accessed on the web platform and are available for download.

This method was applied to three demo sites with different development typologies. The boutique hotel demo site, which is located in Vienna's 15th district in the middle of dense Wilhelminian-style perimeter block development, has a total of 2,126 m<sup>2</sup> of green space. This greening increases the value share of the property by €831,600 on a one-time basis. Ongoing savings from ecosystem services of €350,100 per year were calculated. The garden area of the University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna in Vienna's 19th district is located in dispersed development and, with 73,700 m<sup>2</sup> of green space, represents the largest demo site investigated. The one-time increase in real estate value here resulted in €21,598,600. In total, € 21,628,000 in running costs were saved in the demo location Boku in the examined period of one year. The Donauplatte, as a representative demo site for an urban development area, has a total of 13,960 m<sup>2</sup> of green space. The one-time increase in property value here is €26,949,800. Ongoing savings have totaled €2,224,100 per year.

The goal of the research project - a proof of concept of the evaluation and monetization of ecosystem services in real time - was achieved. The project demonstrated that the GREeNvaluation tool can be applied to different development typologies with different green infrastructure typologies and that savings of different magnitudes can be calculated. Thus, the ecosystem services of green infrastructures could be made visible - also in monetary terms. A fact-based and economic argumentation basis for the implementation of green infrastructures has been created.

# 3 Ausgangslage

## 3.1. Aktuelle Herausforderungen im urbanen Raum

In Österreich ist die durchschnittliche Jahrestemperatur seit 1880 um rund 2 °C gestiegen (ZAMG). Zusätzlich zur Veränderung langfristiger Mittelwerte zeigt sich der Klimawandel vor allem durch eine Zunahme von extremen Wetterereignissen, welche jedes Jahr Schäden in Millionenhöhe verursachen. Studien zufolge könnten die jährlichen wetter- und klimabedingten Schäden in Österreich bis zur Mitte des Jahrhunderts sogar auf 5 bis 8,8 Mrd. Euro pro Jahr ansteigen (Steininger et al. 2014). Viele Auswirkungen des Klimawandels wie zunehmende Starkregenereignisse oder häufiger auftretende Hitzewellen bedeuten insbesondere für Städte und dicht verbaute Gebiete eine erhöhte Belastung. So haben sowohl Sommertage (Tage mit >25°C) als auch Hitzetage (Tage mit >30°C) im österreichweiten Mittel stark zugenommen. In Wien ist beispielsweise die durchschnittliche Zahl der Hitzetage von 9,6 auf ca. 15 gestiegen (ZAMG). Szenarien gehen davon aus, dass um die Mitte des Jahrhunderts im Durchschnitt bereits jeder vierte Tag im Sommer ein Hitzetag sein könnte (Kromp-Kolb et al. 2007).

Gleichzeitig wächst die Bevölkerungszahl der Ballungszentren in Österreich und bedingt eine Zunahme der Flächenversiegelung und Baudichte. Bereits mehr als 50% der Bevölkerung Österreichs lebt im städtischen Bereich (Statistik Austria & Österreichischer Städtebund 2014). Dieser Trend fördert die negativen Auswirkungen des Klimawandels, wie urbane Hitzeinseln, zusätzlich.

Viele Städte haben Anpassungsstrategien entwickelt, um Klimawandelfolgen für ihre Bevölkerung zu reduzieren (z.B. Wiener Urban Heat Island Strategie). Einen wesentlichen Bestandteil urbaner Klimawandel- Anpassungsstrategien stellen grüne Infrastrukturen dar, also Pflanzenbauweisen auf, an und um Baukörper und Freiräumen. Je nach Pflanzenbauweise tragen diese durch Beschattung, Verdunstungskühlung und minimaler thermischer Speicherung – also rascher nächtlicher Abkühlung – zur Klimaregulierung und Vermeidung von Hitzeinseln bei. Darüber hinaus sind CO<sub>2</sub> Speicherung, Wasserretention, Luftreinigung, Schallminderung und Sauerstoff-Produktion wesentliche Leistungen grüner Infrastrukturen, welche in numerischen Modellen individuell berechnet werden können. Zu allgemeinen ökosystemischen Dienstleistungen zählen auch Wirkungen auf die Wohn- und Arbeitszufriedenheit, Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen (Dravigne et al., 2008; Park & Mattson, 2009).

Obwohl die positiven Wirkungen grüner Infrastrukturen in Fachkreisen bekannt und unbestritten sind, ist es für fachfremde Personen, insbesondere Entscheidungsträger\*innen des öffentlichen Bereichs, nicht ersichtlich, welche wesentliche Relevanz Pflanzen im urbanen Kontext haben. Im Gegensatz zu PKWs oder Elektrogeräten können Verbrauchs- und Leistungszahlen nicht einfach einem Datenblatt entnommen oder an einem Display in real-time einfach abgelesen werden. Eine Argumentation pro grüne Infrastruktur findet daher meist auf emotionaler Ebene bzw. aus ökologischen Gesichtspunkten statt. Das stellt eine Barriere bei der Umsetzung von grünen Infrastrukturen dar. Denn erst wenn diese Leistungen in Form von Bilanzen - auch monetär - sichtbar werden, kann die Umsetzung von Begrünungen faktenbasiert und ökonomisch argumentiert werden.

## 3.2. Relevanz grüner Infrastrukturen im urbanen Raum

Urbaner Raum ist begrenzt verfügbar und die städtische Bevölkerung wächst kontinuierlich weiter (United Nations 2020, S. 47). Dadurch kommt es zu einer hohen Oberflächenversiegelung im urbanen Raum und primär werden die Grünen Infrastrukturen (aus dem Engl.: green infrastructure, GI) geschwächt und die Kühlleistung durch Beschattung und Evapotranspiration sinkt. Diese Schwächung führt zu messbaren und merkbaren Anstiegen der städtischen Temperatur. Die Strahlungsbilanz der versiegelten Flächen ist durch die Kombination aus reflektierter und absorbierter Wärme sehr hoch. Es entstehen Hot Spots, auch bekannt als Wärmeinseleffekt oder Urban Heat Island Effect (UHI) (Mitterboeck und Korjenic 2017; Hunter et al. 2014). Um die Bedürfnisse einer wachsenden Stadt gerecht zu werden, muss diese limitierte Fläche durch unterschiedliche grüne Infrastrukturen im urbanen Raum effizient geschützt, verknüpft und gepflegt werden.

Urbanes Grün hat sehr viele positive und differenzierte Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt. In vielfältiger Weise wirken urbane Grünräume, direkt oder indirekt, auf die psychische, physische und soziale Gesundheit der Menschen (Claßen und Bunz 2018). Die grüne Infrastruktur gilt als Zukunftsfeld und wird im Zuge des fortschreitenden Klimawandels mit den einhergehenden Extremwetterereignissen und Hitzeperioden immer bedeutender.

Die urbanen Grünstrukturen lassen sich folgendermaßen grob kategorisieren: Stadtbäume, Grünflächen, Gründächer und Vertikalbegrünungssysteme (Bartesaghi Koc et al. 2017)

Ausgewählte grüne Infrastrukturen des urbanen Raums:

- Dachbegrünung
- Fassadenbegrünung
- Park und Grünflächen
- Gehölze

### 3.2.1. Dachbegrünung

Das begrenzte Flächenangebot im urbanen Raum ist eine Herausforderung für das Stadtgrün. Umso besser ist es vorhandene, ungenutzte Flächen zu begrünen. Die Dachbegrünung nützt das vorhandene Potential von bestehenden Flachdächern optimal aus und bietet ein vielfältiges Leistungsspektrum. In Österreich beschreibt die ÖNORM L 1131:2010 „Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken“ die verschiedenen Begrünungsarten von Dachbegrünung, sowie den Stand der Technik von bau- und vegetationstechnischen Grundlagen für Dachbegrünungen (Normensammlung Gartengestaltung und Landschaftsbau 2020).

Das Leistungsspektrum von Dachbegrünung ist vielseitig und reicht von Lärminderung (van Renterghem und Botteldooren 2009), Feinstaubbindung (Gorbachevskaya und Herfort 2012), reduzierter Wärmedurchgang (Scharf et al. 2012), Erhalt der Artenvielfalt (Köhler und Ksiazek-Mikenas 2018) u. v. m. Zusätzlich können Gründach und Solardach Synergien bilden. Durch die Verdunstungskälte der Pflanzen kann die Leistung von Photovoltaikpaneelen im Sommer im Vergleich zu Standorten auf Bitumendächern sogar gesteigert werden (Schindler et al. 2016).

Hauptsächlich unterscheidet man zwischen extensiven und intensiven Dachbegrünungen. Insgesamt gibt es jedoch vier Varianten: Reduzierte Extensivbegrünung, Extensivbegrünung, reduzierte Intensivbegrünung und Intensivbegrünung. Der Übergang zwischen extensiven und intensiven Dachbegrünungen ist meist fließend und oft finden sich am selben Objekt mehrere Ausprägungsformen. Die Dachbegrünungsvarianten unterscheiden sich hauptsächlich in der Aufbauschichtstärke, Bepflanzung, Pflege, Bewässerung u. v. m. (Wiener Umweltschutzabteilung - 2021, S. 45–53) (Normensammlung Gartengestaltung und Landschaftsbau 2020).

### **3.2.2. Fassadenbegrünung**

Die Fassadenbegrünung zeigt ebenso wie die Dachbegrünung das vielfältige Potential für GI im urbanen Raum. Meist stehen die Bauwerke bereits an Ort und Stelle und können mit Hilfe von der Fassadenbegrünung aufgewertet werden und bieten einen hohen Mehrwert für die Bewohner. Fassadenbegrünung besticht nicht nur durch den hohen ökologischen Nutzen, sondern wertet die Gebäude nachhaltig auf und trägt zu einem hohen Wiedererkennungswert bei (Pfoser et al. 2013, S. 160). Dabei unterscheidet man hauptsächlich zwischen zwei unterschiedliche Bauweisen: Bodengebundene und wandgebundene Fassadenbegrünung (Pfoser et al. 2013, S. 42–55). Die Pflanzauswahl der bodengebundenen Fassadenbegrünungen besitzen entweder selbst Kletterorgane, oder es werden Kletterhilfen aus Seilen, Stäben, Gittern oder Netzen installiert. Je nach Wuchsform der Pflanze gibt es unterschiedliche Klettersysteme. Die Pflanzen und deren Wurzeln sind mit dem Erdreich direkt in Kontakt. Dadurch wird in der Regel keine zusätzliche Bewässerung benötigt und die Wasserversorgung erfolgt ausschließlich durch den natürlichen Niederschlag (Nicole Pfoser 2016, S. 54–65). Eine weitere Form ist die troggebundene Fassadenbegrünung. Diese Form ermöglicht an bereits versiegelten Flächen die Begrünung von vertikalen Flächen. Je nach Art der Kletterpflanzen werden Kletterhilfen montiert, damit sie in die Vertikale wachsen können. Dies sind Pflanzbehälter, die mit einem technischen Aufbau ähnlich einer Dachbegrünung, bestehend aus einer Filter-Drainage-Schicht und einer Vegetationstragschicht (technisches Substrat), ausgestattet sind. Hierbei werden spezielle Substrate verwendet, die eine hohe Speicherfähigkeit besitzen. Die Wasserverfügbarkeit hängt stark mit der Größe des Pflanzbehälters zusammen und eine Bewässerung ist notwendig (Medl et al. 2017).

### **3.2.3. Park und Grünflächen**

Parkflächen sind meist frei von Bebauung und stellen großräumige Begrünungen im urbanen Raum dar. Dazu werden Wiesen-/Rasen-, Stauden-, Gehölz- und Strauchflächen in der ÖNORM L1112 hinzugezählt (Normensammlung Gartengestaltung und Landschaftsbau 2020).

Die Höhe der Kühlleistungen von Parks sind abhängig von der Grünflächendichte. Je mehr Biomasse eine Grünfläche besitzt desto mehr Transpirationsleistung kann die GI leisten und desto höher ist die Senkung der Umgebungstemperatur (Sanusi et al. 2017; Upmanis et al. 1998). Ein weiterer gekoppelter positiver Effekt ist die Dichte der Baumkronen. Durch die Schattenwirkung auf die darunterliegenden Flächen wird die Kühlleistung gesteigert (Stangl et al. 2019b; Sanusi et al. 2017).

Dieser Kühlungseffekt wird als „Park Cool Islands“ (PCIs) bezeichnet. Die Größe der Grünfläche spielt eine wesentliche Rolle. Je größer der Park, desto wirksamer ist der Effekt (Oliveira et al. 2011;

Upmanis et al. 1998). Damit die Grün- und Parkflächen eine konstant hohe Kühlleistung für die Stadt leisten können muss die Vegetation ausreichend mit Wasser versorgt sein, damit die Stoffwechselprozesse, wie die Photosynthese, in Gang treten kann und die Vitalität der Vegetation gewährleistet ist. Je nach Art der Bepflanzung der Fläche kann der Wasserbedarf stark variieren. (Stangl et al. 2019b)

### **3.2.4. Gehölze**

Die Gehölze haben eine wichtige Rolle bei der Minimierung von städtischen Hitzeinseln (UHI). Dabei unterscheiden sich die Gehölze sehr stark von Art und Sorte und haben unterschiedliche Blatt und Kronenformen. Die Kühlleistung der Gehölze ist hauptsächlich abhängig von der Größe der beschatteten Fläche und der Transpiration. (Kong et al. 2017; Sanusi et al. 2017). Zusätzlich unterscheiden sich Gehölze auch in Wachstum und Stressresistenz und diese Faktoren verändern ebenfalls die Kühlleistung (Rahman et al. 2015). Vor allem im urbanen Raum spielt der Anteil der versiegelten Fläche eine große Rolle, umso höher die versiegelte Fläche in der Nähe eines Baumes, umso höher ist die Lufttemperatur (Meier und Scherer 2012). Anhand dieses Wissens wird die Relevanz von Gehölzen im urbanen Raum deutlich und kann dadurch optimiert werden. Bäume benötigen für ihre Kühlleistungen viel Wasser, welches über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen wird (Kramer 1987). Um diese Eigenschaften zu gewährleisten, ist eine konstante regelmäßige Pflege und Überprüfung der urbanen Gehölze unabdingbar.

## **3.3. Bestehende Bewertungsmethoden zur Quantifizierung von Ökosystemdienstleistungen**

Im professionellen Bereich der Stadtplanung und Stadtklimatologie werden bereits hilfreiche Tools und Berechnungsverfahren eingesetzt, welche Leistungen grüner Infrastrukturen quantifizieren und teilweise auch finanziell ausdrücken. Im Zuge des europäischen Forschungsprojekts Nature4cities wurde eine sehr umfangreiche und umfassende Zusammenstellung von Bewertungstools für grüne Infrastrukturen in Bezug auf „Urban Challenges“, wie beispielsweise Hitzeinseln, erstellt. Im Bereich der Quantifizierung wurden die folgenden Tools für Quantifizierungen und finanzielle Bewertungen identifiziert:

- GREENPASS® (Austria)
- iTree (US)
- GI Valuation Toolkit (UK)
- GI Modelling Toolkit (US)

Die Tools bieten sehr unterschiedliche Leistungsspektren:

- iTree fokussiert ausschließlich auf Bäume.
- Das GI Valuation Toolkit sowie das GI Modelling Toolkit verfolgen sehr abstrahierte Ansätze (keine räumliche Verortung von grünen Infrastrukturen!), die unter sehr generellen Annahmen in Bezug auf Auswirkungen von grünen Infrastrukturen Aussagen hinsichtlich Heizwärmebedarf von Gebäuden und Wasserretention bis hin zu Wirkungen auf Tourismus liefern.

- Als umfassendstes Bewertungstool für Leistungen und Kosten von grünen Infrastrukturen wurde die GREENPASS® Methode identifiziert. GREENPASS® basiert auf ENVI-met Simulationen und lässt eine exakte Verortung und Analyse von einzelnen grünen Infrastrukturen zu. Diese Methode bietet aktuell jedoch keine realen Messdaten oder monetären Bewertungen an.

Die genannten Tools werden in erster Linie von Professionist\*innen eingesetzt und sind der breiten Öffentlichkeit nicht zugänglich. Einen anderen Ansatz verfolgt eine GIS basierte App, welche im Zuge des EU Projekts smarticipate entstand. Diese erlaubt via App BürgerInnen, die CO<sub>2</sub> Speicherung von Bäumen abzulesen.

### 3.4. Stand des Wissens aus eigenen Vorprojekten

Das GReEevaluation Projekt war erst durch jahrelange intensive Forschungs- und Entwicklungstätigkeit aller beteiligten PartnerInnen möglich. Die wesentlichen Vorprojekte sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1: Vorprojekte des Konsortiums gegliedert nach Förderstelle, Projektnummer, Titel und Inhalt

Förderstelle	Projektnummer	Titel	Inhalt
<b>FFG</b>	867350	50 Grüne Häuser	Installation von 50 Gebäudebegrünungen in Innerfavoriten.
<b>H2020</b>	730468	Nature4Cities	Nature Based Solutions for re-naturing cities: knowledge diffusion and decision support platform through new collaborative models
<b>ERASME und WAW</b>	TD	Green4Cities und GREENPASS®	Entwicklung der GREENPASS® Methode.
<b>FFG</b>	858177	Biotope City is Smart	Umsetzung einer Biotope-City als innovativer Prozess zur Lösung von Zukunftsherausforderungen am Beispiel des Coca-Cola Areal Wien.
<b>FFG</b>	861727	Biotope City Bauanleitung	Wissenschaftliche Begleitung der Realisierung der ersten Biotop City. Unterstützung des Vorhabens durch Entwicklung und Design von Pflanztrögen sowie Entwicklung von Pflanzsubstraten im Sinne des Urban Mining.
<b>Klima- und Energiefonds</b>		Greenovate Krems	In dem Projekt soll Klimaschutz mittels Gebäudebegrünung stattfinden. Dazu werden unterschiedliche Gebäudebegrünungen simuliert und in die Planung auf einfache und reproduzierbare Art und Weise eingebaut.

Förderstelle	Projektnummer	Titel	Inhalt
<b>FFG</b>	11720777	green.resilient.city	Ein „Proof of Concept“ eines Regelkreises und Tool-Sets zur Steuerung, Optimierung und Evaluierung einer grünen und klimasensiblen Stadt(teil)planung bestehend aus dem Grün- und Freiflächenfaktor (GFF) als städtebauliche Maßzahl/Instrument, dem GREENPASS® als Optimierungsinstrument für die mikroklimatischen Wirkungen grüner und blauer Infrastruktur auf Parzellen- und Quartiersebene, dem MUKLIMO_3 Stadtklimamodell als Evaluierungsinstrument für die mesoklimatische Wirkung auf Stadtebene sowie Cosmo-CLM als regionales Klimasimulationsmodell
<b>H2020</b>	776604	Clever Cities	Maßgeschneiderte Lösungen für lokale urbane Räume durch Co-Kreation, Umsetzung und Management am Beispiel von drei “Frontrunner Cities” Hamburg, Mailand und London.
<b>Eurostars/ FFG</b>	857672	Greenskin	Entwicklung einer massenmarkttauglichen Fassadenbegrünung, indem es technisch grundlegende Problemstellungen löst und einen Prototypen entwickelt.
<b>FFG</b>	855544	Pocket Mannerhatten Ottakring	Nutzung von Methodik aus dem Gebietscheck für die räumlichstrukturelle Analyse und Auswahl der Messstandorte.
<b>FFG</b>	858856	Grüne Zukunft Schulen	Umsetzung Begrünung in Kombination mit PV-Lösungen und. Partizipation von SchülerInnen zum Thema Grüne Architektur.
<b>FFG</b>	7136953	Greening Aspang	Optimierung eines Wiener Wohnquartiers am Beispiel der Aspangstraße. Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Begrünungen und Wärmedämmung auf den Energiehaushalt von Gebäuden und das Mikro- sowie Stadtklima.

### 3.5. Ziel des Projekts

Mit Hilfe einer zu entwickelnden Datenbank soll die GREeNvaluation Machine Learning engine Echtzeit Wetter- und Messdaten verarbeiten und Aussagen zu den Ökosystemdienstleistungen berechnen. Der GREeNvaluation toolkit wird deutlich über den Leistungsumfang bestehender Lösungen hinausgehen. Anhand von drei Case-Study Standorten soll demonstriert werden, welche

Leistungen unterschiedliche Begrünungen live in Abhängigkeit der aktuellen Wetterbedingungen erbringen.

Den Entscheidungsträger\*innen, die im Zuge des Projekts aktiv eingebunden werden, soll damit die Bedeutung grüner Infrastrukturen ersichtlich gemacht und eine Argumentationsbasis pro mehr grüne Infrastrukturen an die Hand gegeben werden. Die Leistungsdaten werden gespeichert und können für bestimmte Teilgebiete und Zeiträume angezeigt werden. Dies bildet gleichzeitig auch die Grundlage für eine finanzielle Bewertung bzw. Prognose der grünen Infrastrukturen hinsichtlich Kühlleistung in kWh, CO<sub>2</sub> Speicherung in CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, Einsparung von Kläranlagenkapazität. Erstmals werden dadurch die Auswirkungen grüner Infrastrukturen auf die urbane Energie-, Flächen- und Wassereffizienz ersichtlich und können zur Steuerung und Entscheidungsfindung herangezogen werden. Die Darstellung und der Funktionsumfang (z.B. automatischer Bezug bzw. Download Möglichkeit von Bilanzen) der geplanten App bzw. Webapplikation wird an die Bedürfnisse der Entscheidungsträger\*innen sukzessive angepasst.

# 4 Projektinhalt

## 4.1. Inputdaten

### 4.1.1. Echtzeitwetterdaten

Der GREeNvaluation toolkit ist in der Lage mittels Machine Learning aktuelle Wetterdaten zu kombinieren, um Ökosystemdienstleistungen zu bewerten. Daher wurden im Projekt Echtzeit Wetterdaten von UBIMET verwendet. Um stets die aktuellsten Wetterdaten bereitstellen zu können, verwendet UBIMET eine Vielzahl von Observationsdaten. Von Wetterstationen über Radar und Satellitenbildern bis hin zu hauseigene Blitzdaten. Diese Beobachtungsdaten werden in regelmäßigen Zyklen durch die Methode der 3D-variationalen Datenassimilation in die Modellläufe der numerischen Wettermodelle eingebunden. UBIMET arbeitet dabei mit unterschiedlichen Modellen, für Kurzzeit-, Kurz- und Mittelfristprognosen, welche zusammengeführt werden im UBIMET Consolidated Modell. Dieses auf der optimalen Gewichtung der einzelnen Komponenten und bildet ein vollständig integriertes Wettervorhersagesystem.

Im Zuge des Projekts wurden zur Erhöhung der Qualität der Wetterdaten aufgrund komplexer kleinskaliger Phänomene an diversen Standorten zusätzlich Wetterstationen aufgebaut.

- Gartenanlage der Universität für Bodenkultur Wien – Standort Türkenschanze, Peter-Jordan-Straße, 1190 Wien. Dieser dient als repräsentativer Standort des Typs Einfamilienhaus/aufgelockerte Bebauung - Beginn der Messungen: 10.06.2020.
- Boutiquehotel Stadthalle, Hackengasse 20, 1150 Wien. Dient als repräsentativer Standort des Typs Blockrandbebauung - Beginn der Messungen: 10.08.2020.
- Innenhof des Wohnkomplexes der Donau-City-Wohnbau AG auf der Donauplatte, nahe UNO-City, Leonard-Bernstein-Straße 4-6, 1220 Wien. Dient als repräsentativer Standort des Typs high-rise - Beginn der Messungen: 04.05.2021.

Die so gemessenen Parameter wurden in das UBIMET interne System integriert und standen via API den Projektpartnern zur Verfügung.

### 4.1.2. 10 Jahre Reanalysen für Simulationen

Die Datengrundlage für diverse Simulationen und die Applikation stellen die meteorologischen Reanalysen für die letzte Dekade von UBIMET dar. Diese ermöglichen es auf Grundlage einiger weniger Stationsmessungen flächenhaft und hochaufgelöste Wetterinformationen bereitzustellen. Hierfür verwendet UBIMET das eigens entwickelte und patentierte Analyseverfahren VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis). In seiner eigentlichen Form handelt es sich dabei um eine Analyseverfahren, mit der räumlich unregelmäßige Stationsbeobachtungen mit einem Spline-Ansatz, das heißt mit Hilfe einer mathematischen Interpolation, auf ein regelmäßiges Gitter gebracht werden. Dies geschieht unter Verwendung statistischer Felder (Fingerprints), welche räumlich hochaufgelöst vorliegen und einen Teil des zu analysierenden Parameters erklären können. Neben der Hinzunahme weiterer Informationen, z.B. eines digitalen Geländemodells und der daraus ableitbaren Eigenschaften wie

Höhe, Exposition oder Talvolumen, fließen so beispielsweise auch parameterabhängig Informationen bezüglich der Landnutzung ein. Ein räumliches Downscaling der analysierten Felder auf einen Bereich von bis zu 100 m ist dank dieses Ansatzes möglich. VERA wird bei UBIMET für hochaufgelöste Analysen der Parameter Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Windböen, Niederschlag sowie Bewölkung eingesetzt. Im produktiven Betrieb können somit jeweils aktuelle Beobachtungsdaten von Stationen aber auch Radar- und Satelliteninformation in quasi Echtzeit flächig analysiert werden. Somit kann für jeden beliebigen Punkt in z.B. Wien eine historische Zeitreihe der relevanten Parameter erstellt werden.

#### **4.1.3. Demonstrations-Standorte**

In einem ersten Schritt wurden eigene Standardtypologien entwickelt: Hochhaus offen/ Zeilenbau/ Einfamilienhaus/ Gewerbegebiet/ Park/ Wasser/ Blockrandbebauung/ Gemeindebau/ Gebäude-Cluster hoch/ Gebäude im Park/ Freiraum versiegelt/ Landwirtschaft/ Wald. Auf Grundlage der bereits vorhandenen Klimastationen wurden drei Demonstrationsgebiete identifiziert:

- Das Boutiquehotel steht im 15. Wiener Gemeindebezirk inmitten verdichteter gründerzeitlicher Blockrandbebauung.
- Die Donauplatte ist ein neu entwickelter Stadtteil im 22. Wiener Gemeindebezirk mit repräsentativer Begrünung für viele Stadterneuerungsgebiete der letzten 20 Jahre.
- Die Gartenanlage der Universität für Bodenkultur Wien steht im 19. Wiener Gemeindebezirk in aufgelockerter Bebauung. Der Standort ist somit auch repräsentativ für die Leistung von Begrünungen im Bautyp Einfamilienhaus.

Hier wurde anhand von Orthofotos ein erster Überblick über die vorhandenen grünen Infrastrukturen generiert und eine Einschätzung über deren Zugänglichkeit getroffen. Es wurden Vor-Ort-Begehungen der ausgewählten Standorte durchgeführt. Des Weiteren wurden für die Messstandorte umfangreiche Kriterienlisten zu den einzelnen Typen von grüner Infrastruktur erarbeitet:

- Dachbegrünung: hier wurde für alle Dachbegrünungen im Untersuchungsgebiet eine genaue Verortung vorgenommen, die Flächen wurden erhoben, die Höhen über Grund (Straßenniveau) wurden ausgewiesen und die Aufbauart (intensiv/ extensiv) wurde dokumentiert.
- Fassadenbegrünung: neben der genauen Verortung wurde in Bezug auf die Fassadenbegrünungen ihr „urbaner Kontext“ dokumentiert: Ist die Fassadenbegrünung zugänglich (J/N) und wo befindet sich diese (Straßenraum; Innenhof; Parks und Gärten; Abstandsgrün und Vorgärten)? Zudem wurden die Flächengröße, die Exposition, die Gebäudehöhe, die maximale Höhe der Fassadenbegrünung über Grund, die Ausgangshöhe der Fassadenbegrünung, die Endhöhe der Fassadenbegrünung, das System (bodengebunden/ wandgebunden) und die Pflanzenarten festgehalten.
- Freiraum: auch hier wurde eine Verortung der grünen Elemente durchgeführt. Bezüglich des „urbanen Kontext“ wurde festgehalten, ob sich diese Umweltelemente in einem öffentlichen oder privaten Raum befinden, ob dieser zugänglich ist und ob es konkret um einen Straßenraum, Innenhof, Park/ Garten, oder Abstandsgrün/ Vorgarten handelt. Es erfolgte zudem eine Unterteilung in Rasen, Sträucher, Stauden und Gehölze. Es wurden die jeweiligen Flächengrößen ausgewiesen. Bei den Gehölzen wurde die Art, die Höhe, der Kronenansatz, der

Kronendurchmesser, der Stammumfang, der LAI, die Vitalitätsstufe, die angrenzende Bebauung, eine mögliche Beschattung und die Lage des Baumes in Beziehung zu anderen Bäumen (Einzel, Gruppe, Allee) festgehalten.

Eine Methode zur Definition der Größe des Aufnahmebereichs wurde festgelegt. Beim Auswahlprozess kommt ein auf definierte Kriterien basierender Filter zur Anwendung, der die Mindestanforderungen (z.B. gleiche Baumart in den drei unterschiedlichen räumlichen Einbettungen in dreifacher Wiederholung) für die Demostandorte definiert. Stehen darüber hinaus noch zusätzliche Daten (Beschattung/ Vitalität/ Größe) für eine erweiterte Auswertung zur Verfügung, so kommt als Ergänzung zudem ein Feinfilter zur Anwendung. Der Auswahlprozess findet in Loops und Steps statt. Konkret bedeutet dies, dass der Raster solange in Schritten (zu jeweils 50 m) vergrößert wird, bis die Mindestanforderungen erfüllt sind.

#### **4.1.4. Messkampagne**

Als Grundlage für die Durchführung der Messkampagnen wurde in einem ersten Schritt ein umfangreiches Messkonzept erarbeitet. In diesem Messkonzept wurde für jeden zuvor im Zuge der räumlich strukturellen Analyse identifizierten Messstandort und der dort vorhandenen grünen Infrastrukturen eine präzise Vorgehensweise in Bezug auf die konkreten Messungen erarbeitet. Das Messkonzept gibt somit für jede ausgewiesene grüne Infrastruktur (Gehölze; Sträucher und Kleingehölze; Wiesen/ Stauden/ Rasen; Dachbegrünung; Fassadenbegrünung Kletterpflanzen; Fassadenbegrünung LivingWall) folgende Messparameter und deren Messung vor:

##### **Messgeräte:**

Hier wurden die Messgeräte definiert, mit denen die Messungen vorgenommen werden. Der AP4 Porometer quantifiziert die Wirkung der unterschiedlichen Einflüsse auf das stomatäre Verhalten. Durch das Messgerät ist es möglich, die Leistungen von verschiedenen Pflanzenarten, die in Abhängigkeit von Stress und Umwelteinflüssen stehen, zu vergleichen. Der Apparat führt wiederholbare Feldmessungen durch, wobei die stomatäre Leitfähigkeit nach dem Prinzip der zyklischen Diffusion gemessen wird (vgl. Delta-T Devices, 2021).

Der für diese Messungen verwendete Porometer ist als zyklischer Diffusionspyranometer entworfen worden. Der AP4 misst den durch die Stomata verursachten Wasserdampfverlust (vgl. Umweltanalytische Produkte GmbH, 2013). Durch die zusätzlichen Messungen der Blattemperatur und Blattfläche, kann der Wasserverlust einer ganzen Pflanzen bzw. eines Kronendaches prognostiziert werden (vgl. Delta-T Devices, 2021). Außerdem bietet dieses Messgerät die Möglichkeit entweder den stomatären Widerstand oder die stomatäre Leitfähigkeit zu erfassen, als auch zwischen molaren Einheiten oder Geschwindigkeitseinheiten zu wählen (vgl. Umweltanalytische Produkte GmbH, 2013).

Zur Bestimmung des Leaf Area Indexes wird der AccuPAR LP-80 Ceptometer eingesetzt. Der AccuPAR ermöglicht es, den LAI durch eine nicht destruktive Methode zu ermitteln. Dieses Gerät wird dazu verwendet, um die Lichtinterzeption in einem Pflanzendach zu messen, um daraus dann den LAI zu berechnen (Hossain, Lixue, Taotao, & Zhenhua, 2017). Der AccuPAR LP-80 besitzt eine Gesamtanzahl von 80 Sensoren. Diese Sensoren messen die photosynthetische aktive Strahlung, auch PAR genannt, in einem Spektralbereich von 400-700 Nanometer (nm). Mit diesem Gerät besteht die Möglichkeit,

sowohl unter als auch über dem Pflanzendach zu messen. Diese Messungen können bei strahlend blauem Himmel oder auch bei leicht bewölkt bis vollständig bewölkt Himmel stattfinden (METER Group AG, 2021).

Für die Strahlungsbilanzmessung kommt der SN-500 Strahlungsbilanz-Sensor von apogee zu Anwendung. Der SN-500 verbindet Thermoelement-Pyranometer und Pyrgeometer für die Bestimmung der Strahlungsbilanz aus der von oben einfallenden und von unten reflektierten Sonnenstrahlung (vgl. Produktblatt Umweltanalytische Produkte GmbH, 2020).

#### **Messzeitpunkt:**

Die Messungen wurden über die gesamte Vegetationsperiode (Frühling/ Sommer/ Herbst) durchgeführt.

#### **Witterung:**

Bei der Witterung wurde zwischen sonnig und windstill; sonnig ungestört; leicht bewölkt; regnerisch und nicht relevant (dort wo die Witterung keinen Einfluss auf das Messergebnis hat) unterschieden.

#### **Messtandorte:**

Neben den Messtandorten Donauplatte, BOKU und Boutiquehotel wurden mit den Standorten Edith-Piaf-Straße in Wien 1220 und Kempelenpark in Wien 1100 zwei weitere Standorte für spezielle Messungen definiert. Der Projektstandort in der Edith-Piaf-Straße ermöglichte eine umfangreiche Untersuchung der stomatären Leitfähigkeit von Gehölzen. Beim Kempelenpark konnte die stomatäre Leitfähigkeit und der LAI für die grüne Infrastruktur der „Fassadenbegrünung LivingWall“ bestmöglich abgedeckt werden.

#### **Arten/ Wiederholungen/ Uhrzeit:**

Jede zu messende Pflanzenart wurde definiert sowie die Anzahl der Wiederholungen und die Uhrzeit der Messungen festgelegt.

#### **Referenzmessung:**

Die Referenzmessung besteht aus Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Strahlungsmesser und Wind.

Zur Validierung der Messgeräte wurde in Hinblick auf den Einsatz des AccuPAR LP-80 bei Sträuchern und Kleingehölzen, zusätzlich zu den Untersuchungen im Feld, eine Untersuchung mittels destruktiver Methode im Labor vorgenommen. Bei dieser Methode werden zur Bestimmung des LAI (Leaf Area Index) alle Blätter einer Pflanze abgenommen und mittels Blattflächensoftware gescannt.

### **4.1.5. GREENPASS® Technologie - ENVI-met Simulation**

Die Auswirkungen verschiedener klimatischer Bedingungen auf Ökosystemdienstleistungen werden auf Grundlage der GREENPASS-Analyse bewertet. Diese Methode umfasst 28 Indikatoren, um die Auswirkungen der Stadtgestaltung auf die Klimaresilienz zu erfassen. GREENPASS basiert auf dem Mikroklimasimulationsmodell ENVI-met. ENVI-met berechnet unter anderem Strahlungsflüsse von Gebäude und Vegetation, pflanzenphysiologische Prozesse, Oberflächentemperaturen von Fassaden

und Dächern unter Berücksichtigung des Materials, Wasser- und Wärmeaustausch im Boden sowie biometeorologische Größen (vgl. ENVI-met (1.), 2021).

Für jeden Demostandort wurde ein Modell inklusive den erfassten Grünen Infrastrukturen aus dem Kriterienkatalog nachgebaut. Die horizontale Auflösung wurde mit 2x2m festgelegt, die vertikale Auflösung mit 3m. Zusätzlich zum „Status Quo“ Simulationsmodell (d.h. Begrünung laut Kriterienkatalog) wurde für jeden Standort ein Referenzmodell ohne grüne Infrastrukturen „Worst Case“ erstellt. Der Unterschied zwischen den „Status Quo“- und der „Worst Case“-Simulationsergebnissen ergibt die Leistung der Grünen Infrastruktur und wird pro Grüner Infrastruktur Typologie getrennt ausgewertet.

Zur Abschätzung, wie sich Pflanzen bei unterschiedlichen klimatischen Rahmenbedingungen verhalten, wurden die 10 Jahres Reanalysen als Eingangsdaten verwendet. Hier wurden aus diesem Datensatz neun repräsentative Tage pro Saison (Frühling, Sommer, Herbst) mit unterschiedlicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Tniedrig/RHniedrig, Tmittel/RHniedrig, Thoch/RHniedrig, Tniedrig/RHmittel, Tmittel/RHmittel, Thoch/RHmittel, Tniedrig/RHhoch, Tmittel/RHhoch, Thoch/RHhoch) ermittelt. Daraus ergeben sich 27 Tage mit exemplarischen Klimabedingungen im Jahr, die für die Simulation als Inputdaten verwendet werden. Als zeitliche Auflösung wurden stündliche Simulationsergebnisse festgelegt. Als Randbedingung wurde die Methode „Full Forcing“ gewählt, d.h. jede halbe Stunde werden Wetterdaten als 1D-Modell an die Grenzfläche des Modellgebiets kopiert (vgl. ENVI-met (2.), 2021).

## **4.2. Berechnungsmethode**

### **4.2.1. Korrelationsanalyse**

Zu Beginn wurde eine Korrelationsanalyse auf Basis der Simulationsergebnisse durchgeführt. Hier wurde eine erste Abschätzung getroffen, inwiefern das Klima auf die pflanzenphysiologischen Eigenschaften Einfluss hat. Die kurzweilige Strahlung hat einen großen Einfluss auf die stomatäre Leitfähigkeit und den PAR-Fluss. Wind und Niederschlag zeigen keine Korrelation.

### **4.2.2. Machine Learning**

Für das Machine Learning wurde ein neuronales Netz mit (meistens) zwei “hidden layers” verwendet. Dafür wurden die Parameter kurzweilige Strahlung, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit verwendet. Weiters wurde die Uhrzeit und das Datum zur Berücksichtigung des Sonnenstandes verwendet. Der Machine Learning Algorithmus besteht aus folgenden zwei Stufen:

- Ein neuronales Netz wird trainiert an den Wetterinputdaten, um das Mikroklima vorhersagen zu können.
- Ein weiteres neuronales Netz wird trainiert am Mikroklima, um die Output Parameter vorhersagen zu können.

Die Ergebnisse des Machine Learnings wurden mit den Ergebnissen der Messkampagne verglichen und validiert.

### 4.2.3. KPIs & Monetarisierung

Zur Bewertung der Ökosystemdienstleistung wurden sieben Indikatoren aus verschiedenen Handlungsfeldern (Klima, Wasser, Luft, Biodiversität, Energie) ausgewählt. Während die Indikatoren Kühlleistung Außenraum, Strahlung, Wasserspeicherung, CO<sub>2</sub>-Speicherung, O<sub>2</sub>-Produktion sowie Kühlleistung Innenraum laufende Einsparungen darstellen, ist die Wertsteigerung der Immobilie durch grüne Infrastrukturen als einmalige Einsparung definiert. Die Indikatoren werden im Folgenden näher erläutert:

- **Kühlleistung Außenraum:**  
Für die Kühlleistung Außenraum werden die Evapotranspiration-Ergebnisse aus der Simulation herangezogen. Dieser Wert wird mit der Leistung von Sprühnebel duschen verglichen und ermittelt, wie viel Watt und Wasser von Sprühnebel duschen bei gleicher Verdunstungsleistung von Grünen Infrastrukturen aufgewendet werden müssen. Die erforderlichen Watt werden mit dem durchschnittlichen Strompreis für Haushalte in Österreich (0.3699 €/kWh, Quelle: E-Control, 2022) bzw. die erforderlichen Wassermengen mit dem Trinkwasserbezug für Wien multipliziert (0.00202 €/l, Quelle: Stadt Wien, 2022).
- **Strahlung:**  
Die Strahlung beschreibt die absorbierte kurzwellige Strahlung am Gebäude und Boden im gesamten Projektgebiet. Um die Leistung der Grünen Infrastruktur zu berechnen, wird die Strahlung des Worst Case Szenarios (ohne Begrünung) minus der Strahlung des Status Quo (mit Begrünung) für die Sommermonate gerechnet. Diese Strahlungsdifferenz wird mit dem Strompreis für Haushalte in Österreich multipliziert (0.3699 €/kWh, Quelle: E-Control, 2022).
- **Wasserspeicherung:**  
Die Wasserspeicherung in Liter errechnet sich aus einem Wasserspeicherungsfaktor pro Pflanzentyp, mal der Niederschlagsmenge. Dieser Wert wird mit den Abwassergebühren für Wien multipliziert (0.00222 €/l, Quelle: Stadt Wien, 2022).
- **CO<sub>2</sub>-Speicherung:**  
Die CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Biomasse von GI in Kilogramm wird anhand von Literaturwerten im Jahresdurchschnitt ermittelt. Um monatliche CO<sub>2</sub>-Werte zu generieren, werden für die Vegetationsperiode (März-November) die Literaturwerte mit durchschnittlichen monatlichen Strahlungssummen gewichtet. Im Winter wird keine CO<sub>2</sub>-Speicherung angenommen. Der monatliche Wert wird durch die Anzahl der Tage dividiert, um tägliche Werte zu erhalten. Der monetäre Wert errechnet sich aus der CO<sub>2</sub>-Speicherung mal dem Wert von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten für Europa (0.02515 €/kg, Quelle: Finanzen.net, 2021).
- **O<sub>2</sub>-Produktion:**  
Der Indikator O<sub>2</sub>-Produktion berechnet sich aus dem Photosynthese-Modell, das heißt, wieviel Sauerstoff bei gespeichertem CO<sub>2</sub> durch Vegetation entsteht. Der O<sub>2</sub>-Preis wird aus dem durchschnittlichen Verkaufspreis pro Liter von handelsüblichen O<sub>2</sub>-Gasflaschen abgeschätzt (0.021 €/l, Quelle: Linde, 2021).

- Wertsteigerung:  
Die Wertsteigerung der Immobilie durch GI errechnet sich aus prozentualen Werten der Literatur. Der gesamte Preis der Immobilie wird aus der Bruttogeschossfläche mal dem durchschnittlichen Immobilienpreis pro m<sup>2</sup> für den jeweiligen Bezirk geschätzt (15.Bezirk: 5578€/m<sup>2</sup>, 19.Bezirk: 8391 €/m<sup>2</sup>, 22.Bezirk: 5630 €/m<sup>2</sup>, Quelle: Der Standard, 2021). Für die Wertsteigerung wird ein prozentual gewichtet gemittelter Wert, der sich aus unterschiedlichen Literaturquellen für verschiedene Grünen Infrastruktur-Flächen zusammensetzt, mal dem gesamten Immobilienpreis berechnet (Wiese, Sträucher, Bäume: + 4.5%, Dachbegrünungen: + 7%, Fassadenbegrünungen: + 4.3%, Quelle: BUE, 2017, Luttik, 2000, Perini & Rosasco, 2013). Dieser Wert entspricht einer einmaligen Wertsteigerung der Immobilie.
- Kühlleistung Innenraum:  
Für die Kühlleistung wird die Temperaturdifferenz im Innenraum zwischen dem Status Quo (mit Begrünung) und einem Worst Case Szenario (ohne Begrünung) für die Sommermonate ermittelt. Diese Temperaturdifferenz steht als Maß für die Kühlleistung der GI, die aufgebracht werden muss, um die gleiche Innenraumtemperatur zu haben. Hierfür wird die Temperaturdifferenz mal der Wärmekapazität für Luft und der Masse der Luft im Innenraum multipliziert. Dieser Wert kann in kWh umgewandelt werden und wird mit dem Strompreis für Haushalte in Österreich multipliziert (0.3699 €/kWh, Quelle: E-Control, 2022).

# 5 Ergebnisse

## 5.1. Stakeholderanforderungen

Im Zuge des Projektes wurden zu Beginn Vertreter\*innen von Eigentümer\*innen großer Mengen an Grüner Infrastrukturen zur Feststellung der Anforderungen für das Tool befragt. Dazu zählten einerseits Städte und Gemeinden in Deutschland und Österreich und andererseits Unternehmen mit großem Grundbesitz. In den Gesprächen wurden Abläufe und bestehende Hemmnisse zu Investitionen in grüne Infrastrukturen erhoben. Außerdem wurde gefragt, welche möglichen Einsatzgebiete die Interviewpartner\*innen für das vorgestellte Servicetool sehen.

Die Gespräche bestätigten, dass bisher keine der interviewten Stellen eine Kosten-Nutzen-Rechnung in Zusammenhang mit der Errichtung Grüner Infrastrukturen anstellt. Eine solche Berechnung wäre derzeit aber auch noch gar nicht sinnvoll möglich, da bei den Befragten einerseits keine konkreten Werte für die Auswirkungen von Begrünungen auf deren direktes Umfeld bekannt sind. Andererseits ist die Bewertung von Begrünungen im Rechnungswesen aufgrund internationaler Bilanzierungsrichtlinien zwingend sehr niedrig anzusetzen: Da jeder Vermögensgegenstand in der Vermögensbilanz immer nur maximal mit seinem Anschaffungswert angeführt werden darf, führt das bei Pflanzen zu dem Effekt, dass sie sehr günstig als Jungpflanze angeschafft werden, dann aber - anders als z. B. ein Haus - im Lauf der folgenden Jahre nicht verfallen, sondern eigentlich kontinuierlich weiter wachsen. In der Buchhaltung kann dieser Wertgewinn aber nicht mehr adäquat abgebildet werden. Das heißt aber auch: Für die Aufgabe einer Kosten-Nutzen-Rechnung könnte daher der Objekt-Wert eines nach Jahrzehnten ausgewachsenen Baumes gar nicht herangezogen werden, da dieser Wert in den Büchern nicht existiert.

Die Interviewten teilten aber die Einschätzung, dass grüne Infrastrukturen und deren ökonomischer Wert derzeit noch immer nicht hoch genug eingeschätzt werden, da die Leistungen von Begrünung weitgehend unsichtbar stattfinden und die realen Größenordnungen dafür noch nicht bekannt genug sind. Insbesondere die Vertreter:innen von Gebietskörperschaften wiesen darauf hin, dass in ihrem Verantwortungsbereich der ökonomische Wert von Begrünungen per se nicht ausschlaggebend für oder gegen deren Errichtung ist. Denn kommunale Einrichtungen arbeiten nicht gewinnorientiert und verfolgen Aufträge im Sinne des Gemeinwohls. Die wirtschaftliche Leistungsbilanz von Grünen Infrastrukturen wäre in diesem Bereich aber trotzdem sehr relevant, da Städte und Gemeinden mit öffentlichen Geldern sparsam haushalten müssen. Wenn sich also nachweisen und kommunizieren lässt, in welchem Ausmaß Begrünungen langfristig Einsparungen erzeugen, dann vergrößert das maßgeblich den Spielraum für deren Errichtung.

## 5.2. Messkampagne

Jede Vegetation besitzt unterschiedliche Eigenschaften, die für den städtischen Bereich von Relevanz sind. Um die Grünen Infrastrukturen zu bewerten und ihre positiven Leistungen im urbanen Raum darzustellen, benötigt man unterschiedliche Parameter. Einige Parameter können nur indirekt erfasst und über andere Messgrößen berechnet werden. Um eine Bewertung der unterschiedlichen

Grünstrukturen darzustellen, wird eine hohe Bandbreite an Messungen mit vielen Messgrößen durchgeführt. Die Parameter geben Aufschluss über die Wirkung und die Effizienz der Leistungen von Grünen Infrastrukturen (Stangl et al. 2019a). Die folgenden Parameter werden für mikroklimatische Wirkungen der Grünstrukturen herangezogen und wurden auch im Zuge des Projekts eingehend untersucht.

### **5.2.1. Stomatäre Leitfähigkeit (SL)**

Die Stomatäre Leitfähigkeit (SL) gibt die Verdunstungsleistung an, indem der Gasaustausch an der Blattoberfläche gemessen wird. Je höher die Stomatäre Leitfähigkeit, desto mehr Wasser verdunstet, desto besser funktioniert die Photosynthese und desto kühler ist die Blattoberfläche (Struthers et al. 2015). Dieser Parameter gibt Aufschluss über die Kühlleistung von Grünen Infrastrukturen und ihren physischen Zustand. Die Stomata-Öffnungen befinden sich an der Blattepidermis und kontrollieren den Wasserverlust der Blätter und die Aufnahme von CO<sub>2</sub> für die Photosynthese. Sie sind ein wichtiger Indikator der physiologischen Verfassung der Pflanze und lassen wichtige Rückschlüsse auf veränderte Umweltbedingungen deuten. Die meisten Pflanzen reagieren beispielsweise bei Trockenstress mit der Schließung der Stomata. Sie verhindert den Wasserverlust über die Transpirationswege und hängt dabei eng mit dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zusammen (Pirasteh-Anosheh et al. 2016).

Für die Messung der stomatären Leitfähigkeit wurde der Porometer „AP-4“ der Firma Delta-T Devices eingesetzt. Der AP4 Porometer quantifiziert die Wirkung der unterschiedlichen Einflüsse auf das stomatäre Verhalten. Durch das Messgerät ist es möglich die Leistungen von verschiedenen Pflanzenarten, die in Abhängigkeit von Stress und Umwelteinflüssen stehen, zu vergleichen. Der Apparat führt wiederholbare Feldmessungen durch, wobei die stomatäre Leitfähigkeit nach dem Prinzip der zyklischen Diffusion gemessen wird (Delta-T Devices, 2021). Der AP4 misst den, durch die Stomata verursachten, Wasserdampfverlust (UP Umweltanalytische Produkte GmbH, 2021). Durch die zusätzlichen Messungen der Blatttemperatur und Blattfläche, kann der Wasserverlust einer ganzen Pflanzen bzw. eines Kronendaches prognostiziert werden. (Delta-T Devices, 2021)

Der Ablauf einer Messung des AP4 Porometers erfolgt in folgenden Schritten, zuerst wird ein Blatt in eine kleine Luftkammer eingeschlossen, diese ist mit Feuchtigkeitssensoren ausgestattet. Anschließend wird die Zeit gemessen, die ein Blatt benötigt, um Wasserdampf abzugeben, um die relative Luftfeuchtigkeit in der Kammer um einen festgelegten Wert zu verändern. Um eine Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wird dieser Zyklus wiederholt. Das Ergebnis wird mit einer Kalibrierungsplatte, mit einem bekannten Widerstand verglichen, um die stomatäre Leitfähigkeit des Blattes zu bekommen. Der Porometer wandelt die gemessenen Werte automatisch in kalibrierte Werte für Leitwert und Widerstand um (Verhoef, 1997).

### **5.2.2. Leaf Area Index (LAI)**

Blätter sind die wichtigsten ökophysiologischen Teile einer Pflanze da dort die Photosynthese und der Gasaustausch mit der Umwelt stattfindet. Der Blattflächenindex (englisch: Leaf Area Index LAI) gibt Informationen zur Strahlungsreduktion und stellt einen der vielversprechendsten biophysikalischen Parameter dar (Clevers et al. 2017; Asner et al. 2003). Der LAI ist eine dimensionslose Maßzahl für das Verhältnis von Blattoberfläche zur dahinter liegenden

Gebäudeoberfläche (FLL 2018a Fassadenbegrünungsrichtlinien, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen 2018) und stellt die Belaubungsdichte dar. Hat eine Pflanze einen LAI von zwei so besitzt sie die doppelte Menge an Blätter als die darunterliegende Fläche. Der LAI hängt von jeder Gattung und Art einer Pflanze ab und von den herrschenden Umweltfaktoren vor Ort (Kinhal 2020). Der LAI kann durch direkte oder indirekte Messmethoden ermittelt werden (Bréda 2003).

### **5.2.3. Strahlungsbilanz**

Die grünen Infrastrukturen im urbanen Raum haben eine der stärksten positiven Auswirkungen auf den thermischen Komfort. Die Solarstrahlung gibt an, wieviel Energie der Sonne eine Oberfläche erreicht. Die Strahlungseinflüsse werden hierbei verringert und die Außentemperatur gesenkt (Santamouris und Kolokotsa 2016; Jamei et al. 2016). Die Beschattung misst die Solarstrahlung die unter bzw. hinter GI, welche auf konventionelle urbane Materialien trifft (Lee et al. 2016). Die Fassadenbegrünung bringt beispielsweise eine bessere Kühlleistung im Innenraum (Pfoser et al. 2013; Nicole Pfoser 2016). Im urbanen Raum wird hauptsächlich mit konventionellen Baumaterialien wie Beton, Glas oder Holz gebaut. Jedes Material hat unterschiedliche Wärmeeigenschaften und Reflexionsgrad. Dabei führen höhere Oberflächentemperaturen von horizontalen und vertikalen Flächen zu stärkerer langwelliger Ausstrahlung (Kuttler 2019). grüne Infrastrukturen können die Oberflächentemperaturen deutlich senken und so die Strahlungsbilanz positiv ändern.

### **5.2.4. Ergebnisse der Messkampagnen**

Die Messergebnisse zeigten, dass in Abhängigkeit des Typs der Grünen Infrastruktur und der Jahreszeit unterschiedliche Wirkungen bzw. Leistungen erkennbar sind. Pflanzen, die saisonbedingt ihren Habitus ändern, also an Blattmasse und Volumen durch das Wachstum zunehmen, bieten somit über das Jahr hin betrachtet unterschiedliche Wirkungen. So konnte z.B. beim Monitoring einer wandgebundenen Vertikalbegrünung deutlich verringerte Beschattungsleistungen im Frühjahr gemessen werden, da die Pflanzen hier ihre Blätter erst ausbilden. Auch die Frühjahrmessungen in Staudenbeeten widerspiegeln dies: Im Vergleich zu den Sommerwerten konnten hier niedrigere Leistungswerte ermittelt werden, da die Pflanzen erst austreiben oder ihre Größe noch nicht erreicht haben. Immergrüne Arten, die über das gesamte Jahr Blätter tragen, zeigen jedoch mehr oder weniger gleichbleibende Effekte.

Auch die Auswahl der Pflanze und deren Einsatz in unterschiedlichen Grünen Infrastrukturen beeinflusst die Wirkung. Es zeigte sich, dass die gleiche Pflanzenart (Lavendel) in der Vertikalbegrünung schneller im Frühjahr bzw. Frühsommer eine höhere Wirkung erzielte als im horizontal angelegtem klassischen Staudenbeet. Dies kann auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden: Neben unterschiedlichem Pflege- und Betriebsmanagement, ist die Dichte der Pflanzung hier ausschlaggebend, sowie die damit einhergehende Anordnung in der Vertikalen bzw. Horizontalen sowie die daraus resultierende gegenseitige Be- und Abschattung.

Nicht zu vernachlässigen ist die Größenentwicklung der Pflanzen: Jungbäume sind kleinkronig und bewirken im Vergleich zu ausgewachsenen Bäumen weniger. Um dies im frühen Entwicklungsstadium der Baumpflanzung zu kompensieren, wäre eine temporäre Kombination von unterschiedlichen Grünen Strukturen (z.B. Jungbaumpflanzung mit Staudenbeet) erstrebenswert.

Kombinationen von verschiedenen Grünen Infrastrukturen sowie ihre zeitlich unterschiedliche Wirksamkeit basierend auf ihren Entwicklungszustand und Vitalitätszustand sind beim Einsatz zielgerichtet zu berücksichtigen.

### 5.3. Ökosystemdienstleistungen & Monetarisierung

Die Ergebnisse beziehen sich auf die Jahressumme des untersuchten Zeitraums von September 2021 bis Ende August 2022.

Der Demo Case Boutiquehotel hat in Summe 2.126 m<sup>2</sup> Grünfläche. Diese Begrünungen erhöhen den Wertanteil der Immobilie einmalig um 831.600 €.

Mit den Grünen Infrastrukturen vor Ort können im Jahr 2.000 € Stromkosten für die Gebäudekühlung von 5.500 kW eingespart werden. Der monetäre Wert der Strahlungsreduktion durch grüne Infrastrukturen beläuft sich bei 245.600 GW auf 90.900 €. Gleichzeitig wurden 488.500 m<sup>3</sup> an Regenwasser zurückgehalten und das Abwassersystem entlastet, das 10.800 € Einsparungen in Form von Abwassergebühren entspricht. Die Evapotranspiration hat mit 203.900 kg verdunstetem Wasser zu 75.000 € Kühlleistungseinsparungen im Außenraum beigetragen. Die Grünen Infrastrukturen speichern 15.900 kg CO<sub>2</sub> im Jahr, das knapp 400 € an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten entspricht. Gleichzeitig wurden 11.600 l Sauerstoff produziert und 170.600 € damit eingespart. In Summe ergeben die definierten KPIs laufende Einsparungen durch Ökosystemdienstleistungen von 350.100 € pro Jahr.

Die Boku stellt mit 73.700 m<sup>2</sup> Grünfläche den größten untersuchten Demo Case dar. Die einmalige Immobilienwertsteigerung liegt hier bei 21.598.600 €.

Die Strahlungsreduktion liegt hier bei 8.419.600 GW im Jahr mit umgerechnet 3.114.400 € Einsparungen. Die Grünen Infrastrukturen verdunsten 8.800.300 kg Wasser im Jahr und sparen damit 3.255.200 €. Die Wasserspeicherung beläuft sich auf 19.307.800 m<sup>3</sup>, das 428.600 € entspricht. Durch Photosynthese speichert die Boku mit der Vielzahl an Bäumen 1.384 t CO<sub>2</sub> im Jahr, d.h. 34.600 € werden dadurch eingespart. Gleichzeitig werden 1.006.300 l Sauerstoff produziert bzw. 14.788.200 € eingespart. Die Kühlleistungen im Innenraum belaufen sich auf Einsparungen an Klimaanlage im Wert von 7.000 € durch 18.900 kW.

In Summe wurden im Demo-Standort Boku 21.628.000 € laufende Kosten im untersuchten Zeitraum eingespart.

Die Donauplatte hat in Summe 13.960 m<sup>2</sup> Grünfläche. Die einmalige Immobilienwertsteigerung liegt hier bei 26.949.800 €.

Bei den laufenden Kosten werden 614.800 € durch eine Strahlungsreduktion um 1.662.100 GW gutgeschrieben. Die Evapotranspiration mit 875.600 kg verdunstetem Wasser im Jahr entspricht 323.800 € Einsparungen. Mittels Wasserspeicherung durch grüne Infrastrukturen von 5.818.000 m<sup>3</sup> werden im Jahr 129.160 € an Abwassergebühren eingespart. Die CO<sub>2</sub>-Speicherung macht 2.700 € mittels 107,5 t CO<sub>2</sub> aus. Dadurch wird 78.200 l Sauerstoff produziert, das umgerechnet einen Wert von 1.148.500 € entspricht. Mit den Grünen Infrastrukturen können im Jahr 5.200 € an Stromkosten für die Gebäudekühlung von 13.900 kW eingespart werden.

Die laufenden Einsparungen ergeben in Summe 2.224.100 € im Jahr.

## 5.4. Webapplikation

Im Rahmen des Projekts wurde eine maßgeschneiderte Webapplikation entwickelt, die unter <https://greenvaluation.app> erreichbar ist. In Abbildung 1 ist ein Screenshot der Homepage-Startseite zu sehen. In der Webapplikation werden die Ökosystemdienstleistungen der drei Standorte auf einer interaktiven Karte sichtbar gemacht. In Abbildung 2 ist ein Kartenausschnitt mit Wertzuweisung und Möglichkeit zur Filterung von verschiedenen Begrünungstypologien und Anzeige von Wetterdaten zu sehen. Die dort visualisierten Daten kommen über eine Schnittstelle und werden über einen frei zu definierenden Zeitraum akkumuliert. Die dabei ermittelten Leistungs- und Montarisierungswerte, sowie ausgewählte Wetterinformationen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Sonnenstunden) werden in einer Übersicht angezeigt und können als Rohdaten (CSV) exportiert werden.

In der Webapplikation werden neben Informationen zu den Standorten auch die angewandten Methoden & Wertermittlungen informativ dargestellt. Außerdem findet sich ein dynamischer Zähler, der den Nutzer\*innen die berechneten Werte des GREeNvaluation Tools (basierend auf Durchschnittswerte aus dem Jahr 2021) greifbar machen sollen: In Bezug zur Verweildauer von Nutzer\*innen (aktualisiert im Millisekunden-Takt) wird der dazu ermittelte Barwert (der als Kostenersparnis zu sehen ist) generiert und ausgegeben.

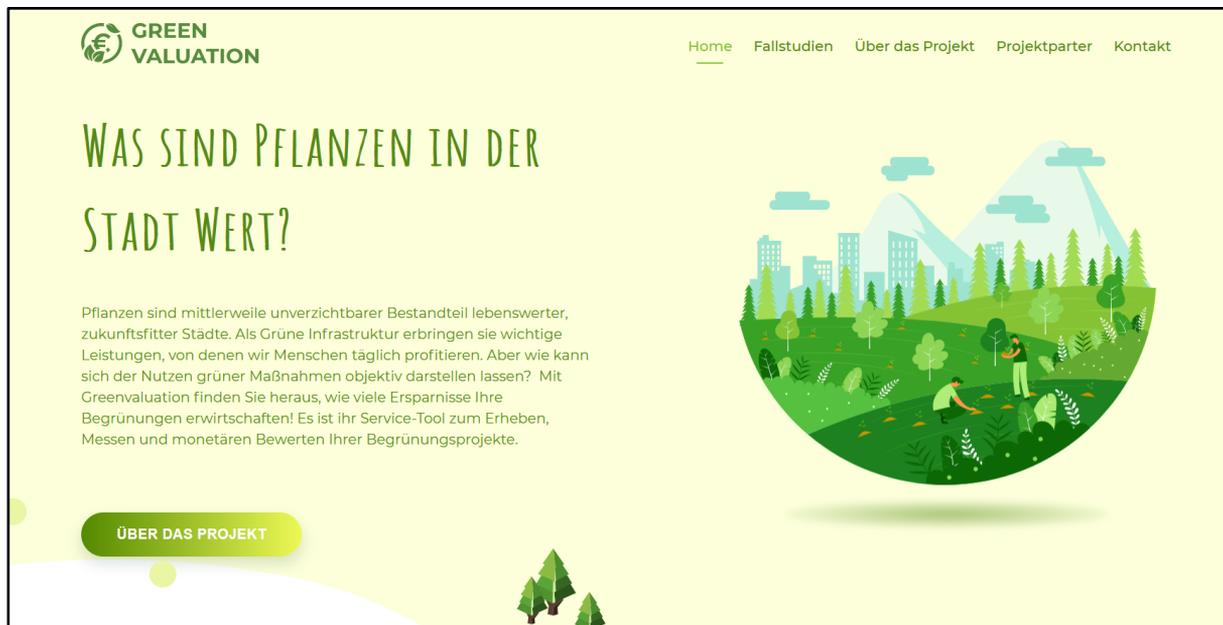


Abbildung 1: Ausschnitt der Homepage der Webapplikation

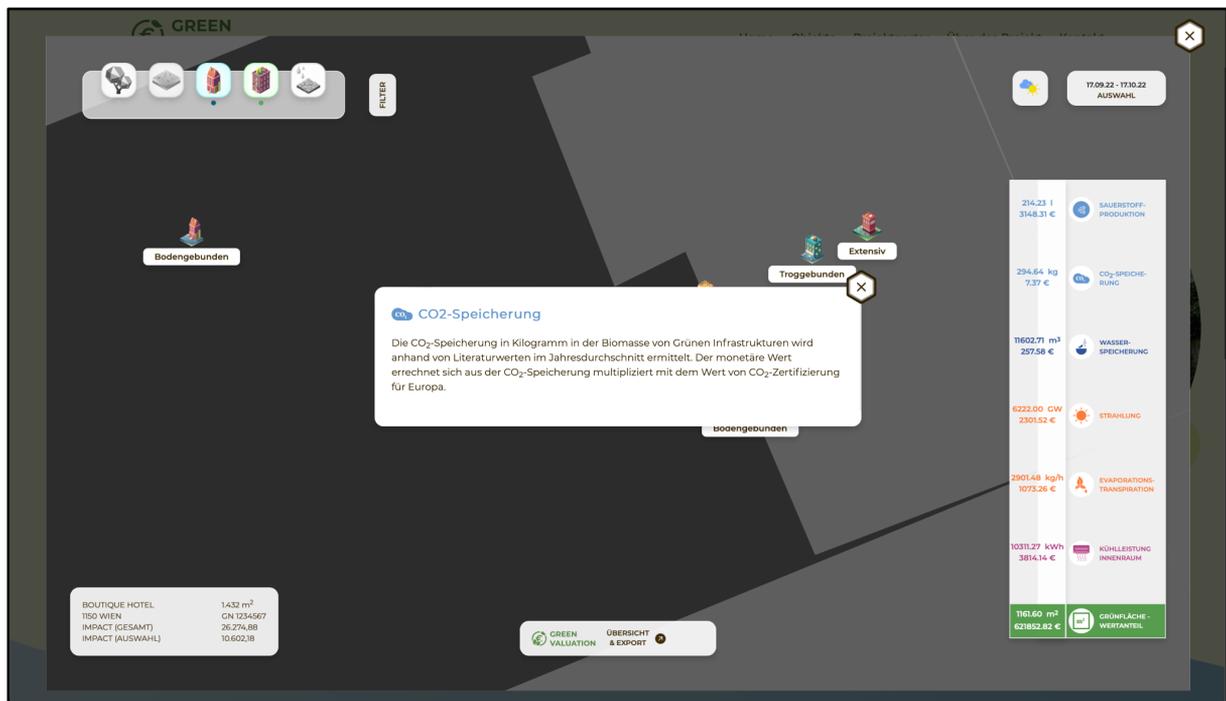


Abbildung 2: Interaktiver Kartenausschnitt mit Wertzuweisung und Möglichkeit zur Filterung und Anzeige von Wetterdaten

## 5.5. Beitrag zu “Stadt der Zukunft”

Mit dem GREeNvaluation toolkit konnte das Ziel des Forschungsprogramms – die Wirkung innovativer Stadtbegrünungstechnologien inklusive Darstellung von effizienten Anwendungen – erfolgreich umgesetzt werden. Mit dem Projekt wurde gezeigt, dass das GREeNvaluation Tool am Beispiel von dreier unterschiedlichen Bebauungstypologien mit unterschiedlichen Grünen Infrastruktur Typologien anwendbar ist. Die Auswirkungen von Begrünung auf den gebäudebezogenen Energiebedarf, Regenwassermanagement sowie das Mikroklima im Außenraum konnten sowohl quantitativ als auch monetär dargestellt werden.

Mit dem GREeNvaluation Toolkit wurde eine völlig neue Technologie entwickelt, die nun als Dienstleistung zur Unterstützung von klimaresilienter Stadtplanung angeboten werden kann. Somit leistet der GREeNvaluation Toolkit einen Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile mit hoher Lebensqualität. Mit der weltweit ersten Dienstleistung zur exakten Erfassung der Wirkungsleistungen und Berechnung des monetären Wertes von Begrünungsmaßnahmen nimmt der GREeNvaluation toolkit eine internationale Vorreiterrolle ein.

# 6 Schlussfolgerungen

## 6.1. Erkenntnisse

Das Ziel des Forschungsprojektes - ein Proof of Concept der Evaluierung und Monetarisierung von Ökosystemdienstleistungen in Echt-Zeit – wurde erreicht. Mit dem Projekt wurde gezeigt, dass das GREeNvaluation Tool an unterschiedlichen Bebauungstypologien mit unterschiedlichen Grünen Infrastruktur Typologien anwendbar ist und sich Einsparungen in unterschiedlicher Größenordnung berechnen lassen. Damit konnten die Ökosystemdienstleistungen von Grünen Infrastrukturen - auch monetär - sichtbar gemacht werden. Das bietet viel Potenzial für eine verstärkte Umsetzung von Grünen Infrastrukturen, da die Begrünungen faktenbasiert und ökonomisch argumentiert werden können, anstatt auf emotionaler Ebene oder aus ökologischen Gesichtspunkten.

Insbesondere für Green4Cities und die Universität für Bodenkultur waren die unterschiedlichen Ökosystemdienstleistungen von verschiedenen Grünen Infrastruktur Typologien zu unterschiedlichen Wetterbedingungen ein Wissensgewinn. Diese Erkenntnis wird für interne Projekte weiterverwendet. Ebenso der Ansatz von simulationsfreier Bewertung anhand Machine Learning Algorithmen war eine neue Methode, die in Zukunft öfters bei GREENPASS angewendet wird.

Der Wissensgewinn und die Ergebnisse des Projekts sind für tatwort für weitere laufende und zukünftige Projektumsetzung relevant. Die Case Study Ergebnisse bieten eine Datengrundlage, die für Diskussionen und Entscheidungsfindungen rund um Umsetzungsprojekte mit Begrünungen dienen kann. Die Ergebnisse aus den Stakeholderbefragungen bieten wertvolle Einblicke in die Bedürfnisse und Hemmnisse rund um die Errichtung Grüner Infrastrukturen.

## 6.2. Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Vertreter:innen der wesentlichen Stakeholdergruppen wurden bereits frühzeitig während der Entwicklungsphase der GREeNvaluation Servicedienstleistung einbezogen und über den Projektfortschritt informiert. Durch die Stakeholderbefragungen und Fokusgruppen wurden die Bedürfnisse und Interessen zukünftiger potenzieller Nutzer:innen erhoben und berücksichtigt. Gleichzeitig konnte GREeNvaluation auf diesem Weg einigen Schlüsselakteur:innen bereits vorab vorgestellt werden.

Neben den gängigen Verbreitungsmethoden über die Webseiten und Social Media Accounts der Konsortialpartner wurde GREeNvaluation außerdem auf internationalen Fachtagungen, Konferenzen und Präsentationsveranstaltungen vorgestellt (Abbildung 3).

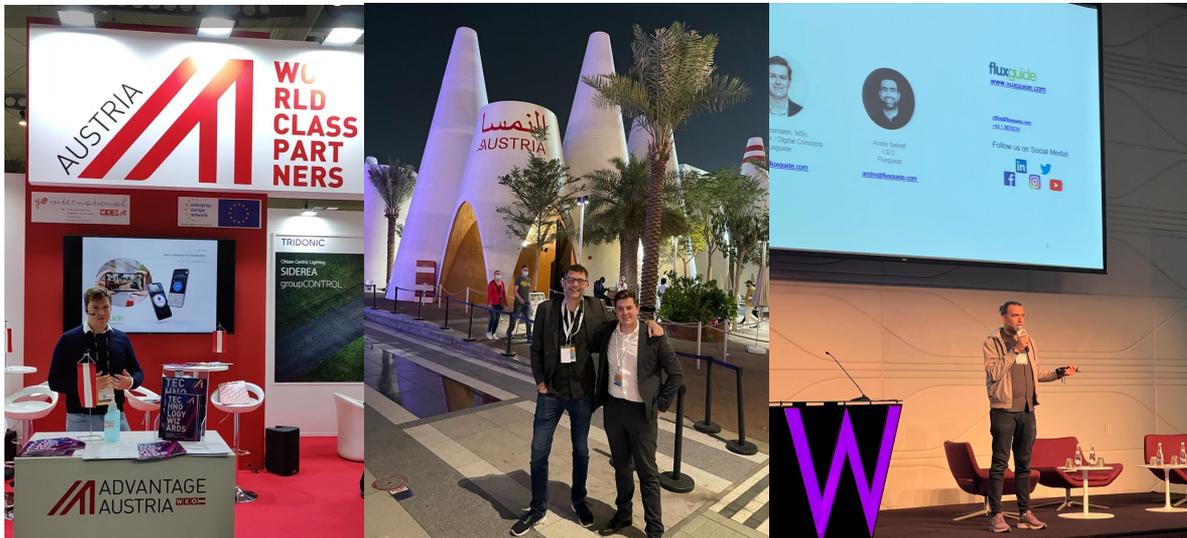


Abbildung 3: Vertreten durch Fluxguide auf dem Smart City Expo World Congress 2021 in Barcelona (l.), der Expo 2020 (2022) in Dubai (m.) und dem TECXPORTE 2022 in Abu Dhabi (r.)

Zur weiteren Verbreitung an Fachpublikum, potenzielle Kunden und die interessierte Öffentlichkeit wurden ein sechsseitiger Informationsfolder (Abbildung 4) und ein White Paper erstellt. Zusätzlich sind die Ergebnisse der drei Show-Case Standorte über die [Webapplikation](#) abrufbar. Dort wird auch nachvollziehbar, wie die Oberfläche und die Handhabung für zukünftige Kunden der Servicedienstleistung aussehen kann.

Der Zugang zur Webapplikation sowie die aufbereiteten Unterlagen wurden zum Ende der Projektlaufzeit an die Fachpresse und relevante Vertreter\*innen von Publikumsmedien verschickt.

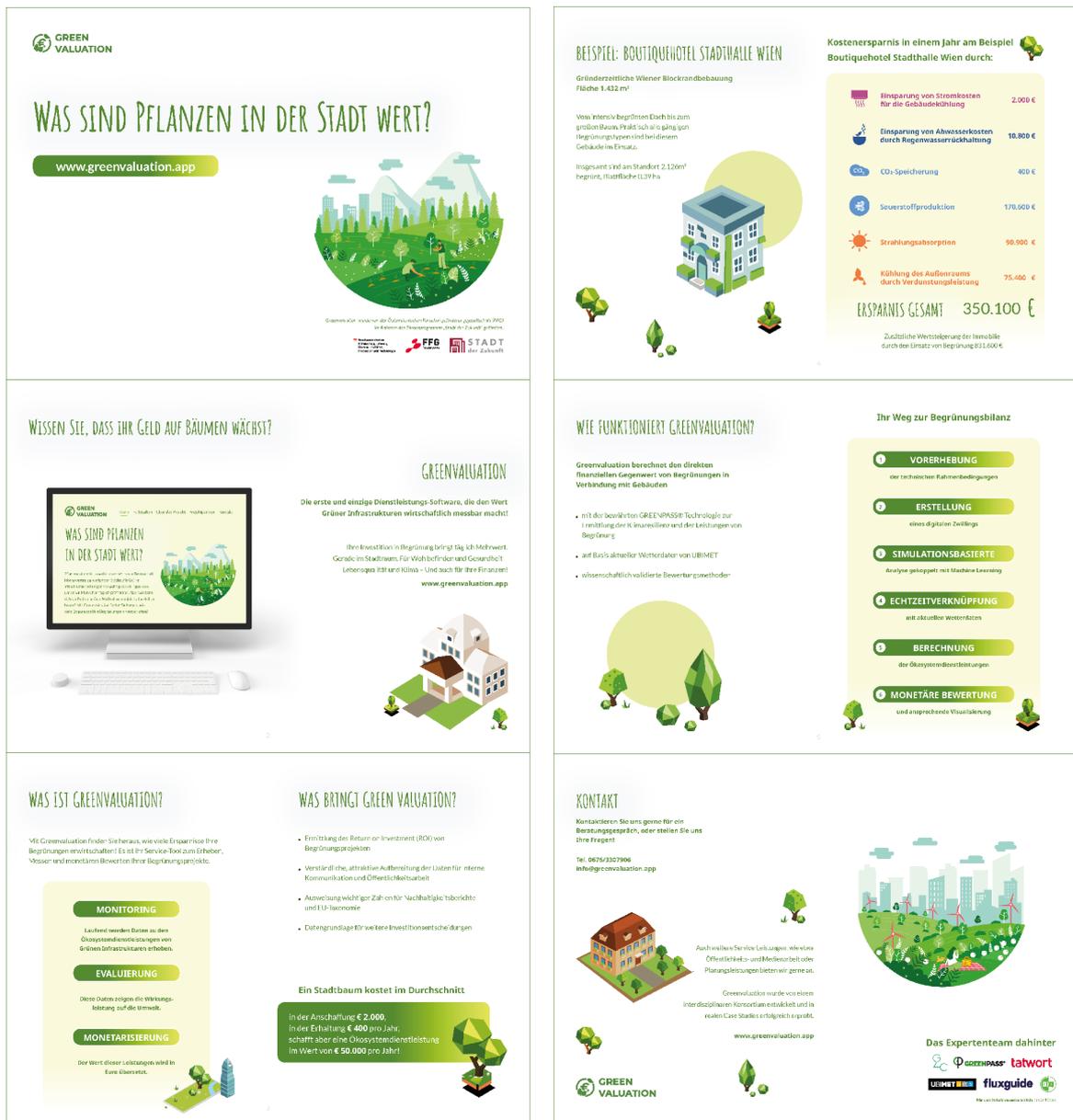


Abbildung 4: Infolder

Konkret wurden als erste potenzielle Zielgruppen für die Anwendung von GREeNvaluation zur Erstansprache insbesondere "Vorreiterstädte" aus dem DACH-Raum identifiziert. Dazu zählen Städte, die sich einerseits mit besonderem Engagement für Stadtbegrünung auszeichnen wie beispielsweise die Anwärter auf die European Green Capital of the Year oder Unterzeichnerstädte des Vereins Die Grüne Stadt und andererseits Städte, die besondere Dringlichkeit für Klimawandelanpassungsmaßnahmen formuliert haben - zum Beispiel durch Ausrufung des Klimanotstands.

Ergänzend dazu liefert vor allem auch der Green Market Report vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) in Zusammenarbeit mit dem Innovationslabor GRÜNSTATTGRAU sowie dem Verband für Bauwerksbegrünung erstmals konkrete Zahlen und Fakten für den grünen Markt der Bauwerksbegrünungen, wo mit Dach- und Fassadenbegrünungen auch zwei wichtige Typen forciert werden, welche eine Vielzahl an Ökosystemdienstleistungen erbringen.

Der Bericht zeigt vor allem auch die großen Wachstumsaussichten für den relativ jungen und neuen Markt der Bauwerksbegrünung in Österreich. Darin werden die durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten von 2014-2018 für die Umsatzentwicklung für Dachbegrünungen mit 9,21%, für Fassadenbegrünungen mit 8.88%, für Innenwandbegrünungen mit 37,59% und für den Gesamtmarkt Bauwerksbegrünung mit 9,63% angegeben. (BMK, 2020).

Die Marktumfeldanalyse zeigt somit ein großes Verwertungspotential für GREeNvaluation als innovative Produktlösung zur Bewertung und Monetarisierung von Ökosystemdienstleistung.

### **6.3. Weiterführendes Forschungsprojekt**

Das vorliegende Projekt hat gezeigt, dass auf diesem Gebiet noch weiter Forschungsbedarf besteht. Daher ist ein Folgeprojekt zur Weiterentwicklung des GREeNvaluation Toolkits in Planung. Das Ziel ist es, ein Tool zu entwickeln, das neben einem Monitoring auch eine Prognose von Ökosystemdienstleistungen inklusive Berücksichtigung von Klimaszenarien und Baumwachstumsprognosen ermöglicht und somit eine Kalkulation und Kosteneinschätzung über längere Zeiträume zulässt. Mit diesem Tool können Investitionen in grüne Infrastrukturen gesteuert und begründet werden und sogar ein ROI berechnet werden. Zudem soll ein Tool entwickelt werden, das eine Analyse der besten Messpunkte zur Erfassung des Mikroklimas erlaubt, um ein optimiertes Messnetz zur kostengünstigen, exakten Messung für das Echt-Zeit Monitoring zu erhalten. Weiters soll auch das Bilanzierungstool weiter ausgebaut werden, d.h. zukünftig sollen Errichtungs-, Erhaltungs- und Pflegekosten den Einsparungen gegenübergestellt werden.

# 7 Ausblick und Empfehlungen

## 7.1. Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten könnten insofern angedacht werden, als man im Hinblick auf die erhobenen Datenreihen nicht nur Wien abbilden, sondern auch Messreihen in anderen Klimaten durchführen könnte. So könnten beispielsweise zusätzliche Messreihen in ariden Gebieten mit den bestehenden in Bezug gebracht werden.

Auch eine Intensivierung von Messungen explizit an Hitzetagen könnte die Leistungen der GI speziell für diese Tage noch genauer ausweisen. In Bezug auf die grünen Infrastrukturen könnte auch die gezielte Betrachtung von Kombinationen dieser, also beispielsweise Gehölze mit Unterpflanzung oder Gehölze in Kombination mit Fassadenbegrünung erfolgen, um die kombinierte Wirkung besser auszuweisen. Das Alter und diesbezüglich die Entwicklung der Leistung der GI über die Zeit könnte eine weitere spannende Fragestellung für zukünftige Forschungsarbeiten sein. Weiterführende Arbeiten könnten zudem auch unterschiedliche Systeme abbilden, z.B. verschiedene Fassadenbegrünungssysteme.

Weiters wäre eine Untersuchung, wie sich grüne Infrastrukturen bei Hitze- bzw. Trockenstress verhalten, relevant. Gerade frisch gepflanzte Jungbäume sind in den ersten Jahren häufig von Trockenstress betroffen und können keine Ökosystemdienstleistungen mehr erbringen.

Auch eine Prognose von Ökosystemdienstleistungen über einen längeren Zeitraum in die Zukunft, birgt weiter Potential für zukünftige Projekte (siehe Kapitel 6). Dazu Bedarf es an Forschungsarbeit bezüglich der Wachstumsprognose von Grünen Infrastrukturen, sowohl der Verknüpfung von hochaufgelösten Klimaszenarien mit Ökosystemdienstleistungen.

Die aktuelle Methodik – mittels vor-Ort Messungen – ist aktuell noch sehr ressourcenintensiv. Daher können im Bereich der Wetterinformationen weiterführende F&E Aktivitäten zu einer Erhöhung der Genauigkeit, speziell im urbanen Raum mit komplexer Topographie und Bebauung, der Analysen und Prognosen genutzt werden.

## 7.2. Potential für Demonstrationsvorhaben

### 7.2.1. Herausforderungen

Bezüglich der Messkampagne gibt es Herausforderungen in der Umsetzung. Die Messreihen waren insbesondere in Bezug auf die abgebildeten Parameter und die Vielzahl an unterschiedlichen grünen Infrastrukturen sehr umfangreich. Da es sich um Messungen im Feld handelt, konnten diese oft nicht

wie geplant umgesetzt werden, weil die jeweiligen gewünschten Witterungsverhältnisse am Tag der geplanten Messung nicht zutreffend waren. Somit bedingt die Durchführung ein sehr hohes Maß an Flexibilität.

Außerdem gibt es rechtliche Hürden. Das Ziel der Verbesserung der Bewertung Grüner Infrastrukturen auf ein angemesseneres Niveau ist unter den derzeitigen verbindlichen Vorgaben laut Bilanzierungsrichtlinien nicht möglich. Das heißt, dass der reale Wert Grüner Infrastrukturen in den Rechnungsbüchern nicht abgebildet werden kann. Denn anders als z. B. Gebäude folgt bei Begrünungen nach der Pflanzung erst eine jahrzehntelange Phase des Wachstums, bevor ein Verfall einsetzt. Trotzdem dürfen in den Vermögensbilanzen nur maximal die Errichtungskosten der jungen Pflanzen als Wert angeführt werden. Gleichzeitig ist bekannt, dass Dingen oft nur ein entsprechender Wert beigemessen wird, wenn sich das auch in Geld beziffern lässt. Ein realistisches Szenario dafür wäre, dass in einer Stadt bei der Rodung einiger älterer Straßenbäume für ein Bauprojekt der finanzielle Schaden auf dem Papier Null Euro betragen kann. Damit wird aber nicht nur der eigentliche Objektwert der Bäume unterbewertet, sondern bisher auch völlig außer Acht gelassen, welche erhöhten Folgekosten durch den Wegfall der laufenden Ökosystemdienstleistungen dieser Bäume entstehen.

Eine der Zielsetzungen des Projekts - die Bewertung Grüner Infrastrukturen auch in der Vermögensbilanz - angemessener darzustellen, ist daher unter den gegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen nicht möglich. Durch die Berechnung und Visualisierung des Werts der laufenden Ökosystemdienstleistungen von Begrünungen wird aber zumindest dieser Aspekt sichtbar und kann zukünftig in langfristige Planungsentscheidungen mit einbezogen werden.

Eine weitere Herausforderung besteht in Zusammenhang mit der transparenten und nachvollziehbaren Ausweisung der ökonomischen Bewertungen dieser laufenden Ökosystemdienstleistungen. Begrünungen unterscheiden bei der Verteilung des Nutzens ihrer Ökosystemdienstleistungen nicht nach Eigentümerstrukturen. Das heißt, der Straßenbaum, der auf öffentlichem Grund im Besitz einer Stadt steht, kühlt den öffentlichen Raum genauso wie die Fassade (und damit auch den Innenraum) des an die Straße angrenzenden Privathauses. Viele der Leistungen Grüner Infrastrukturen betreffen auch ganz unterschiedliche Nutznießer. Das heißt zum Beispiel: Grünflächen auf einem Privatgrund kommen mit ihrer Kühlleistung einerseits auf jeden Fall ihrem Eigentümer zugute. Eine andere wertvolle Leistung ist das Zurückhalten von Regenwasser, womit das Kanalsystem entlastet wird. In den meisten Fällen wird die Entsorgung des Regenwassers von den Leitungsnetzbetreibern aber noch nicht gesondert verrechnet. (Auch wenn sich eine verstärkte Entwicklung in diese Richtung abzeichnet.) In diesem Fall profitiert nicht der Eigentümer der Begrünung, sondern der Leitungsnetzbetreiber von jedem Liter Regenwasser, der nicht über das Kanalsystem abgeleitet und in Kläranlagen aufbereitet werden muss. Diese komplexe Aufteilung von Ökosystemdienstleistungen, die einen nachweislichen Wert haben, aber ganz unterschiedlichen Profiteuren zugutekommen können, erschwert die transparente Zuteilung von monetären Leistungsbewertungen und die Ausweisung von Einsparungen.

Die Entwicklung der Machine Learning Algorithmen, insbesondere die zugrundeliegenden Simulationen zu unterschiedlichen Jahreszeiten und Wetterbedingungen, bedarf einen hohen Personal- und Rechenaufwand. Daher ist eine Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt mit einem langen Durchführungszeitraum von mehreren Monaten verbunden.

## 7.2.2. Chancen

Der Markt für die Bewertung von Ökosystemdienstleistungen ist jung, gekoppelt an sozioökologische und öffentlichkeitsrelevante Diskussionen rund um die Klimakrise sowie nachhaltiges Bauen und Stadtentwicklung und ist nach wie vor in dynamischer Entwicklung und bietet eine große Chance für eine Umsetzung eines Demonstrationsprojektes bzw. einen Marktstart von GREeNvaluation.

Abgesehen von weiterführender akademischer Forschung sind die Projektergebnisse generell für alle Eigentümer:innen großer Mengen Grüner Infrastrukturen relevant - insbesondere Städte und Gemeinden sowie große Unternehmen bzw. Immobilieneigentümer. Gleichzeitig betreffen die Ergebnisse Architekt:innen, Raum- und Landschaftsplaner:innen, Landschaftsgärtner:innen und alle, die an der Errichtung Grüner Infrastrukturen im Immobilienkontext beteiligt sind.

Ein weiteres mögliches zukünftiges Anwendungsgebiet könnte im Bereich der EU-Taxonomie liegen: Die 2022 für den Gebäudesektor in Kraft getretene EU-Taxonomie fordert den Nachweis der Erfüllung der Umweltziele "Klimaschutz" und "Anpassung an den Klimawandel" sowie ein Monitoring der Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen. Dieses Monitoring kann GREeNvaluation bieten:

- Kommunen und Stadtklimatolog:innen können die Projektergebnisse als allgemeine Kommunikationshilfe heranziehen. Bei praktischer Anwendung auf die eigene Kommune können konkrete Wertermittlungen für ein Stadtgebiet erfasst werden.
- Große Unternehmen können die Ergebnisse bei Anwendung auf die eigenen Immobilien für das CSR-Reporting nutzen.
- Planer:innen im Bausektor können die Projektergebnisse als Argumentationsgrundlage für stärkere Begründung heranziehen bzw. den Erhalt Grüner Infrastrukturen auf Basis der ermittelten Werte begründen.
- Im Green-Finance Sektor kann GREeNvaluation zum Wirkungsmonitoring "Grüner Maßnahmen" dienen.

Die Marktanalysen zeigen, dass die GREeNvaluation-Technologie sowohl hinsichtlich des Scope of Services, der Anwendbarkeit und Bedienerfreundlichkeit, wie auch Standardisierung und Internationalisierung an führender Stelle liegt. Für die Bewertung von Ökosystemdienstleistungen und dabei v. a. die Monetarisierung gibt es kaum vergleichbare, wissenschaftlich fundierte und effizient anwendbare Lösungen am Markt. Der Bedarf, eine Datenlage für eine Kosten-Nutzen-Rechnung für grüne Infrastrukturen zu generieren, wird dabei bisher noch gar nicht gedeckt. Ansatzweise gibt es (Nischen)Lösungen für Einzelbereiche (z. B. Planungs- und Optimierungstools, Mikroklimasimulation, Windsimulationen usw.). Die Bewertung von naturbasierten Lösungen und all ihren Subtypen mit ihren unterschiedlichen Ökosystemdienstleistungen ist dabei oft so gut wie nicht integriert bzw. thematisiert. Allerdings ist aufgrund der Dynamik des Marktes, der Priorität des Themas und dem zukünftig erwartbaren Umsatzpotential laufend mit dem Auftreten neuer MarktteilnehmerInnen zu rechnen.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt der Homepage der Webapplikation.....	30
Abbildung 2: Interaktiver Kartenausschnitt mit Wertzuweisung und Möglichkeit zur Filterung und Anzeige von Wetterdaten .....	31
Abbildung 3: Vertreten durch Fluxguide auf dem Smart City Expo World Congress 2021 in Barcelona (l.), der Expo 2020 (2022) in Dubai (m.) und dem TECXPORT 2022 in Abu Dhabi (r.).....	33
Abbildung 4: Infofolder .....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorprojekte des Konsortiums gegliedert nach Förderstelle, Projektnummer, Titel und Inhalt .....	16
--	----

## Literaturverzeichnis

Asner, Gregory P.; Scurlock, Jonathan M. O.; A. Hicke, Jeffrey (2003): Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. In: *Global Ecology and Biogeography* 12 (3), S. 191–205. DOI: 10.1046/j.1466-822X.2003.00026.x.

Bartesaghi Koc, Carlos; Osmond, Paul; Peters, Alan (2017): Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies. In: *Urban Ecosyst* 20 (1), S. 15–35. DOI: 10.1007/s11252-016-0578-5.

Bréda, Nathalie J. J. (2003): Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. In: *Journal of experimental botany* 54 (392), S. 2403–2417. DOI: 10.1093/jxb/erg263.

BUE, 2017. Hamburgs Gründächer. Eine ökonomische Bewertung. Herausgeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE).

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (Hg.) (2020): Green Market Report. Bauwerksbegrünung in Österreich. Zahlen, Daten, Märkte.

Claßen, Thomas; Bunz, Maxie (2018): Einfluss von Naturräumen auf die Gesundheit – Evidenzlage und Konsequenzen für Wissenschaft und Praxis. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 61 (6), S. 720–728. DOI: 10.1007/s00103-018-2744-9.

Clevers, Jan; Kooistra, Lammert; van den Brande, Marnix (2017): Using Sentinel-2 Data for Retrieving LAI and Leaf and Canopy Chlorophyll Content of a Potato Crop. In: *Remote Sensing* 9 (5), S. 405. DOI: 10.3390/rs9050405.

Delta-T Devices. (2021) AP4 Porometer. Available at: [https://www.delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2019/06/AP4\\_Datasheet\\_version\\_6.pdf](https://www.delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2019/06/AP4_Datasheet_version_6.pdf) (Accessed: 16.02 2021).

Der Standard (2021): Preisspiegel Wien Wohnungen Kauf. Abgerufen am 16.06.2021 von <https://images.derstandard.at/upload/imagesanzeiger/immopreise/pdf/2021/06/Immobilienpreise%20Wohnungen%20Kauf%20Wien%202021-06.pdf>

E-Control, 2022. Tarifkalkulator Strom. Abgerufen am 06.09.2022 von <https://www.e-control.at/konsumenten/service-und-beratung/toolbox/tarifkalkulator#/>

ENVI-met (1.): ENVI-met Model Architecture. <https://envi-met.info/doku.php?id=intro:modelconcept> (abgerufen am 17.08.2021; 15:17)

ENVI-met (2.): Lateral Boundary Conditions. <https://envi-met.info/doku.php?id=kb:lbc> (abgerufen am 17.08.2021; 15:30)

Enzi, Vera; Scharf, Bernhard (2012): Das Haus im „Grünen Pelz“ BÜROGEBÄUDE der MA 48, Einsiedlergasse 2, 1050 Wien. Fachzeitschrift für Architekten.

FLL 2018a Fassadenbegrünungsrichtlinien, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen (2018).

Finanzen.net (2021): CO2 European Emission Allowances. Abgerufen am 14.06.2021 von <https://www.finanzen.at/rohstoffe/co2-emissionsrechte>

FIEC (2021): FIEC 2021 Statistical Report EUROPEAN UNION. Herausgeber: European Construction Industry Federation.

Gorbachevskaya, Olga; Herfort, Susanne (2012): Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Berlin.

Hossain, Shaikh Abdullah Al Mamun; Lixue, Wang; Taotao, Chen; Zhenhua, Li (2017) 'Leaf area index assessment for tomato and cucumber growing period under different water treatments', *Plant, Soil and Environment*, 461-467

Hunter, Annie M.; Williams, Nicholas S.G.; Rayner, John P.; Aye, Lu; Hes, Dominique; Livesley, Stephen J. (2014): Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. In: *Ecological Engineering* 63, S. 102–113. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.12.021.

Jamei, Elmira; Rajagopalan, Priyadarsini; Seyedmahmoudian, Mohammadmehdi; Jamei, Yashar (2016): Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort.

Kinhal, Vijayalaxmi (2020): The Importance of Leaf Area Index (LAI) in Environmental and Crop Research.

Köhler, Manfred; Ksiazek-Mikenas, Kelly (2018): Green Roofs as Habitats for Biodiversity. In: *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*: Elsevier, S. 239–249.

Kong, Ling; Lau, Kevin Ka-Lun; Yuan, Chao; Chen, Yang; Xu, Yong; Ren, Chao; Ng, Edward (2017): Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. In: *Sustainable Cities and Society* 31, S. 12–25. DOI: 10.1016/j.scs.2017.01.018.

Kramer, Paul (1987): The Role of Water Stress in Tree Growth. In: *AUF* 13 (2), S. 33–38. DOI: 10.48044/jauf.1987.006.

Kuttler, Wilhelm (2019): Stadtklima: Definition, Charakteristika. Nachweismöglichkeiten.

Lee, Hyunjung; Mayer, Helmut; Chen, Liang (2016): Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. In: *Landscape and Urban Planning* 148, S. 37–50. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.12.004.

Linde, 2021. Sauerstoff 2.5 grün. Abgerufen am 14.06.2021 von <https://www.linde-gas.de/shop/de/de-ig/gase-kaufen/schneid-und-schwei%C3%9Fgase/sauerstoff/sauerstoff-25-sauerstoff-25>

Luttik, J., 2000. The value of trees, water and open space as reflected by house prices in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning* 48, 2000, 161-167.

Medl, Alexandra; Stangl, Rosemarie; Florineth, Florin (2017): Vertical greening systems- A review on recent technologies and research advancement.

Meier, Fred; Scherer, Dieter (2012): Spatial and temporal variability of urban tree canopy temperature during summer 2010 in Berlin, Germany. In: *Theor Appl Climatol* 110 (3), S. 373–384. DOI: 10.1007/s00704-012-0631-0.

METER Group AG. (2021) AccuPAR LP-80 Available at: <https://www.metergroup.com/de/environment/produkte/accupar-lp-80/>

Mitterboeck, Michael; Korjenic, Azra (2017): Analysis for improving the passive cooling of building's surroundings through the creation of green spaces in the urban built-up area. In: *Energy and Buildings* 148, S. 166–181. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.02.005.

Nicole Pfoser (2016): Fassade und Pflanze Potenziale einer neuen Fassadengestaltung.

Normensammlung Gartengestaltung und Landschaftsbau. ÖNORMEN und ONRs für Ausschreibung, Vergabe, Planung, Durchführung, Erhaltung und Pflege (2020). 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Austrian Standards Plus GmbH.

Oliveira, Sandra; Andrade, Henrique; Vaz, Teresa (2011): The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. In: *Building and Environment* 46 (11), S. 2186–2194. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.04.034.

Perini, K., Rosasco, P. 2013. Costbenefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, Volume 70, 2013, 110-121, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>.

Pfoser, Nicole; Jenner, Nathalie; Henrich, Johanna; Heusinger, Jannik; Weber, Stephan; Schreiner, Johannes; Unten Kanashiro, Carlos (2013): Gebäude Begrünung Energie Potenziale und Wechselwirkungen.

Pirasteh-Anosheh, Hadi; Saed-Moucheshi, Armin; Pakniyat, Hassan; Pessarakli, Mohammad (2016): Stomatal responses to drought stress. In: Parvaiz Ahmad (Hg.): *Water Stress and Crop Plants*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, S. 24–40.

Rahman, M. A.; Armson, D.; Ennos, A. R. (2015): A comparison of the growth and cooling effectiveness of five commonly planted urban tree species. In: *Urban Ecosyst* 18 (2), S. 371–389. DOI: 10.1007/s11252-014-0407-7.

Santamouris, Mat; Kolokotsa, Denia (2016): *Urban Climate Mitigation Techniques*: Routledge.

Sanusi, Ruzana; Johnstone, Denise; May, Peter; Livesley, Stephen J. (2017): Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index. In: *Landscape and Urban Planning* 157, S. 502–511. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.08.010.

Scharf, Bernhard; Pitha, Ulrike; Trimmel, H. Thermal (2012): *Thermal performance of green roofs*. Copenhagen World Green Roof Congress.

Schindler, Bracha Y.; Blank, Lior; Levy, Shay; Kadas, Gyongyver; Pearlmutter, David; Blaustein, Leon (2016): Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. In: *Israel J Ecol Evol* 62 (1-2), S. 68–73. DOI: 10.1080/15659801.2015.1048617.

Stadt Wien (1.), 2021. Wasserbezugs- und Wasserzählergebühr - Meldung. Abgerufen am 14.06.2021 von <https://www.wien.gv.at/amtshelfer/umwelt/wasser/wasseranschluss/wassergebuehr.html>

Stadt Wien (2.), 2021. Abwassergebühr - Meldung. Abgerufen am 14.06.2021 von <https://www.wien.gv.at/amtshelfer/umwelt/wasser/wasseranschluss/abwassergebuehr.html>

Stangl, Rosemarie; Medl, Alexandra; Scharf, Bernhard; Pitha, Ulrike (2019a): Wirkungen der grünen Stadt Studie zur Abbildung des aktuellen Wissenstands im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Stangl, Rosemarie; Medl, Alexandra; Scharf, Bernhard; Pitha, Ulrike (2019b): Wirkungen der grünen Stadt. Studie zur Abbildung des aktuellen Wissenstands im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen. 12/2019. 2019. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Struthers, Raymond; Ivanova, Anna; Tits, Laurent; Swennen, Rony; Coppin, Pol (2015): Thermal infrared imaging of the temporal variability in stomatal conductance for fruit trees. In: *International*

*Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 39, S. 9–17. DOI: 10.1016/j.jag.2015.02.006.

UP Umweltanalytische Produkte GmbH. (17. Jänner 2021). UP GmbH. Von [https://www.upgmbh.com/fileadmin/produkte/pdf/12300\\_AP4.pdf](https://www.upgmbh.com/fileadmin/produkte/pdf/12300_AP4.pdf) abgerufen

Umweltanalytische Produkte GmbH. (2013) Pflanzenphysiologie – Stomatäre Leitfähigkeit - AP4-Porometer. Available at: [https://www.upgmbh.com/fileadmin/produkte/pdf/12300\\_AP4.pdf](https://www.upgmbh.com/fileadmin/produkte/pdf/12300_AP4.pdf) (Accessed: 16.02 2021).

United Nations (Hg.) (2020): Ziele für nachhaltige Entwicklung Bericht 2020.

Upmanis, Hillevi; Eliasson, Ingegärd; Lindqvist, Sven (1998): The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). In: *Int. J. Climatol.* 18 (6), S. 681–700. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(199805)18:6<681::AID-JOC289>3.0.CO;2-L.

Verhoef, A. (Mai 1997). The effect of temperature differences between porometer head and leaf surface on stomatal conductance measurements. *Plant, Cell & Environment*, 20(5), 641-646. doi:10.1111/j.1365-3040.1997.00098.

van Renterghem, Timothy; Botteldooren, Dick (2009): Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. In: *Building and Environment* 44 (5), S. 1081–1087. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.07.013.

Wiener Umweltschutzabteilung - (Hg.) (2021): Leitfaden Dachbegrünung.

## Abkürzungsverzeichnis

CMS	Content-Management-System
GI	Grüne Infrastruktur/green infrastructure
GIS	Geographisches Informationssystem
MZK	Mehrzweckkarte
usw.	und so weiter
z.B.	zum Beispiel

# 9 Anhang

## 9.1. Deliverable 8.1: White Paper

## 9.2. Deliverable 8.2: Projekt-Folder

## 9.3. Data Management Plan (DMP)

### 1: Datenerstellung und Dokumentation

Tabelle 1: Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts verwendet wurden

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
Geodaten	qualitativ und quantitativ	Flächen-MZK-Vektordaten, Baukörpermodell (LOD1.4)	Stadt Wien – data.wien.gv.at	öffentlich	<a href="https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/start.aspx">https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/start.aspx</a>
Wetterstationsdaten	quantitativ	Meteorologische Parameter (Temp., Druck, Feuchte, ...)	ZAMG	kommerziell	
Satellitendaten	quantitativ und qualitativ	Meteorologische Produkte (Cloud Coverage, Precipitation, ...)	EUMETSAT	kommerziell	
Radardaten	qualitativ und quantitativ	Wetterradarbild Österreich	Austro Control	Kommerziell	
Globalmodellldaten	quantitativ und qualitativ	Globale Wettervorhersagen (+168 h)	ECMWF	kommerziell	

Tabelle 2: Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert wurden

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
VEG	Vegetationsaufnahmen	qualitativ und quantitativ	Bonitur lauf Messplan	Universität für Bodenkultur	öffentlich in Form von Masterarbeiten

MESS	Messreihen der erhobenen Parameter	quantitativ	Messdaten zu Leaf Area Index (LAI), stomatäre Leitfähigkeit und Strahlungsbilanz der GI	Universität für Bodenkultur	öffentlich in Form von Masterarbeiten
DIGTWIN	Digitaler Zwilling	numerisches 3D-Modell (ENVI-met Area Input File)	3D-Modell der Projektstandorte inkl. Materialeigenschaften	Green4Cities	nicht öffentlich
SIM	Simulationsergebnisse	numerisch (EDT- & EDX-Datei)	Meteorologische Parameter, Gebäudeeigenschaften, Oberflächen-, Boden-, Strahlungsflüsse, Vegetationsparameter für 24 Stunden an ausgewählten Tagen	Green4Cities	nicht öffentlich
BIL	Bilanzierung Ökosystemdienstleistungen	numerisch (CSV-Datei)	Zeitreihe für jede grüne Infrastruktur von 01.09.2021 bis 04.10.22	Green4Cities	öffentlich, <a href="http://www.greenvaluation.app">www.greenvaluation.app</a>
SHA	Stakeholder-Anforderungen	qualitativ (Text: .docx-Datei)	Mitschriften: leitfadengestützte Interviews mit div. Interviewpartner*innen aus Stadtverwaltungen und Unternehmen aus D und A	tatwort	nicht öffentlich
FG	Protokoll Fokusgruppe	qualitativ (Text: .docx-Datei)	Protokoll/Mitschrift: leitfadengestützte Diskussionsrunde mit div. Gesprächspartnern	tatwort	nicht öffentlich

			er*innen aus Stadtverwaltungen und Unternehmen aus D und A		
SHA/FG	Zusammenfassung Stakeholderanforderungen	qualitativ (Text: .docx-Datei)	Zusammenfassender Bericht: Analyse und Ergebnisse d. Expert*innensprache mit div. Interviewpartner*innen aus Stadtverwaltungen und Unternehmen aus D und A (ergänzt um weiterführende Webrecherche)	tatwort	nicht öffentlich
REA	Meteorologische Reanalysen	quantitativ/numerisch (GeoTiff)	Meteorologische flächen Reanalysedaten für die letzte Dekade	UBIMET	nicht öffentlich

Tabelle 3: Metadaten für im Projekt generierte Datensätze

<b>Attribut</b>	<b>Beschreibung</b>
ID	VEG
Titel	Vegetationsaufnahmen
Zusammenfassung	Bonitur lauf Messplan der Projektstandorte
Zeitraum und Referenzjahr	Basierend auf Jahr 2020
Institution	Universität für Bodenkultur
Kontakt	guenther.fruehwirt@boku.ac.at
Methodik	Erfassung durch Begehungen
Datentyp	Tabellarisch (.xlsx) und Verortung in Plan (.pdf)

<b>Attribut</b>	<b>Beschreibung</b>
ID	MESS
Titel	Messreihen der erhobenen Parameter
Zusammenfassung	Messdaten zu Leaf Area Index (LAI), stomatäre Leitfähigkeit und Strahlungsbilanz der GI
Zeitraum und Referenzjahr	Oktober 2021 - September 2022
Institution	Universität für Bodenkultur
Kontakt	guenther.fruehwirt@boku.ac.at
Methodik	Feldmesskampagne
Datentyp	Tabellarisch (.xlsx)

<b>Attribut</b>	<b>Beschreibung</b>
ID	DIGTWIN
Titel	Digitaler Zwilling
Zusammenfassung	3D-Modell der Projektstandorte (Boutiquehotel, Donauplatte, Boku) inkl. Materialeigenschaften
Auflösung	horizontale Auflösung: 2x2 m, vertikale Auflösung: 3 m
Institution	Green4Cities GmbH
Kontakt	martha.kogler@green4cities.com
Mitwirkende und Rolle	Martha Kogler: Erstellung des Datensatzes
Methodik	Mithilfe öffentlich zugänglichen Geodaten der Stadt Wien wurden 3D-Modelle von drei Projektgebieten erstellt.
Quelldaten	Flächen-MZK-Vektordaten, Baukörpermodell (LOD1.4) der Stadt Wien (data.wien.gv.at)
Erstellungsdatum	Boutiquehotel 2021-05-21, Donauplatte 2021-08-19, Boku 2021-12-17
Datentyp	numerische 3D-Modelle (ENVI-met Area Input File)

**Attribut**                      **Beschreibung**

ID	SIM
Titel	Simulationsergebnisse
Zusammenfassung	Meteorologische Parameter, Gebäudeeigenschaften, Oberflächen-, Boden-, Strahlungsflüsse, Vegetationsparameter für 24 Stunden an ausgewählten Tagen von drei Standorten (Boutiquehotel, Donauplatte, Boku)
Zeitintervall	stündlich
Zeitraum und Referenzjahr	ausgewählte Tage aus 10-Jahres Reanalysen (2021-2020)
Institution	Green4Cities GmbH
Kontakt	martha.kogler@green4cities.com
Mitwirkende und Rolle	Martha Kogler: Preprocessing, Christoph Lewandowski: Simulation
Methodik	Simulationsergebnisse der Mikroklimasimulationssoftware ENVI-met. Simuliert wurde der digitale Zwilling der drei Standorte zu jeweils 27 ausgewählten Tagen mit unterschiedlichen Wetterbedingungen
Quelldaten	Digitaler Zwilling als Basis, generiert durch ENVI-met
Erstellungsdatum	Boutiquehotel 2021-05-28 bis 2021-11-14, Donauplatte 2022-02-22 bis 2022-05-03, Boku 2022-05-03 bis 2022-05-23
Datentyp	numerisch (EDT- & EDX-Datei)

<b>Attribut</b>	<b>Beschreibung</b>
ID	BIL
Titel	Bilanzierung Ökosystemdienstleistungen
Zusammenfassung	Zeitreihe der Ökosystemdienstleistungen (quantitativ und monetär) für jede grüne Infrastruktur von 01.09.2021 bis 04.10.22
Zeitintervall	täglich
Zeitraum und Referenzjahr	01.09.2021 bis 04.10.22
Institution	Green4Cities GmbH
Kontakt	martha.kogle@green4cities.com
Mitwirkende und Rolle	Martha Kogler: Preprocessing, Christian Göschl: Machine Learning
Methodik	Machine Learning basierend auf Simulationsergebnissen (SIM)
Erstellungsdatum	2022-10-27

Datentyp numerisch (CSV-Datei)

**Attribut Beschreibung**

ID SHA

Titel Stakeholderanforderungen

Zusammenfassung Fragen zu Investitionsabläufen und -Entscheidungsgrundlagen bei der Errichtung Grüner Infrastrukturen; Fragen zum Vorliegen von Daten über Ökosystemdienstleistungswerte Grüner Infrastrukturen und Kataster; Fragen zur Bilanzierung Grüner Infrastrukturen; Fragen zum Bedarf und Nutzungsmöglichkeiten für das Monitoring der Leistungswerte Grüner Infrastrukturen sowie deren Monetarisierung

Institution tatwort Nachhaltige Projekte GmbH

Kontakt maria.feher@tatwort.at

Methodik Leitfadengestützte qualitative Expert\*inneninterviews

Kommentar Datensatz besteht aus Interviewmitschriften

Erstellungsdatum 2020-01-30 bis 2021-10-20

Datentyp Text (.docx)

**Attribut Beschreibung**

ID FG

Titel Protokoll Fokusgruppe

Zusammenfassung Fragen zu Feedback und Usability des vorgestellten Prototypen der App; Fragen zum Bedarf und Nutzungsmöglichkeiten für das Monitoring der Leistungswerte Grüner Infrastrukturen sowie deren Monetarisierung; Fragen zur Bilanzierung Grüner Infrastrukturen

Institution tatwort Nachhaltige Projekte GmbH

Kontakt maria.feher@tatwort.at

Methodik Leitfadengestützte qualitative Fokusgruppendifkussion

Erstellungsdatum 2021-06-25

Datentyp Text (.docx)

**Attribut Beschreibung**

ID SHA/FG

Titel Zusammenfassung Stakeholderanforderungen

Zusammenfassung	Zusammenfassung und Analyse der gesammelten Aussagen der Stakeholder*interviews und Fokusgruppen, ergänzt um Ergebnisse weiterführender Webrecherchen basierend auf Hinweisen und Aussagen aus den Expert*inneninterviews.
Institution	tatwort Nachhaltige Projekte GmbH
Kontakt	maria.feher@tatwort.at
Methodik	Inhaltsanalyse
Erstellungsdatum	2021-06-30
Datentyp	Text (.docx)

<b>Attribut</b>	<b>Beschreibung</b>
ID	REA
Titel	Meteorologische Reanalysen
Zusammenfassung	Meteorologische Reanalysen der letzten 10 Jahre für ausgewählte Parameter, z.B. Parameter Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Windböen, Niederschlag sowie Bewölkung
Einheit	Physikalische Einheiten
Zeitintervall	Stündliche Auflösung
Zeitraum und Referenzjahr	2010-2020
Institution	UBIMET ( <a href="https://www.ubimet.com/">https://www.ubimet.com/</a> )
Kontakt	Markus Jech, mjech@ubimet.com
Methodik	Reanalysen erstellt auf Basis von VERA und MOS Analysen
Quelldaten	Wetterstationen, Radar- und Satellitenbilder, Blitzdaten, Topographie, Landcover
Erstellungsdatum	2021, 2022
Datentyp	GeoTiff und csv

## **2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte**

Die Datensätze Stakeholder-Anforderungen, Protokoll Fokusgruppe und Zusammenfassung Stakeholderanforderungen sind nicht öffentlich, da sie Persönlichkeitsrechte unterliegen. Bei Anfrage müssen die Daten modifiziert bzw. anonymisiert werden.

## **3: Datenspeicherung und -erhalt**

Der digitale Zwilling sowie die Simulationsergebnisse sind in einer Cloud vom Anbieter Zoho

gespeichert. Die Bilanzierung von Ökosystemdienstleistungen ist öffentlich zugänglich unter [greenvaluation.app](#).

Die Datensätze zu Stakeholderinterviews, -Anforderungen und Fokusgruppe sind am Server der Firma tatwort Nachhaltige Projekte GmbH gespeichert. Backups finden automatisiert und regelmäßig (mind. 1x wöchentlich) statt.

Die Reanalysen sind am Server der Firma UBIMET gespeichert.

#### **4: Wiederverwendbarkeit der Daten**

Der digitale Zwilling sowie die Simulationsergebnisse sind nicht öffentlich zugänglich, da sie nur einen Zwischenschritt des Projektes darstellen und kein Ergebnis im Sinne des Projektantrages. Die Bilanzierung von Ökosystemdienstleistungen ist öffentlich zugänglich und unter [greenvaluation.app](#) abrufbar.

Die Datensätze zu Stakeholderinterviews, -Anforderungen und Fokusgruppe sind nicht öffentlich zugänglich, da sie nur einen Zwischenschritt des Projektes darstellen und kein Ergebnis im Sinne des Projektantrages.

Der Reanalyse Datensatz ist nicht öffentlich, da dieser aus kommerziellen Datensätze besteht.

## Informationen für Ergebnisband (in deutscher Sprache)

### Kurzdarstellung des Projektes in den Ergebnisbänden von „Stadt der Zukunft“

**Projekttitel:** GREeNvaluation - Echtzeit Monitoring und Leistungsevaluierung

#### **Synopsis:**

Entwicklung des GREeNvaluation toolkits, der Wetterdaten in Echt-Zeit verarbeiten und Aussagen zu Ökosystemdienstleistungen quantitativ und monetär berechnen kann. Durch Visualisierung und Bilanzierung von Ökosystemdienstleistungen wird der Nutzen von Grüner Infrastruktur greifbarer und verständlicher.

#### **Projektbeschreibung:**

Grüne Infrastrukturen spielen in der Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel eine essentielle Rolle. Zu diesem Schluss kommen nicht nur mehrere tausend Publikationen (vgl. Dissertation Prof. Nicole Pfoser, 2016). Auch internationale, nationale und lokale Richtlinien und Strategien zur Thematik Anpassung an die Klimawandelfolgen teilen diese naturwissenschaftlich belegte Auffassung und empfehlen die Integration von grünen Infrastrukturen in städtischen Räumen (EU Green Infrastructure Strategy, 2013; Special Report IPCC, 2018; Weißbuch „Stadtgrün“, 2007; Urban Heat Island Strategie Plan Wien, 2015).

Die Umsetzung dieser Richtlinien und Strategien ist bislang jedoch sehr gering, sowohl in öffentlichen Räumen, Stadtentwicklungen als auch in privaten Bauvorhaben. Eine wesentliche Ursache dafür sind Unsicherheiten in Bezug auf die Wirkungen grüner Infrastrukturen und deren monetäre Bewertbarkeit sowie Nutzen. Einzige Ansätze dazu bieten die Wertermittlung von Bäumen (z.B. nach Koch) oder generische Berechnungsmodelle für CO<sub>2</sub>-Speicherung ebenfalls nur von Gehölzen.

Daher wurde der GREeNvaluation toolkit entwickelt, der über eine Machine Learning engine in der Lage ist, durch die Verknüpfung aktueller Wetterdaten, mit den Auswertungsprozessen und Indikatoren der GREENPASS® Technologie Ökosystemdienstleistungen in Echtzeit zu berechnen und monetär zu bewerten. Dazu zählen Energiehaushalt des Mikroklimas (Strahlung, Evapotranspiration), Energiehaushalt der Gebäude (Kühlleistung Innenraum), Wasserhaushalt und Kanalsystementlastung (Wasserspeicherung), CO<sub>2</sub> Speicherung und O<sub>2</sub> Produktion sowie die Immobilienwertsteigerung durch Grünflächen. Diese Methode wurde anhand von drei Demo-Standorten mit unterschiedlichen Bebauungstypologien durchgespielt.

Die Ergebnisse der Berechnung der Ökosystemdienstleistungen stehen über eine GIS-basierte Webapplikation der Zielgruppe in maßgeschneiderter Form zur Verfügung. Die Webapplikation ist per API an die vom Machine Learning erzeugte Datenbank angebunden. Somit ist es möglich, die Daten in Bezug auf einzelne grüne Infrastrukturen (z.B. ein bestimmter Baum) oder grüne Infrastruktur Typen (z. B. alle Dachbegrünungen) für frei wählbare Zeiträume (Tag, Woche, Jahr) abzurufen. Die Ergebnisse können auf der Web-Plattform öffentlich abgerufen werden und sind zum Download verfügbar ([www.greenvaluation.app](http://www.greenvaluation.app)). Zum Beispiel weist der Demo-Standort Boutiquehotel, der im 15. Wiener Gemeindebezirk inmitten verdichteter gründerzeitlicher Blockrandbebauung steht, in Summe 2.126 m<sup>2</sup> Grünfläche auf. Diese Begrünungen erhöhen den Wertanteil der Immobilie einmalig um 831.600 €. Laufende Einsparungen durch Ökosystemdienstleistungen von 350.100 € pro Jahr wurden berechnet.

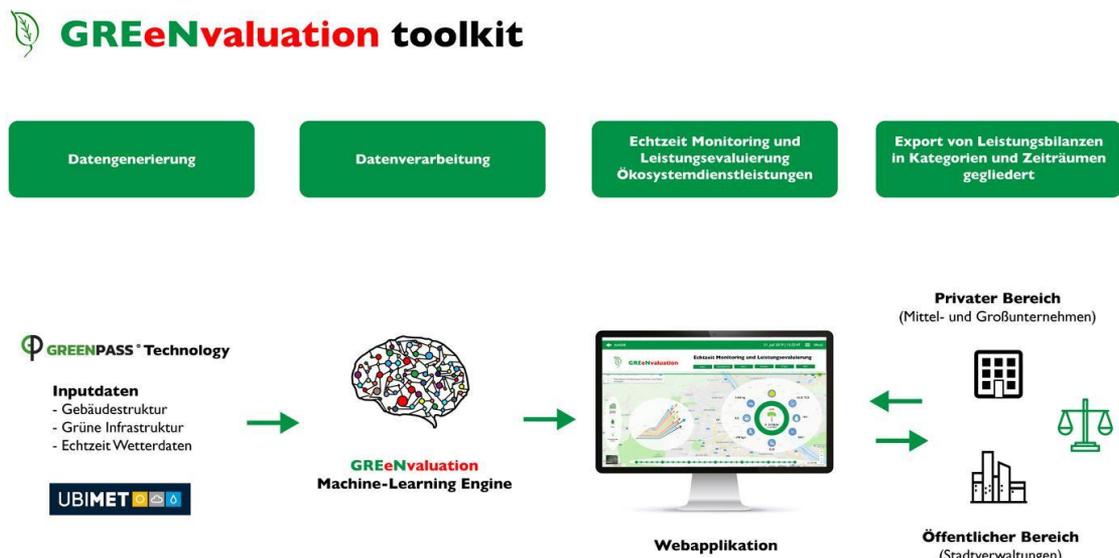
#### **3 Keywords:**

Ökosystemdienstleistungen, Grüne Infrastruktur, klimaresiliente Stadtplanung

#### **Facts:**

- Bewertung von Ökosystemdienstleistungen und Ausweisung der Einsparungen durch grüne Infrastrukturen sowie grafische Aufbereitung der Ergebnisse in Form einer Webapplikation
- Nutzung von Machine Learning Algorithmen zur Berechnung der Ökosystemdienstleistungen in Echt-Zeit
- Referenzmessungen zur Validierung und Kalibrierung der Machine Learning Ergebnisse
- Zielgruppenangepasstes Bewertungstool anhand Stakeholderbefragungen
- Schaffung einer faktenbasierten und ökonomischen Argumentationsbasis für die Umsetzung von grünen Infrastrukturen

## Abbildungen:



## Übersichtsgrafik GREeNvaluation toolkit (Quelle: Eigene Darstellung)

**GREEN VALUATION**

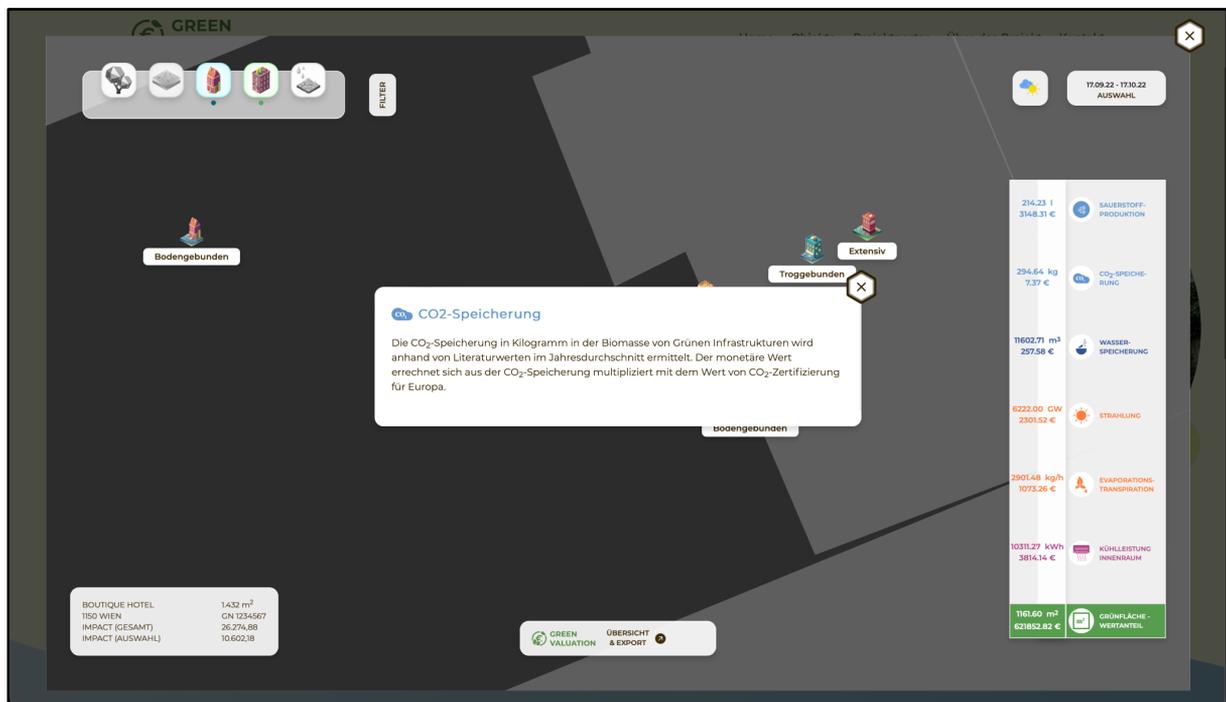
Home | Fallstudien | Über das Projekt | Projektpartner | Kontakt

# WAS SIND PFLANZEN IN DER STADT WERT?

Pflanzen sind mittlerweile unverzichtbarer Bestandteil lebenswerter, zukunftsfähiger Städte. Als Grüne Infrastruktur erbringen sie wichtige Leistungen, von denen wir Menschen täglich profitieren. Aber wie kann sich der Nutzen grüner Maßnahmen objektiv darstellen lassen? Mit Greenvaluation finden Sie heraus, wie viele Ersparnisse Ihre Begrünungen erwirtschaften! Es ist ihr Service-Tool zum Erheben, Messen und monetären Bewerten Ihrer Begrünungsprojekte.

[ÜBER DAS PROJEKT](#)

Screenshot Webapplikation Willkommenseite (Quelle: greenvaluation.app)



Screenshot Webapplikation Beispiel Boutiquehotel (Quelle: greenvaluation.app)

### Kontakt:

Projektleitung: DI Florian Kraus - Green4Cities GmbH

Projektpartner:innen:

- Martha Kogler MSc - Green4Cities GmbH
- Mag. Maria Feher-Lehrner, Mag. Susanne Lins MAS MSc - tatwort Nachhaltige Projekte GmbH
- Mag. DI Günther Frühwirt, DI Dr. Ulrike Pitha, DI Dr. Bernhard Scharf - Universität für Bodenkultur - Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
- André Seirafi, Mag. Patrick Seirafi - Fluxguide GmbH
- Dr. Markus Jech - UBIMET GmbH

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)