

# Hotspots Holistic thermographic screening of urban physical objects at transient scales

C. Windisch, S. Wakolbinger,  
J. Österreicher, K. Höfler,  
T. Weiss, K. Steinnocher,  
B. Skarbal

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**48/2017**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

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

# Hotspots

## Holistic thermographic screening of urban physical objects at transient scales

DI Claudia Windisch, DI Stefan Wakolbinger,  
DI Johannes Österreicher  
Siemens Österreich AG, Process Analytics & Sensors

Dr. Karl Höfler, DI Tobias Weiss  
AEE INTEC, Bereich Nachhaltige Gebäude

Dr. Klaus Steinnocher, Bernhard Skarbal, MSc.  
AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department

Graz, Juni 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



# Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). 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 von allen betroffenen Bereichen 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 bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	10
Abstract.....	13
1 Einleitung.....	16
1.1 Aufgabenstellung.....	16
1.2 Stand der Technik.....	18
1.3 Verwendete Methoden.....	20
2 Ergebnisse .....	47
3 Schlussfolgerungen .....	59
4 Ausblick und Empfehlungen .....	69
5 Verzeichnisse .....	70
5.1 Abbildungsverzeichnis .....	70
5.2 Tabellenverzeichnis .....	72
5.3 Literaturverzeichnis.....	72
6 Anhang.....	74

---



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Bislang liegen stadtbezogene Daten in unterschiedlicher Qualität, Aktualität und räumlicher Auflösung fragmentiert bei unterschiedlichen Datenhaltern auf. Somit mangelt es an einer gemeinsamen Datenbasis konsolidierter und harmonisierter Datensätze. Aber sind bereits alle relevanten Informationen überhaupt erfasst? Energieeffizienz ist ein wichtiges Kriterium moderner Stadtplanung und Optimierung. Durch welche Datenerhebungen ist sichergestellt, dass das Wissen um den tatsächlichen Energieverbrauch, um das Nutzerverhalten, sowie die Verursachung - im Gegensatz zur zeitlich/räumlich vermengten Auswirkung - zeitnah und ortsbezogen erfasst sind?

## Inhalte und Zielsetzungen

HOTSPOTS verfolgt das Ziel, Städten Werkzeuge und wissenschaftlich fundierte Methoden in die Hand zu geben, um den aktuellen Zustand des Baubestandes hinsichtlich Energieeffizienz zu erfassen und Entscheidungsgrundlagen zu liefern, um diesen Zustand zu verbessern.

Im Rahmen des geplanten Projektes soll eine durchgängige Verfahrenskette erarbeitet und an der Modellstadt Gleisdorf validiert werden, die Städten zukünftig helfen soll, Optimierungspotentiale zu erkennen, zu bewerten und treffsicher zu adressieren. Künftige Auswahlverfahren im Bereich von baulichen Maßnahmen der Stadtentwicklung sollen auf eine nachvollziehbare und (mess-)datengetriebene Basis gestellt werden, die das Risiko von ad-hoc Entscheidungen oder Fehlinvestitionen reduziert.

## Methodische Vorgehensweise

In HOTSPOTS wird eine methodisch geschlossene Verfahrenskette von ineinandergreifenden Projektmodulen realisiert.

Die Datengrundlage des Projektes bildet ein sog. **3D Thermalkataster**, welcher aus Luftbilddaten generiert wird. Aufgabe ist hierbei die flächendeckende Erfassung von Thermaldaten im Stadtgebiet. Die Einzelbilddaten werden zur einer holistischen stadtweiten Datenbasis verknüpft und in die dritte Dimension gehoben, indem 3D Gebäudemodelle aus den Bilddaten abgeleitet werden.

Im 3D Thermalkataster werden dann "**Critical Spots**" identifiziert. Critical Spots in der Stadt definieren Infrastrukturzellen auf Distriktebene, die ein besonders großes Potential zur Optimierung aufweisen. Diese Bereiche werden dann in den folgenden Projektmodulen im Detail analysiert.

Eine **Detailanalyse** dient der selektiven Verbreiterung der Datenbasis innerhalb einer ausgewählten Infrastrukturzelle. Dies umfasst eine mobile Datenaufnahme mit einem UAV, insbesondere zur detaillierteren thermischen Analyse und zur Generierung von 3D

---

Gebäudemodellen, aus welchen für Optimierungsmaßnahmen relevante geometrische Parameter abgeleitet werden können. Als weiterer Forschungsaspekt wird die punktuelle Erfassung und Verdichtung der Daten im Sinne eines dreidimensionalen Luftgasschichtenmodelles untersucht.

Basierend auf diesen Daten wird dann eine gezielte Schwachstellenanalyse der eingeschlossenen Infrastrukturelemente durchgeführt. Anschließend erfolgt die Erstellung eines **Effektivmaßnahmenkataloges**, inklusive Einflussfaktoren für die definierten Critical Spots in der Stadt, welche ein besonders großes Potential zur Optimierung aufweisen.

Zusätzlich wird ein **Decision Support Instrument** für die interaktive Auswahl, Verortung von Energieeffizienzmaßnahmen und der Simulation der sich ergebenden Effekte mit der Berechnung von optimalen Maßnahmenkombinationen für Teilräume eingesetzt.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Highlights des Projekts können wie folgt zusammengefasst werden:

- Messtechnische und datengetriebene Innovationen:
  - Flächendeckende Thermographie des Stadtgebiets in 3D durch einen eigens entwickelten multisensorialen Messkopf
  - Messtechnische Erfassung und Generierung eines dreidimensionalen Luftgasschichtenmodelles
  - Einsatz von Heißluftballons und UAVs in der Datenaufnahme
  - Korrektur der gemessenen Thermalmessdaten durch semantische Interpretation der Bildinhalte
  - Methodischer Zugang zur Integration von thermischen und statistischen Daten
- Semi-automatisches Update der Zustandsdaten durch neuerliche Befliegung und damit die Möglichkeit eines Monitoring der Effekte von Energieeffizienz und Heizungsoptimierungsmaßnahmen im Hinblick auf die Erfüllung von Smart City Zielen.
- Simulation der bauzustandsabhängigen individuellen Energieeinsparungsmaßnahmen auf unterschiedlichen räumlichen Skalen
- Realistisch umsetzbare Lösungswege aufzuzeigen, die eine höchstmöglich erneuerbare bzw. CO<sub>2</sub>-neutrale Umsetzung von Sanierungsstrategien erlauben
- Entwicklung von konkreten Umsetzungsszenarien in Verbindung mit kurz-, mittel- und längerfristigen Maßnahmenplänen.
- Generierung von Methoden und Bewertungszahlen, die eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Kleinstädte und Stadtteile erlauben

## Ausblick

Die im Projekt entwickelte Verfahrenskette wurde am Beispiel der Stadt Gleisdorf evaluiert und die vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen durch Begehungen verifiziert. Die entwickelten Methoden sind aber problemlos für andere Gemeinden und Städte anwendbar.

---

Die Datenaufnahme für die Berechnung des 3D Thermalkatasters erfolgte in Gleisdorf durch eine Befahrung mit einem Heißluftballon. Dies erwies sich zwar grundsätzlich als praktikabel und kostengünstig, allerdings musste besonderes Augenmerk auf die vorherrschenden Wetter- bzw. Windbedingungen gelegt werden. In zukünftigen Untersuchungen könnten Datenaufnahmen auch per Leichtflugzeug oder Helikopter getestet werden, um Alternativen aufzuzeigen.

Zukünftige Anwendungsszenarien können auch dabei helfen, ein noch besseres Verständnis für die Interpretation von Thermal- und Luftgüteinformation zu entwickeln, vor allem hinsichtlich der Unterscheidung relevanter Information von irrelevanten, tagesabhängigen Umwelt- bzw. Wettereinflüssen.

Die Praxistauglichkeit bzw. der Mehrwert der entwickelten Verfahrenskette wird vor allem dann ersichtlich werden, wenn in Zukunft konkrete Sanierungsmaßnahmen auf Basis der Simulationen mit Eigentümern und Entscheidungsträgern besprochen bzw. umgesetzt werden.

## Abstract

HOTSPOTS enables new insights and perspectives for city development. According to the project idea innovations in acquisition and sensing as well as densification of geo-referenced city related data are supplemented by novel processing chains in city data analytics. Driven by an integrated scientific approach we develop a novel method in the selection, evaluation and prioritization of infrastructural city development measures which is directly derived from sensed data, hence reducing the risk of ad-hoc decisions or lack in impact.

## Starting point/Motivation

City-related data are stored fragmented at different data holders in different quality, captured at different time stamps and with varying spatial resolution. Thus, there is a lack of a common data base of consolidated and harmonized data sets. But is already all relevant information recorded and available? Energy efficiency is an important criterion of modern urban planning and optimization. Which data collection ensures that knowledge about the actual energy consumption, the user behavior and the causation are stored promptly and site-specific, in contrast to temporally / spatially blended recorded data?

## Contents and Objectives

HOTSPOTS pursues the goal of providing tools and scientific methods to cities in order to capture the current condition of existing buildings in terms of energy efficiency and of providing a decision-making basis for improving this condition. As part of the planned project, a continuous process chain will be developed and validated in the model city Gleisdorf, which aims to help cities in the future to identify, assess and accurately address optimization potentials. Future selection processes in the field of structural measures of urban development are to be made in a transparent and (measurable) data-driven basis, which reduces the risk of ad-hoc decisions or bad investments.

## Methods

HOTSPOTS is a methodically closed process chain, realized by overlapping project modules.

A **3D Thermal Register**, which is created from aerial imagery, forms the data basis for the project. The task is the region-wide collection of thermal data in the urban area. These single frames are linked to a holistic city-wide data base and lifted into the third dimension by deriving a 3D model from the image data.

Within the 3D Thermal Register, "**critical spots**" are then identified. Critical spots in the city define infrastructure cells at the district level, which have a particularly large potential for optimization. These areas are then analyzed in detail in the following project modules.

A **close-range data acquisition** is then performed in order to perform a selective expansion of the database within a selected infrastructure cell. This includes a mobile data acquisition using a UAV in for the generation of 3D building models. From these models, relevant geometric parameters and detailed thermal information can be derived and serves as input

---

for simulations of optimization scenarios. Another research aspect is the exploitation of selective acquisition and densification of the data in terms of a three-dimensional gas layer model.

Based on this data, a cell-wide but focused critical point analysis takes place. This is followed by the creation of an **effective catalog of measures**, including impact factors influencing the defined critical spots in the city, which have a particularly large potential for optimization.

Furthermore, a **decision support tool** is applied for the interactive selection, localization of energy efficiency measures and the simulation of the resulting effects with the calculation of optimal combinations of measures for subspaces.

## Results

The highlights of the project can be summarized as follows:

- Metrological and data driven innovations
  - Region-wide thermography of Gleisdorf in 3D captured by a specially developed measuring unit
  - Acquisition and generation of a three-dimensional gas layer model
  - Use of air balloons and UAVs for data acquisition
  - Correction of measured thermal data by semantically interpreting the image content
  - Methodological access to the integration of thermal and statistical data
- Semi-automatic update of the state data by additional flights and thus the possibility of monitoring the effects of energy efficiency and heating optimization measures with regard to the fulfillment of Smart City goals
- Simulation of individual energy saving measures at different spatial scales
- Identification of realistically implementable solutions for renewable and CO<sub>2</sub> neutral implementation of renovation strategies
- Development of specific implementation scenarios in terms of short-, medium-and longer-term action plans
- Generation of methods and evaluation metrics which allow transferability of the findings to other small towns and districts

## Prospects / Suggestions for future research

The processing chain developed in this project was successfully evaluated in the “model city” of Gleisdorf. The suggested optimization measures were verified via on-site inspections. The implemented methods are applicable to any town or city.

Data acquisition for generating the *3D Thermal Register* was carried out using a hot air balloon. This method proved to be feasible and low-cost in principle, but heavily depends on weather and – especially - wind conditions. In future scenarios, using a light plane or a helicopter instead could be of interest, to identify alternatives.

---

Future application of the processing chain could also help in developing a deeper understanding of thermal and air quality data. Especially the differentiation of relevant information from weather-induced, temporal phenomena is of special interest.

The suitability of the approach will be put to test when it comes to concrete rehabilitation projects derived from or suggested by the simulations, involving owners and decision-makers.

# 1 Einleitung

Der Ballungsraum Stadt steht vor zahlreichen Herausforderungen, in einer Welt des stetigen Wandels müssen auch Städte immer rascher reagieren, sich neu erfinden oder schrittweise verbessern. Doch jede wirksame Verbesserungsmaßnahme setzt zunächst eine detaillierte Erfassung des Ist-Zustandes, ein ex-ante Assessment der geplanten Maßnahmen und ein Monitoring der Ergebnisse mit Vorher/Nachher-Vergleich voraus.

Die Stadt als komplexes System mit heterogener Struktur verlangt nach verschiedenen Abstraktionsebenen. Nicht überall wird es sinnvoll und möglich sein, Datenqualitäten bis ins letzte Detail zu erheben. Bislang liegen stadtbezogene Daten in unterschiedlicher Qualität, Aktualität und räumlicher Auflösung fragmentiert bei unterschiedlichen Datenhaltern auf. Es ist immer noch gang und gäbe, dass Daten bei unterschiedlichen Projekten oder wechselnden Institutionen abermals und redundant erfasst werden. Somit mangelt es an einer gemeinsamen Datenbasis konsolidierter und harmonisierter Datensätze. Aber sind bereits alle relevanten Informationen überhaupt erfasst? Energieeffizienz ist ein wichtiges Kriterium moderner Stadtplanung und Optimierung. Durch welche Datenerhebungen ist sichergestellt, dass Wissen um den tatsächlichen Energieverbrauch, um das Nutzerverhalten (welches für den Energieverbrauch ebenso wichtig ist wie bautechnische Maßnahmen), sowie die Verursachung – im Gegensatz zur zeitlich /räumlich vermengten Auswirkung - von umweltschädlichen Einflüssen (Feinstaub, CO2...) zeitnah und ortsbezogen erfasst sind?

Solcherart erfolgt die Entscheidung für Sanierungsmaßnahmen oftmals nicht messdatengetrieben sondern basierend auf Simulationen und Annahmen. Sie fußt auf Individualinformationen über Einzelgebäude, die nicht zu einem stadt- oder distriktweiten Kontext verknüpft werden.

## 1.1 Aufgabenstellung

HOTSPOTS verfolgt das Ziel, Städten Werkzeuge und wissenschaftlich fundierte Methoden in die Hand zu geben, um den aktuellen Zustand des Baubestandes hinsichtlich Energieeffizienz zu erfassen und Entscheidungsgrundlagen zu liefern, um diesen Zustand zu verbessern. Damit kann in weiterer Folge die Umweltqualität gesteigert und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Ein stadtweiter Thermographie-Atlas mit periodischer Aktualisierung bietet die Möglichkeit die Verbesserungen zu belegen.

Im Rahmen des geplanten Projektes soll eine durchgängige Verfahrenskette erarbeitet und an der Modellstadt Gleisdorf validiert werden, die Städten zukünftig helfen soll, Optimierungspotentiale zu erkennen, zu bewerten und treffsicher zu adressieren. Künftige Auswahlverfahren im Bereich von baulichen Maßnahmen der Stadtentwicklung sollen auf eine nachvollziehbare und (mess-)datengetriebene Basis gestellt werden, die das Risiko von ad-hoc Entscheidungen oder Fehlinvestitionen reduziert.

---

Die Einbindung eines Bedarfsträgers in Form der Stadtwerke Gleisdorf GmbH bzw. die guten Kontakte und die Vernetzung zur Stadt Gleisdorf ermöglichen es dem Projektteam belastbare Ergebnisse zu generieren, die für Gleisdorf zudem einen konkreten Mehrwert bieten, wie etwa die Erweiterung des bestehenden Energiekatasters. Die entwickelten Modelle und Simulationen sollen in Gleisdorf exemplarisch getestet werden. Verglichen mit einer Großstadt bietet Gleisdorf den Vorteil kürzerer Entscheidungs- und Genehmigungswege. Gleisdorf wird aber nur als eine Instanz einer möglichen Stadt gesehen, die im Projekt entwickelten Methoden und Werkzeuge sollen künftig auf Städte unterschiedlicher Größe anwendbar und übertragbar sein.

Das Projekt liefert als Ergebnis:

- den „Proof of Concept“ einer durchgehenden Verfahrenskette, die das Optimierungspotential für Städte am Beispiel der Modellstadt Gleisdorf aufzeigt.
- Erstellung einer stadtbezogenen Wissensbasis (3D Thermalkataster, Schwachstellenkatalog, Sanierungs-Maßnahmenkatalog für Gebäude und Stadtteile, Modelle und Simulationen) zur systematisierten Bewertung von Optimierungspotentialen
- Hilfestellung für Entscheidungsträger bei großflächigen thermischen Sanierungen und haustechnischen Modernisierungen
- Erweiterter Thermalkataster Gleisdorf

Folgende Ausschreibungsziele wurden definiert:

**Ziel 1:** HOTSPOTS trägt zu hoher Energieeffizienz und verstärkter Nutzung von erneuerbaren Energieträgern bei, indem neuartige Modelle und messtechnische Innovationen entwickelt werden, die künftig Stadtplaner und Stadtverantwortliche dabei unterstützen Sanierungsstrategien und Verbesserungsmaßnahmen im Hinblick auf Energieverbrauch, Luftgüte, Wärmeversorgung und den Einsatz erneuerbarer Energie zu identifizieren, zu bewerten und umzusetzen und damit die Lebensqualität in Städten nachhaltig zu erhöhen.

**Ziel 2:** Die in HOTSPOTS entwickelten Modelle und Methoden unterstützen politisch Verantwortliche und Energieversorger in Städten und Stadtteilen dabei, Förderprogramme und Sanierungsstrategien zu priorisieren und zu optimieren. Künftig könnte die generierte Datenbasis im Sinne eines Bürgerservice Liegenschaftseigentümern zur Verfügung gestellt werden, um Optimierungspotentiale bewusst zu machen. Damit wird die zukunftsfähige Entwicklung von Städten forciert und durch thermische Sanierungen Investitionen und Arbeitsplätze induziert.

**Ziel 3:** Die flächendeckende Thermographie von Stadtgebieten in 3D adressiert ein innovatives Themenfeld, mit dem sich Österreich international positionieren kann und ermöglicht den teilnehmenden Forschungspartnern internationale Kooperationen und Vernetzungen. HOTSPOTS wird eine Reihe neuer Erkenntnisse etwa in Bezug auf dreidimensionale Luftgasschichtenmodelle sowie die resultierende Datenanalyse und -

---

simulation bringen. Siemens kann seine Wettbewerbsfähigkeit im Umfeld „Smart Cities“ dadurch ausbauen und stärken.

## 1.2 Stand der Technik

Geoinformations-Systeme und räumliche Daten für Städte sind dem bekannten Stand der Technik zuzurechnen, sowohl in 2D als auch in 3D [1][2]. Als solches liefern sie u.a. einen wertvollen Input in der Stadtplanung und Stadtverwaltung. Ebenso zählt die Erhebung von städtischen Livedaten, wie etwa für Verkehrsleitsysteme oder Luftgütedaten zum Stand der Technik. Viele der Daten liegen jedoch in unterschiedlicher Quelle und somit nicht konsolidiert vor. Auch Luftbilddaten spielen seit Jahren eine wichtige Rolle zur Dokumentation und Modellierung der urbanen Infrastruktur.

Das Fachgebiet der stadtweiten Thermographie aus Luftbilddaten ist als vergleichsweise jung anzusehen. Es kann lediglich eine Referenz aus der deutschen Stadt Essen [3] zitiert werden, wobei die dort eingesetzte Aufnahmetechnik mittlerweile von TÜV Rheinland deutschlandweit angeboten wird [4]. Jedoch dringt die Analyse der Daten bei diesem Projekt nicht besonders tief, sie verbleibt auf der Ebene eines Bürgerservices zur Optimierung der Wärmedämmung einzelner Haushalte und geht nicht über ein 2D Abbild der segmentierten Dachfläche und einen Kriterienkatalog zur manuellen Interpretation für die BürgerInnen hinaus.

Als wichtiger Punkt erscheint die kostengünstige und zeitnahe Erfassung und Analyse der Daten. Heutige Befliegungen sind in ihrer Periodizität oftmals auf Zeitintervalle mehrerer Jahre beschränkt. Zudem ist nicht geklärt, inwieweit Störfaktoren aus großer Flughöhe die Messung verfälschen [5]. Der Einstiegspreis der Datenerfassung von thermischen Luftbildern für eine Kleinstadt wird zudem mit 30.000 € bemessen [5].

Generell sind Trends erkennbar sukzessive Daten einer Stadt in Echtzeit zu erfassen („Pervasive Sensing“) und daraus innovative Services abzuleiten. Als ein Vorreiter sei hier die Initiative „Real-Time City“[6] am SENSEable City Lab des MIT genannt.

Derzeitige flächendeckende Aufnahmen von Wärmeversorgungsanlagen, Einsatz von erneuerbarer Energie, Gebäudedämmstandards etc. werden derzeit aufwendig durch Befragungen und mit hohen Unsicherheiten durchgeführt und in einen 2D-Energieatlas [7] veröffentlicht. In Österreich sind dem Projektkonsortium derzeit keine vertieften Recherchen und Zusammenstellungen von sämtlichen energierelevanten Parametern bekannt.

Ebenso werden derzeit thermische Sanierungen von bestehenden Gebäuden in Stadtgebieten und Stadtteilen nur als Einzelmaßnahmen - ohne auf Zusammenhänge und Wechselwirkungen zu achten - durchgeführt. In der Regel werden nur die Herstellkosten bei der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen betrachtet. Eine Gesamtbetrachtung von hochwertigen, wirtschaftlichen Sanierungsvarianten inkl. der Lebenszyklusbetrachtung ist derzeit die Ausnahme. Eine Auswirkung der thermischen und haustechnischen Sanierungsmaßnahmen auf das Stadtklima durch die Durchführung von großflächigen

---

thermischen Sanierungen und haustechnischen Modernisierungen in Gebäudeverbänden und Stadtteilen wurde bislang noch nicht umfangreich betrachtet. Diese gewichteten Untersuchungen und Darstellungen sollen zukünftig für politische Entscheidungsträger eine Entscheidungshilfe darstellen.

Die Messung der Luftgüte erfolgt derzeit an zumeist fix installierten Messstationen. Die üblichen gemessenen Schadstoffe sind Ozon ( $O_3$ ), Stickoxide ( $NO_x$ ), Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) und Kohlenmonoxid (CO). Außerdem werden an vielen Messstellen auch Feinstaubmessungen in den Staubfraktionen  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$  durchgeführt. Ein erheblicher Teil der Feinstaubfraktionen wird vom Hausbrand durch feste Brennstoffe verursacht. CO entsteht durch unvollständige Verbrennung und kann in hohen Konzentrationen (ab 8%) schädlich und sogar lebensgefährlich sein.  $NO_x$  entsteht durch Verbrennung bei hohen Temperaturen und trägt (als  $NO_2$ ) gemeinsam mit UV-Strahlung zur Ozonbildung bei. Ozon ist in hohen Konzentrationen schädlich für die Atemwege.

All diese Schadstoffemissionen können durch Reduktion des Heizenergieverbrauchs bzw. durch eine Optimierung des Energieträgermix reduziert werden und damit die Luftqualität in der Stadt verbessert werden.

Meist werden die Werte der Luftgütemessstationen der Öffentlichkeit über das Internet zur Verfügung gestellt. Als Beispiele können die Website der Stadt Wien ([20]) für eine stündlich aktualisierte (d.h. der Luftgütebericht wird stündlich aktualisiert, die Messdaten an den einzelnen Messstellen werden allerdings nur im Abstand von etwa 6 Stunden aufgezeichnet) und des Landes Steiermark ([21]) für eine tagesaktuelle Aktualisierung der Daten dienen.

Die mittels Fernerkundung erfassten Thermalmessdaten repräsentieren eine wertvolle Informationsquelle in Bezug auf die Emission der Gebäude, sind aber nur in Kombination mit „terrestrischen“ Referenzdaten zur Identifizierung der „Critical Spots“ geeignet. Idealerweise beschreiben diese Referenzdaten den Zustand, das Alter, die Nutzung, die Heizungs- und Brennstoffart der Gebäude, allerdings sind diese Daten zumeist nicht gebäudescharf verfügbar, sondern werden in aggregierter Form auf Rasterbasis von statistischen Ämtern angeboten (Statistik Austria 2013). Die Herausforderung besteht daher in der Integration dieser räumlich und zeitlich heterogenen Daten in eine gemeinsame Informationsbasis, die es erlaubt, mittels innovativer Methoden „Critical Spots“ zu identifizieren.

Ansätze zu diesen Methoden finden sich einerseits im Bereich der GIS-gestützten multifaktoriellen Analyse, bei welcher der Raumbezug als integratives Element herangezogen wird, oder auch in den Methoden der räumlichen Disaggregation, wie sie zur Verknüpfung von sozio-ökonomischen mit real-räumlichen Informationen herangezogen wird [8] [9]. Diese Methoden basieren auf der Annahme, dass statistische Informationen, die sich auf größere räumliche Einheiten beziehen, auf Grundlage detaillierter Daten z.B. aus der Fernerkundung räumlich verfeinert werden können. Allerdings werden diese Methoden vor allem im Bereich der Bevölkerungsmodellierung herangezogen [10][11]. Vergleichbare Ansätze können aber auch zur gebäudescharfen Zuordnung von Nutzungen herangezogen werden [12].

---

Es gibt diverse Tools zur Energieraumplanung. In einer Arbeit, in welcher 20 Tools verglichen wurden [13][14], wird deutlich, dass die meisten dieser Werkzeuge statische Berechnungssysteme sind, die am Ende anhand von Energiebedarfsfaktoren Summenwerte als Tabellen und Diagramme liefern. Der „ELAS Rechner“ ist ein bekanntes Beispiel dafür. Das einzige räumlich explizite Tool ist „PlanVision“ wo eine ArcGIS Applikation eine Umlegung von Energiemengen auf Gebäude realisiert. An Szenarien können zwei fixe Varianten berechnet werden [13][14].

### 1.3 Verwendete Methoden

Im Projekt HOTSPOTS wurde eine methodisch geschlossene Verfahrenskette, von der Datenaufnahme und Datengenerierung, über die Analyse und Interpretation vorgeschlagener Maßnahmen zur Optimierung auf Stadt- und Distriktebene sowie einem modellbasierten „Decision Support“ zur Auswahl und Bewertung der identifizierten Optionen realisiert. Abbildung 1 illustriert die Abfolge der Arbeitspakete.

Im Block „**3D Thermalkataster**“ wird die Datengrundlage für das Projekt generiert. Aufgabe ist hierbei die flächendeckende Erfassung von Thermaldaten im Stadtgebiet. Dies geschieht mittels Luftbildaufnahmen, welche zu einem ganzheitlichen 3D Modell der Stadt fusioniert werden.

Aus dem 3D Thermalkataster sowie weiteren Datenquellen projektexternen Ursprungs werden dann durch eigens entwickelte Analysealgorithmen **Critical Spots** identifiziert, welche potentiell hohen Sanierungsbedarf aufweisen. Diese Bereiche werden dann einer **Detailanalyse** unterzogen. Hierfür werden durch eine weitere Datenaufnahme aus geringerer Entfernung Daten in hoher Auflösung generiert. Aus resultierenden 3D Gebäudemodellen können für die Ableitung von Sanierungsmaßnahmen relevante Gebäude-Geometrieparameter abgeleitet werden. Zusätzlich werden Luftgütemessungen durchgeführt, welche als Einschränkungen oder Randbedingungen in die Ableitung der Maßnahmen einfließen.

Die Schwachstellenanalyse, basierend auf den abgeleiteten Daten sowie Bestandsdaten, wird dann nach dem „Treiber- bzw. Hebelprinzip“ für die definierte Infrastrukturzone erarbeitet und in einem **Schwachstellenkatalog** zusammengefasst. Nach erfolgter Umsetzung im Zuge der periodischen Datenerhebung kann die Wirksamkeit validiert werden, sodass ein geschlossener Regelkreis der Optimierung entsteht.

Zusätzlich wird ein **Decision Support** Instrument zur Optimierung von Energieeffizienzmaßnahmen eingesetzt, in welchem verschiedene Optimierungsszenarien simuliert werden können.

Die Effektivität der umgesetzten Maßnahmen kann dann wiederum durch Aufnahme eines 3D Thermalkatasters verifiziert werden, es entsteht ein geschlossener Kreislauf.

---

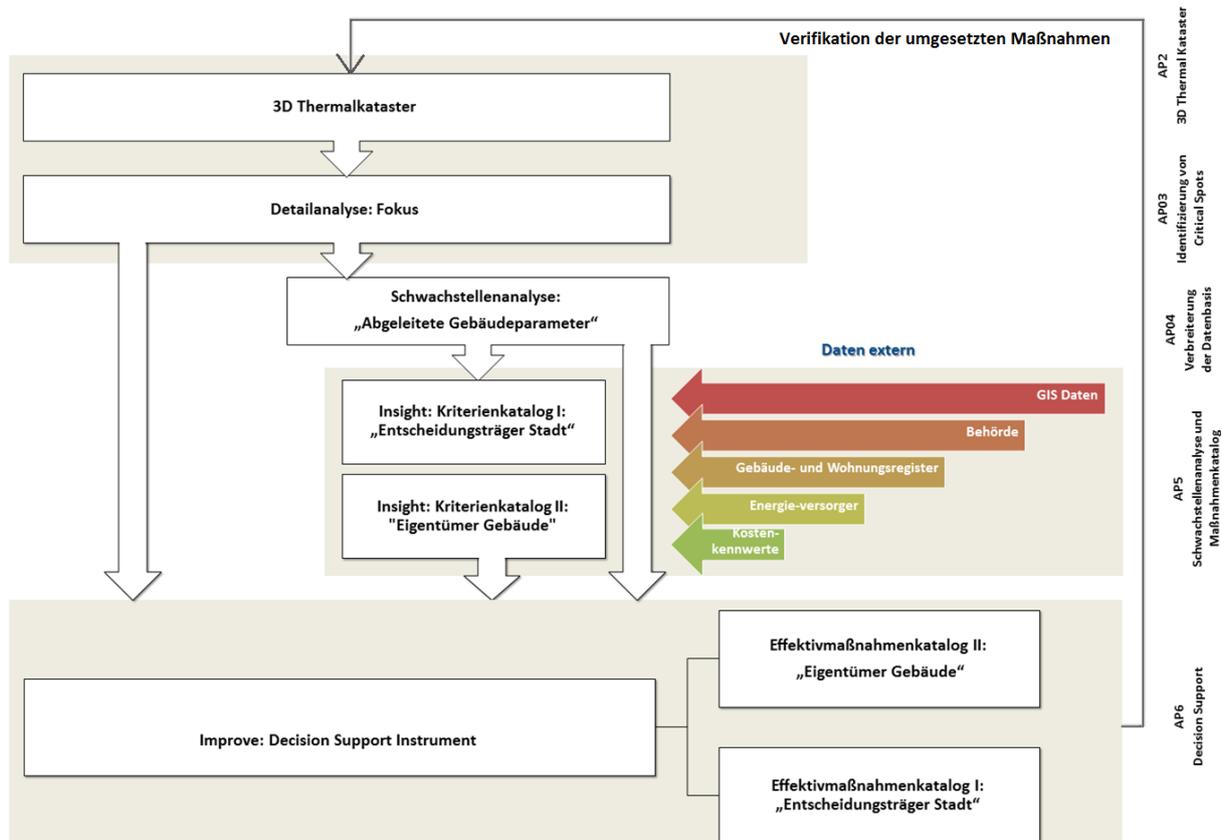


Abbildung 1: Verfahrenskette in Hotspots

### 1.3.1 3D Thermalkataster

Im Folgenden werden die verwendeten Verfahren zur Berechnung des 3D Thermalkatasters aus Luftbildaufnahmen sowie die Aufnahmetechnik erläutert.

#### 1.3.1.1. Aufnahmetechnik

Ein wesentlicher Aspekt für die erfolgreiche Erstellung des 3D Thermalkatasters der Stadt ist die Wahl einer geeigneten Aufnahmetechnik. Es soll möglichst das gesamte (relevante) Stadtgebiet durch Luftbilder erfasst werden, in einer ausreichend guten Auflösung. Zusätzlich soll ein Bildüberlapp von etwa 70-80% sichergestellt werden, um aus den Einzelbildern 3D Information ableiten zu können. Die Wahl fiel auf die Verwendung eines Heißluftballons, was als kostengünstige und CO<sub>2</sub>-neutrale Lösung im Sinne des Ausschreibungsschwerpunktes ist. Zwar lässt sich der Ballon im Vergleich zu einem Flugzeug oder Helikopter schwieriger steuern, durch Wahl eines geeigneten Startpunktes und Beobachtung der Windbedingungen kann dem aber relativ gut entgegengewirkt werden.

Als Sensorik wurde eine handelsübliche Farbkamera (12 Megapixel) zur Aufnahme der für die Berechnung des 3D Modelles benötigten Farbbilder verwendet, sowie eine Optris PI640 Infrarot (Thermal)-Kamera zur Erfassung der thermischen Emissionen. Zusätzlich wurde noch eine Kamera im nahen Infrarotbereich (NIR) verwendet, um Vegetation und Gebäude

klassifizieren zu können. Diese Technologie wurde schlussendlich aber nur in der Detailanalyse verwendet, da für die grobe Identifikation von Critical Spots die Gebäudemasken aus einem GIS System ausreichend genau sind.

Die Kameras wurden elektronisch miteinander verbunden und über eine gemeinsame Triggerleitung angesteuert, um eine zeitliche Synchronisation sicherzustellen. Der so entstandene kombinierte Sensorkopf wurde auf einer kardanischen Aufhängung („gimbal“) befestigt und ein Schwenkmechanismus eingebaut, um während der Aufnahme durch periodische seitliche Schwenks ein größeres Gebiet erfassen zu können. Das System wurde schlussendlich auf einer Holzvorrichtung montiert, welche wiederum in eine entsprechende Halterung am Korb des Ballons eingeschoben werden kann. Die Datenaufnahme inklusive dem Schwenken des Kamerakopfes geschieht dann vollautomatisch, etwa alle 5 Sekunden wird ein Bild aufgenommen. Abbildung 2 zeigt den Sensorkopf sowie die Halterung am Ballon.



Abbildung 2: Kombiniertes Sensorkopf und Befestigung am Ballon

### 1.3.1.2. Berechnung des 3D Thermalkatasters

Ziel ist es nun, aus den überlappenden Luftbildern ein dreidimensionales Modell der Stadt zu berechnen und dieses mit Thermalwerten zu überlagern. Während die Thermalwerte die Verteilung der thermischen Emissionen in der Stadt aufzeigen, dient die 3D Struktur neben der exakten Georeferenzierung auch zum Ableiten der Einzelgebäude, sofern GIS-Daten nicht in ausreichender Genauigkeit vorliegen.

Um 3D Information aus Bildern abzuleiten, wird das etablierte „Structure from Motion“ Verfahren [15, 16] gefolgt von einem „Dense Image Matching“ Schritt und einer Geo-Registrierung angewendet. Im Folgenden wird diese Verfahrenskette im Detail beschrieben.

#### 1.) Detektion und Matching von Interest Points („Features“)

Zunächst werden in jedem der hochauflösenden Einzelbilder (RGB) Merkmalspunkte extrahiert, sog. „Features“ bzw. „Keypoints“. Diese Punkte sind markante Stellen im

---

Bild, welche in einer begrenzten Umgebung möglichst einzigartig sind. Somit können diese Punkte über ihre Eigenschaften (ihren sog. „Deskriptor“) in mehreren Bildern wiedergefunden („gematched“) werden. Es entstehen so hunderte Pixel-Korrespondenzen zwischen den überlappenden Bildern, wie exemplarisch in Abbildung 3 gezeigt.

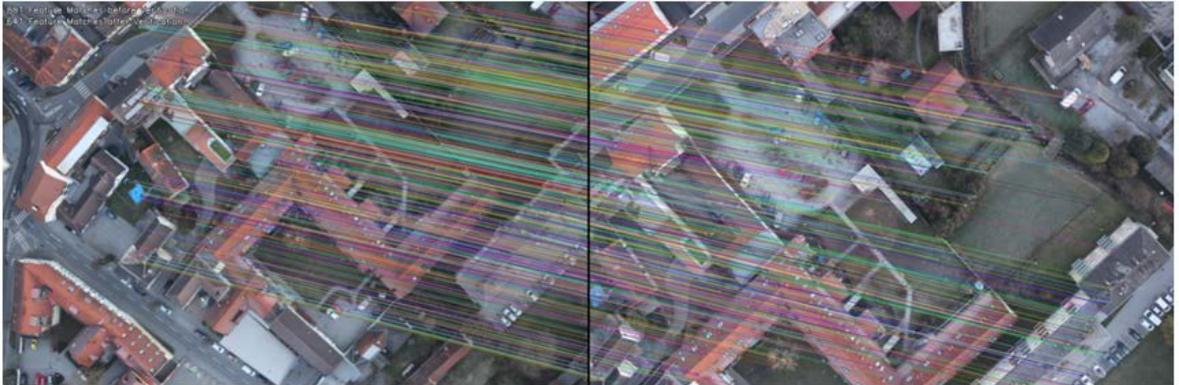


Abbildung 3: Feature Detektion und Matching

## 2.) Ableitung der Kameraausrichtungen und Bündelblock-Ausgleich

Aus diesen Punktkorrespondenzen kann dann mittels mathematischer Verfahren (z.B. 5-Punkt-Algorithmus, [17]) die Epipolargeometrie zwischen den Kameras berechnet werden, also wie die Kameras zueinander ausgerichtet sind. Ist die Ausrichtung aller Kameras bekannt, können die korrespondierenden Merkmalspunkte in den 3D Raum gebracht („trianguliert“) werden – es entsteht eine 3D Punktwolke der Stadt. Durch einen Bündelblockausgleich können anschließend sowohl die Kamerapositionen und -ausrichtungen als auch die 3D Punkte mathematisch optimiert werden, was die Modellgenauigkeit weiter erhöht. Abbildung 4 zeigt ein beispielhaftes Ergebnis der errechneten Kamera-Trajektorie (gelb) und 3D Punktwolke (schwarz).

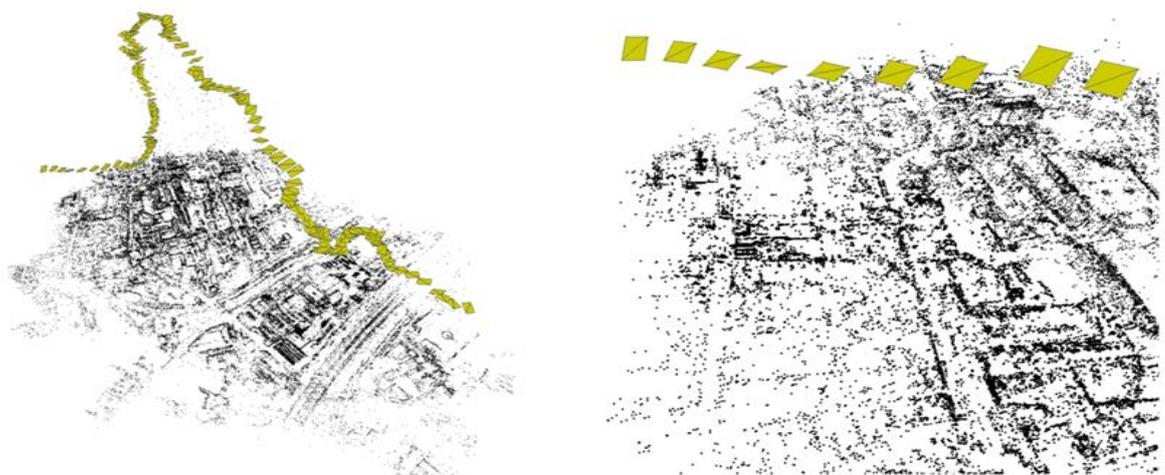


Abbildung 4: Kamera-Trajektorie und Punktwolke

### 3.) Dense Image Matching

Um aus der Ansammlung von 3D Punkten ein dichtes Polygonnetz zu erzeugen, werden zunächst sog. Tiefenkarten („Depth Maps“) für die Einzelbilder berechnet, welche die Distanz zur Kamera für jeden Bildpunkt zeigen. Hierfür wird ein Multiview-Stereoverfahren eingesetzt (Plane Sweep Algorithmus, [18]), gefolgt von einer bilateralen Filterung [19]. Abbildung 5 zeigt ein Farbbild und die dazugehörige Tiefenmap, wobei hellere Pixel einen größeren Abstand zur Kamera bedeuten.



Abbildung 5: RGB Bild und dazugehörige Tiefenmap

### 4.) DSM und Orthophoto Generierung

Die Tiefenkarten werden nun zu einem Gesamtmodell fusioniert, einem sog. „Digital Surface Model“ (DSM). Um ein Orthophoto zu erhalten, also eine verzerrungsfreie Abbildung von oben, werden die Farbwerte aus den Einzelbildern auf das Modell projiziert und gemittelt.

Um die Thermal-Information auf das Modell auftragen zu können, werden die Thermal-Einzelbilder zunächst mittels einer Homographie auf die Farbbilder transformiert, und dann analog zu den Farbbildern auf das Modell aufgetragen.

### 5.) Geo-Registrierung

Um DSM und Orthophotos in einen Geo-Bezug zu bringen, werden mithilfe eines dafür entwickelten Tools Geo-Koordinaten für mindestens drei ausgewählte Punkte des Modells eingegeben. Anhand dieser Korrespondenzen wird eine Transformation berechnet, welche das Modell in das entsprechende Koordinatensystem bringt.

Ergebnisse der DSM und (Thermal-)Orthophoto-Berechnung werden in Abschnitt 2 gezeigt.

Mit dieser Prozessierungskette kann aus Luftbildaufnahmen vollautomatisch ein 3D Thermalkataster errechnet werden. Auch die manuelle Interaktion zur Geo-Registrierung ist nicht zwingend notwendig, sofern ein GPS Sensor bei der Datenaufnahme mitgeführt und mit der Bildaufnahme synchronisiert wird. Diese Variante wurde softwareseitig bereits erfolgreich umgesetzt.

---

Analog zur Berechnung von RGB- und Thermal-Orthophotos kann auch aus den Bildern im nahen Infrarot Bereich (NIR) ein Orthophoto erzeugt werden. Dieser Spektralbereich kann zur Klassifizierung in „Gebäude“, „Straßen“ und „Vegetation“ genutzt werden, woraus wiederum Gebäudegrundrisse abgeleitet werden können. Liegen diese durch externe Quellen aber in ausreichender Genauigkeit vor, entfällt dieser Schritt. Notwendig sind die Gebäudepolygone zur weiteren Analyse und Identifikation von Critical Spots, da hierfür nur Emissionswerte auf Gebäuden berücksichtigt werden sollen und nicht auch jene vom Untergrund.

### 1.3.2 Critical Spots

Der nächste Arbeitsschritt konzentriert sich auf die gemeinsame Auswertung der im Rahmen des Thermalkatasters erhobenen Datensätze mit dem Ziel, **Critical Spots** zu identifizieren. Als Critical Spots werden Quartiere/Gebäudegruppen definiert, die aufgrund der erfassten Daten ein hohes Sanierungspotential aufweisen. Damit können Schwerpunkte für eine intensivere Untersuchung dieser Quartiere gesetzt werden.

Um eine gemeinsame Auswertung durchführen zu können wurden zunächst die Daten aus dem Thermalkataster in ein GIS übernommen:

- Orthophoto im optischen Bereich (sichtbares Licht, nahes Infrarot)
- Orthophoto im thermischen Bereich

Abbildung 6 zeigt die Orthophotos im sichtbaren und im thermischen Bereich für einen Ausschnitt von Gleisdorf.



Abbildung 6: RGB Orthophoto und thermische Aufnahme

Neben den Daten aus dem Thermalkataster wurden öffentlich verfügbare Daten wie Straßennetzwerk, Gebäudeumrisse, Flächenwidmung etc. in das GIS eingepflegt. Als Quelle für diese Daten wurden Open Street Map (OSM), basemap.at und der digitale Atlas der Steiermark herangezogen.

---

Die Ableitung der Critical Spots geht von der Annahme aus, dass Gebäude, die eine vergleichsweise hohe thermale Emission aufweisen, als Kandidaten für Sanierungen in Frage kommen. Um solche Gebäude zu identifizieren werden zunächst die Gebäude aus dem thermalen Bild „ausgeschnitten“. Für diesen Prozess wird eine Gebäudemasken verwendet, die entweder aus dem optischen Bild abgeleitet wurde oder aus externen Quellen zur Verfügung steht. Abbildung 7 zeigt die Verschneidung der Gebäudemasken mit den Orthophotos im sichtbaren und thermischen Bereich.

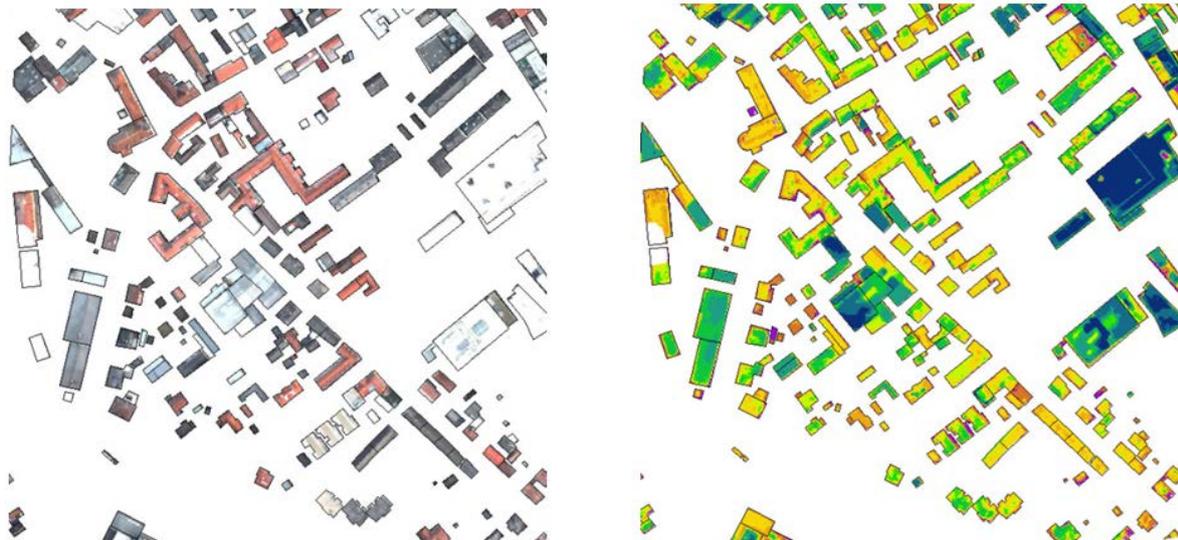


Abbildung 7: RGB Orthophoto und thermische Aufnahme verschneidet mit Gebäudemasken

Um diejenigen Gebäude zu ermitteln, die als Critical Spots in Frage kommen, müssen einige Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Die vom Sensor gemessene thermische Emission entspricht der vom Objekt emittierten thermischen Strahlung (von Einflüssen der Atmosphäre abgesehen, die aufgrund der geringen Flughöhe vernachlässigt werden können). Diese ist nicht gleichzusetzen mit der Temperatur des emittierenden Objektes, da diese vom Emissionsgrad und damit vom Material des Objektes abhängt. Außerdem ist die gemessene Strahlung nicht kalibriert und kann daher nur als relativer Wert interpretiert werden. Um also die einzelnen Gebäude – genauer gesagt die einzelnen Dächer – miteinander vergleichen zu können, ist es notwendig, die Materialien der Dächer zumindest in erster Näherung zu differenzieren. Diesen Näherungswert erhalten wir durch die Klassifikation der Dachflächen nach optischen Kriterien, basierend auf der Annahme, dass unterschiedliche Dachfarben auf unterschiedliche Dachmaterialien schließen lassen.

Ausgehend von dieser Hypothese können die Emissionen innerhalb der einzelnen Dachklassen folgendermaßen analysiert werden: Für jedes Gebäude innerhalb einer Dachklasse wird die mittlere Emission bestimmt, die daraus resultierenden Emissionswerte für alle Gebäude dieser Klasse gereiht und die obersten zehn Prozent der Verteilung ausgewiesen. Damit erhält man die am stärksten emittierenden Dachflächen pro Dachklasse, wobei die Vergleichbarkeit dank der Differenzierung der Dachtypen gewahrt bleibt. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis der Dachfarbenklassifikation und die resultierenden Critical Spots.

Die solcherart gefundenen Critical Spots sind natürlich nur als erste Selektion zu verstehen. Detaillierte Aussagen zur Ursache der thermischen Emission sind nur durch eine Begehung vor Ort zu treffen. Auf Basis einer Karte der Critical Spots wurde eine Begehung vor Ort durchgeführt, als deren Ergebnis das Bahnhofquartier als Kandidat für die im Folgenden beschriebene **Detailanalyse** ausgewählt wurde.

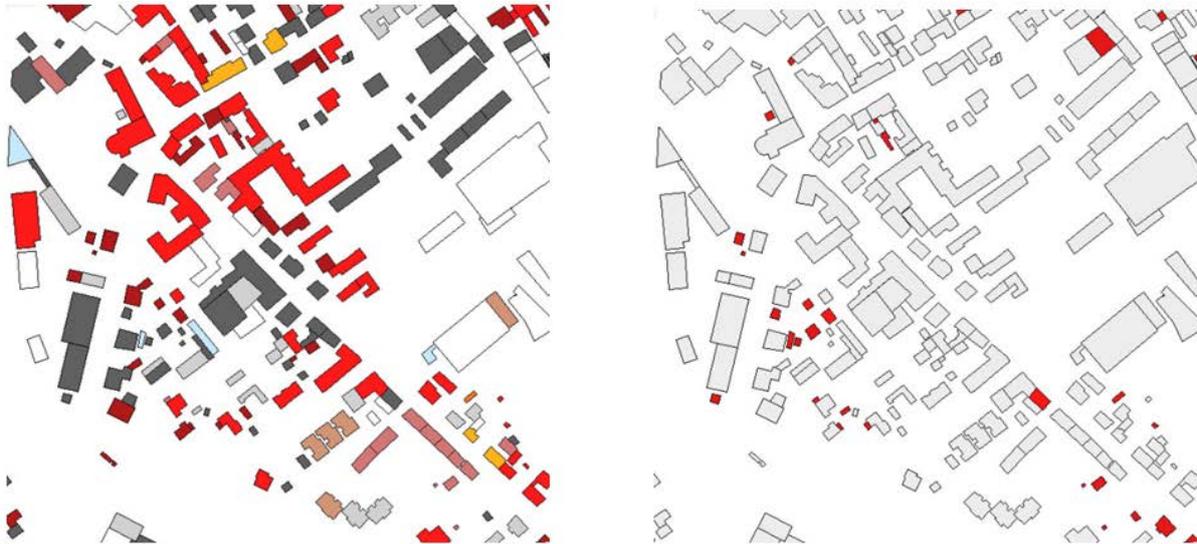


Abbildung 8: Klassifikation nach Dachfarben und „Critical Spots“

### 1.3.3 Detailanalyse

Nachdem potentiell sanierungsbedürftige Stadtgebiete identifiziert wurden, werden diese einer genaueren Analyse unterzogen. Durch eine Detailbefliegung in geringerer Höhe (in diesem Fall mit einem UAV in etwa 75 Metern) kann eine höhere Modellgenauigkeit erreicht werden. Die in Abschnitt 1.3.1 beschriebene Prozesskette findet auch hier wieder Verwendung, um aus Einzelbildern 3D (Thermal-)Modelle zu erzeugen. Die entstandenen 3D Modelle weisen eine hohe Qualität und Detailliertheit auf und ermöglichen das automatisierte Ableiten von Gebäudeparametern, wie z.B. Grundfläche, Höhe oder Dachneigung. Diese Parameter fließen dann in das Simulationstool bzw. den Maßnahmenkatalog ein.

Zusätzlich werden Luftgütemessungen durchgeführt, um weitere Einblicke und Randbedingungen für potentielle Sanierungsmaßnahmen zu gewinnen.

#### 1.3.3.1 Bilddatenaufnahme

Für die Bilddatenaufnahme der Detailbefliegung wurde eine Drohne des Typs „twinHex“ der Firma „twins“ verwendet, welche sich im Besitz des Konsortialführers befindet. Diese verfügt über ein hochgenaues Georeferenzierungs-System mittels GNSS/RTK und kann eine Payload von bis zu 2,5 kg tragen. Der auf der Drohne integrierte schwenkbare Kamerakopf wurde um eine Thermalkamera des Typs „Optris PI450“ sowie eine NIR Kamera erweitert und kalibriert.

Das identifizierte Hotspots-Gebiet wurde durch eine automatische Wegpunktbefliegung aus etwa 75 Metern Höhe aufgenommen, also deutlich näher als bei der Befahrung mittels Heißluftballon. Dadurch können mit den in Abschnitt 1.3.1 beschriebenen Methoden deutlich höhere Auflösungen des 3D (Thermal-)Modells erzielt werden - dafür ist die Aufnahme auch aufwändiger.

### 1.3.3.2. Ableitung von relevanten Gebäude-Geometrieparametern

Für die Ableitung konkreter Optimierungsmaßnahmen ist es wichtig, detaillierte Informationen über die jeweiligen Gebäude im Distrikt zur Verfügung zu haben. Einige dieser Daten – im Speziellen geometrische Gebäudeparameter – können aus der Detailbefliegung bzw. dem Oberflächenmodell (DSM) abgeleitet werden. Diese abgeleiteten Größen sind somit oft aktueller und präziser als sie z.B. in einem Stadtregister vorliegen.

Ausgangsbasis ist das aus UAV-Aufnahmen berechnete, geo-registrierte Oberflächenmodell. Dieses beinhaltet noch keine semantische Information über Gebäude, lediglich die 3D Struktur des Stadtteils. Gebäude sollen als jene Teile der Oberfläche identifiziert werden, welche sich vom Untergrund deutlich abheben und eine gewisse Mindestgröße haben. Um den Untergrund zu bestimmen, werden in einer lokalen Umgebung die am tiefsten liegenden Teile des Modells gesucht und höher liegende Teile eliminiert. Über die entstandenen Löcher wird dann interpoliert, sodass ein Geländemodell (DTM) entsteht. Abbildung 9 zeigt das aus einem DSM abgeleitete DTM.

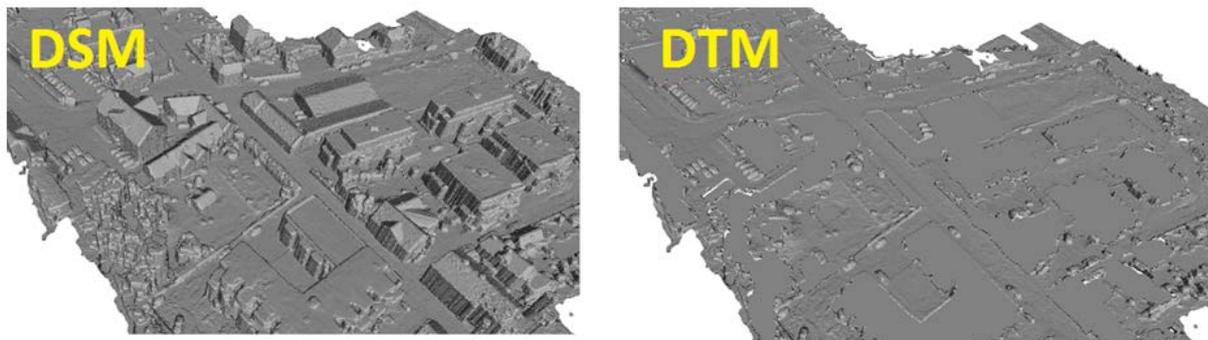


Abbildung 9: Ableitung des Terrainmodells (DTM) aus dem Oberflächenmodell (DSM)

Die Einzelgebäude können dann extrahiert werden, indem das DTM vom DSM abgezogen wird und nur Objekte mit einer bestimmten Mindestgröße erhalten bleiben. Dieses Kriterium trifft teilweise aber auch auf Vegetation wie z.B. Ansammlungen von Bäumen zu, welche noch gefiltert werden müssen. Hierfür wird über den Rot-Kanal des Farb-Orthobildes und dem NIR Kanal ein Vegetationsindex (NDVI) nach folgender Formel berechnet:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Vegetation im Modell führt zu hohen NDVI Werten, diese Bereiche werden als Gebäude ausgeschlossen. Abbildung 10 zeigt eine Visualisierung des Vegetationsindexes in einem Teilgebiet.

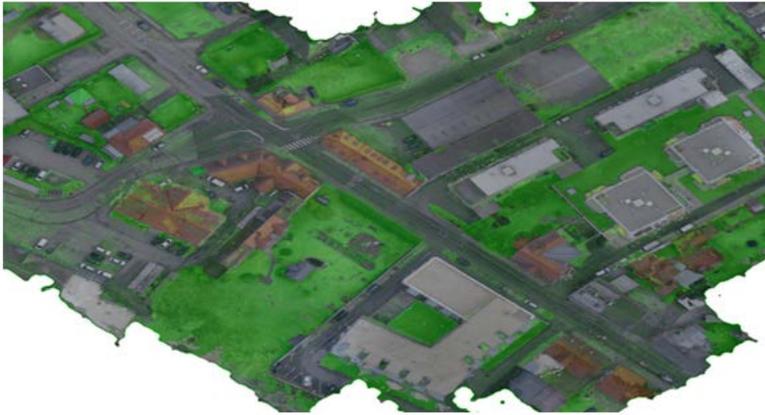


Abbildung 10: Vegetationsindex

Nach Anwendung des Filters der Mindestgröße sowie des Vegetationsfilters verbleiben nur mehr die Einzelgebäude, wie in Abbildung 11 dargestellt.



Abbildung 11: Extraktion von Einzelgebäuden

Die Adresszuordnung erfolgt dann durch Überschneidung mit GIS-Polygonen, wie in Abbildung 12 dargestellt. GIS-Polygone (in Abb. blau dargestellt) sind in der Regel mit Ungenauigkeiten behaftet, überschneiden sich aber im Normalfall mit den tatsächlich abgeleiteten Gebäude-Grundflächen (gelb), was eine Adresszuordnung ermöglicht.

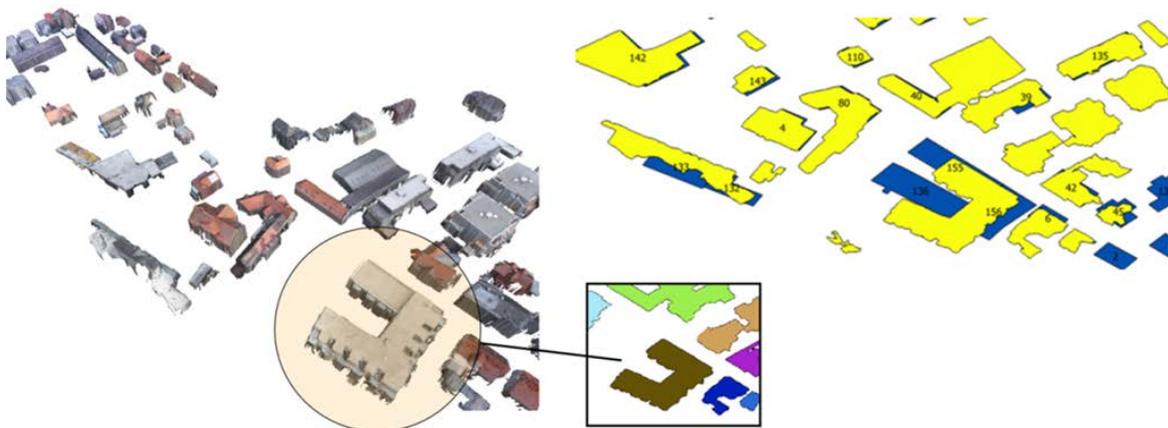


Abbildung 12: Ableitung von Gebäudegrundrissen

Aus den Einzelgebäuden (Abbildung 12, links) können dann relativ einfach relevante Parameter wie Grundfläche, Volumen und Höhe abgeleitet werden. So ist das Volumen näherungsweise die Summe aller Höhendifferenzen zwischen DSM und DTM innerhalb des Gebäudes, die Oberfläche die Summe aller Polygonflächen des 3D Gittermodells und die Höhe die größte Differenz zwischen DSM und DTM innerhalb der Gebäudegrundfläche. Daraus kann die Kompaktheit als Verhältnis von Oberfläche zu Volumen berechnet werden. Die Stockwerksanzahl kann aus der Gebäudehöhe abgeschätzt werden.

Für die Ableitung von Sanierungsmaßnahmen relevant ist auch die Beschaffenheit der Dächer, z.B. um Solarpotential zu identifizieren. Um Dachflächen zu extrahieren werden Normalvektoren im Modell berechnet. Zeigen diese nach oben, handelt es sich potentiell um eine Dachfläche. Durch weitere Kriterien (z.B. Mindesthöhe und -fläche) verbleiben dann alle Dachflächen im Modell (siehe Abbildung 13). Durch den Geo-Bezug können so z.B. sehr einfach jene Flächen identifiziert werden, die Richtung Süden zeigen und somit für eine Solaranlage infrage kommen. Auch eine Unterscheidung zwischen Gebäuden mit Flachdächern und Giebeldächern ist dadurch möglich.



Abbildung 13: Ableitung von Dachflächen

### 1.3.3.3. Luftschadstoff-Messgerät

Basierend auf Recherchen zur Erhebung von Luftgütedaten in Österreich, insbesondere auch in der Steiermark, wurde eine Sensorstudie durchgeführt, mit deren Hilfe Sensortechnologien und zugehörige Messgeräte entsprechend den Vorgaben für das Projekt gereiht werden konnten. Darauf aufbauend wurde ein Messgerät ausgewählt und beschafft, das den Kriterien (Luftschadstoffe, Klimafaktoren, Lufttemperatur und Luftdruck, Gewicht, Energieversorgung, Datensammlung, ...) entspricht. Es handelt sich hier um das Luftschadstoffmessgerät „*Waspnote Smart Environment PRO Plug&Sense*“ von *Libelium*. Dieses besteht aus sechs Messanschlüssen: vier Gassensoren ( $\text{CO}_2$ -Kohlenstoffdioxid,  $\text{CO}$ -Kohlenstoffmonoxid,  $\text{NO}_2$ -Stickstoffdioxid,  $\text{SO}_2$ -Schwefeldioxid/ $\text{O}_3$ -Ozon), einem Temperatur-Druck-Feuchte-Sensor und einem Feinstaubsensor ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{1.0}$ ;  $\text{PM}$  -

---

Particulate Matter). Messdaten können über Zeitstempel und GPS-Daten synchronisiert werden. Der Jahreszeit entsprechend wurde der  $\text{SO}_2$ -Sensor aus den Wintermessungen im Sommer durch einen  $\text{O}_3$ -Sensor ersetzt. Mit Hilfe der erforderlichen Applikationssoftware konnte das Messprogramm selbst erstellt bzw. implementiert werden. So lieferte das Messgerät ständig Messwerte im Minutentakt (wobei bereits intern über mehrere Messwerte gemittelt wurde) inklusive GPS-Daten und Uhrzeit und war sowohl für die Luft- als auch für die Bodenaufnahme bereit. (siehe Abbildung 14)



Abbildung 14: Luftschadstoff-Messgerät (links) und Drohne mit Luftschadstoff-Messgerät (rechts)

#### 1.3.3.4. Luftgütemessungen

Im Grunde ist das Messgerät dafür gemacht, an einem Laternenmast oder an einem Haus befestigt zu werden und ständig Aufzeichnungen über die Luftgüte zu liefern. Im Projekt *HOTSPOTS* sollten damit aber Aufnahmen aus der Luft in verschiedenen Höhen gemacht werden. Dazu wurde das Messgerät an einer Drohne des Typs „twinHex“ der Firma „twins“ (Details siehe Abschnitt 1.3.3.1) befestigt. Bei der ersten Datenaufnahme in Gleisdorf am 11.02.2016 war eine Verbindung zwischen Messgerät und Laptop nur über einen WLAN-Hotspot am Handy möglich. Somit konnten keine Messungen über 25 Meter Flughöhe durchgeführt werden, da keine WLAN-Verbindung mehr verfügbar war. Nichtsdestotrotz wurden die gewünschten Punkte im Bahnhofsviertel abgeflogen (siehe Abbildung 14: Luftschadstoff-Messgerät (links) und Drohne mit Luftschadstoff-Messgerät (rechts)).

Da das Messgerät ständig Messwerte im Minutentakt lieferte, musste an einer Messposition einige Minuten verweilt werden, um sicher zu gehen, dass Messwerte von genau dieser Position erhalten werden konnten. Kontrolliert wurde das auf dem mitgeführten Laptop. Dort wurden die gemessenen Werte in ein csv-File geschrieben. Bei mehreren Einträgen zur gleichen Position wurde bei der Auswertung der Mittelwert bzw. der Median darüber gebildet. Für jede Position musste die Drohne neu aufsteigen, kurz in der Luft verweilen und bei erfolgreicher Messung wieder landen, ehe zur nächsten Messposition weitergegangen werden konnte. Nachdem eine Runde am Bahnhofsviertel (siehe Abbildung 15) mit der Drohne (ca. 20-25 Meter Höhe) absolviert wurde, fanden anschließend die Messungen auf

---

Bodenhöhe (ca. 1 Meter) statt. Dazu wurde das Messgerät in der Hand gehalten und auch hier einige Minuten an einer Position verweilt, um den gewünschten Messwert zu erhalten.

Zusätzlich wurden die Temperatur- und Wetterdaten stündlich aus dem Internet abgelesen (ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) und niedergeschrieben, da bei zu viel Wind die Messwerte verfälscht werden könnten. Hierbei gab es aber keinerlei Probleme.

Im Sommer (11.-12.07.2016) wurde zu Vergleichszwecken eine zweite Messung auf Bodenhöhe durchgeführt. Dabei wurde der SO<sub>2</sub>-Sensor durch einen O<sub>3</sub>-Sensor ausgetauscht. Neben zwei Runden am Bahnhofsviertel, wurden außerdem drei Rundreisen (siehe Abbildung 15) durch Gleisdorf - jeweils in Bodenhöhe - unternommen. Dieses Mal mit Hilfe eines E-Quads, auf dem Messgerät und Laptop Platz fanden. Zudem wurde das csv-File diesmal auf eine Speicherkarte gespeichert.



Abbildung 15: Messpositionen am Bahnhofsviertel (links) bzw. auf der Rundreise (rechts)

Eine abschließende dritte Messreihe fand von 27. bis 28 Februar 2017 statt. Hierbei wurde zusätzlich zu den Flächenmessungen am Boden in verschiedenen Höhen auf dem Dach der Neuen Mittelschule (NMS) Gleisdorf gemessen. Außerdem fand das Luftschadstoff-Messgerät am 14.03.2017 bei der letzten Thermalbefliegung am Heißluftballon Platz (siehe Abbildung 16).



Abbildung 16: Messung mit dem Luftschadstoff-Messgerät am Heißluftballon

### 1.3.3.5. Luftschichtenmodell

Das Ziel der Darstellung als Luftschichtenmodell war es, den jeweiligen Messpunkt an gegebener GPS-Position und in gegebener Höhe je nach Wert des Schadstoffes auf eine geografische Karte zu plotten. Als Problem stellte sich hier anfangs heraus, dass vier Informationen (geografische Länge, geografische Breite, Höhe und Wert) geplottet werden sollten. Zu Beginn wurden die einzelnen Schadstoffe recherchiert, um eine Idee einer Einteilung nach Ampelfarben (grün-hellgrün-gelb-orange-rot) zu bekommen, wobei grün als guter und rot als schlechter - sprich zu hoher - Wert zu interpretieren ist. Die so festgelegte Einteilung orientiert sich an allgemeinen Grenzwerten (TMW-Tagesmittelwert, HMW-Halbstundenmittelwert, ...) sowie an Messwerten, die an anderen Luftgütemessstationen (z.B. in Weiz) aufgezeichnet wurden.

Ein erster Versuch, ein Luftschichtenmodell zu erstellen, führte zur Idee eines 3D-Scatterplots. Dabei können die Messpunkte der verschiedenen Messhöhen gemeinsam in einem Plot dargestellt werden. Das Problem hierbei ist jedoch, dass man eine leere Grundfläche hat, man hat also keine Vorstellung, wie das Gebiet unter den zugehörigen Messpunkten aussieht. Also vertiefte man die Idee, die Messpunkte auf eine geografische Karte zu plotten, wobei allerdings der 3D-Zugang verloren geht und jede Höhe separat geplottet werden muss. Dennoch konnte damit weitergearbeitet werden.

Aufgrund der aufwändigen Datenaufnahme mittels Drohne gibt es nur ca. 11 Messpunkte pro Runde im Bahnhofsviertel und etwa 17 Messpunkte bei der Rundreise. Diese wurden nicht flächenmäßig - wie vielleicht vermutet - alle zur selben Zeit aufgenommen (dafür wären mehrere Messgeräte notwendig), sondern zeitlich nacheinander. Das bedeutet, dass der erste Messpunkt einige Minuten vor dem nächsten Messpunkt aufgenommen wurde.

---

Insgesamt dauerte eine Runde am Bahnhofsviertel zirka eine Stunde und eine Rundreise etwa zwei Stunden. Somit waren die Witterungsverhältnisse (Temperatur, Wind, ...) für jeden Messpunkt etwas anders. Dennoch wurde aus diesen einzelnen Messpunkten ein flächendeckendes Gitter erstellt. Um aus diesen wenigen Punkten eine Aussage über die Schadstoffbelastung zu tätigen, wurden zufällig neue Punkte generiert, die wie ein Gitter über dem Messgebiet liegen und auch die gemessenen Punkte überdecken. Um am Ende keine falschen Schlüsse zu ziehen, wurden die konvexe Hülle der Messpunkte berechnet und alle außerhalb liegenden Punkte entfernt (siehe Abbildung 17).



Abbildung 17: Messpunkte mit Punktegitter (links), Punktegitter mit konvexer Hülle (Mitte), konvexe Hülle (rechts)

Danach konnte mittels *gewichtetem nearest-neighbor-Algorithmus* (Interpolation) auch den neu generierten Punkten Werte zugeteilt werden. Schließlich wurde allen Punkten aufgrund der Höhe ihrer Werte eine Farbe aus obiger Einteilung zugewiesen und auf die geografische Karte geplottet. Die Plotsymbole wurden so angepasst, dass das Punktegitter wie eine zusammenhängende transparente Fläche über dem Messgebiet wirkt (siehe Abbildung 18). Diese Plots wurden sowohl für die Winter- als auch für die Sommermessungen erstellt.

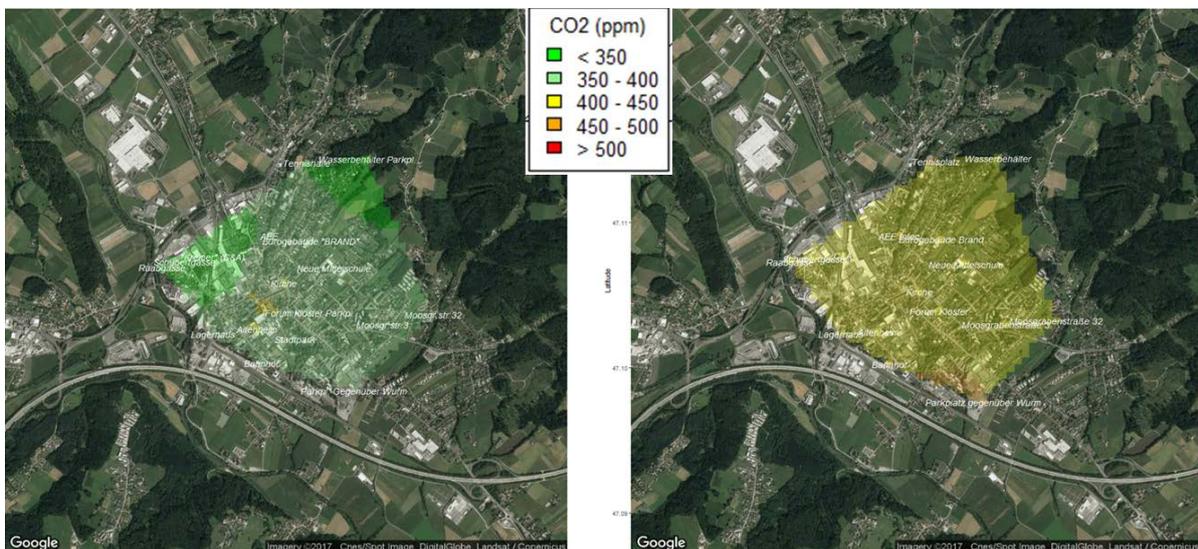


Abbildung 18: Flächenmessung von CO<sub>2</sub> im Sommer 2016 (links) und Winter 2017 (rechts)

### **1.3.4 Schwachstellenanalyse und Maßnahmenkatalog**

Im nächsten Schritt erfolgt eine gezielte Schwachstellenanalyse des „HOTSPOTS-Zielgebiets“, dem Bahnquartier der Stadt Gleisdorf (35 Gebäude). Aufbauend auf die vertiefte und verbesserte Datenbasis im AP4 wurde im Berichtszeitraum eine gezielte Schwachstellenanalyse nach dem „Treiber- bzw. Hebelprinzip“ erarbeitet. Dabei wurden spezielle Aspekte, wie thermischer Gebäude- und Haustechnikstandard, Stadt- und Mikroklima, Luftgüte, Energie(versorgung) im Verbund der Infrastrukturelemente betrachtet und qualifiziert.

#### **1.3.4.1 Datenaufbereitung**

Zur Abschätzung des Energiebedarfs der Gebäude im Untersuchungsgebiet wurden die Geometrien der Einzelgebäude aus den Daten der Ballon- und Drohnenbefliegung extrahiert. Diese wurden in einem ersten Schritt verwendet, um den Heizwärmebedarf der Gebäude zu berechnen. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden zur Validierung mit den verfügbaren Energieausweisen verglichen. In einem weiteren Schritt wurden die ermittelten Geometrien in das ECOCITIES Tool geladen und verschiedene Maßnahmen für die Sanierung und den Austausch der Heizungssysteme berechnet.

Auf Basis der verfügbaren Drohnenkarten wurden im Bahnquartier 35 Gebäuden für die Energiemodellierung ausgewählt. Um die modellierte Energiebedarfsabschätzung der Gebäude überprüfen zu können, wurden durch die Stadtwerke Gleisdorf folgende Daten bereitgestellt:

- Beheizte Bruttogeschossfläche
- Gebäudealter
- Heizwärmebedarf (wenn vorhanden aus Energieausweis bzw. abgeschätzt über das Gebäudealter)
- Energieträger für die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung

Anhand der verfügbaren Eingangsdaten aus der Drohnenbefliegung wurden verschiedene Modellierungsansätze untersucht. Für das untersuchte Gebäude Bahnstraße 11 (AMS) lagen Daten für drei Befliegungen vor:

- Ballonbefliegung
  - Drohnenbefliegung Gebiet
  - Drohnenbefliegung Einzelgebäude (3D Modellierung siehe Abbildung 19)
-

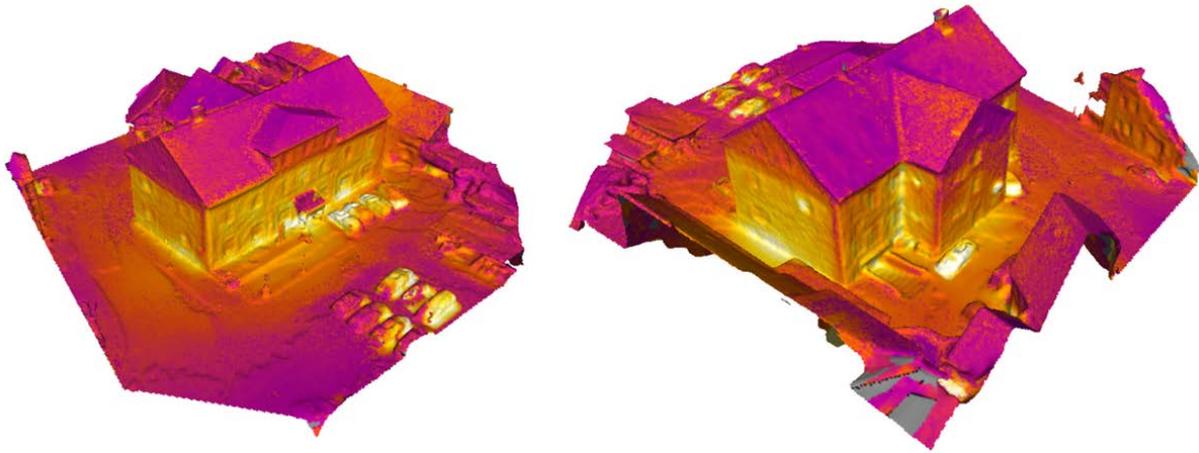


Abbildung 19: 3D Modellierung eines Einzelgebäudes, inkl. Thermal-Textur

Die bereitgestellten Datensätze wurden ins GIS übertragen. Für die drei Datensätze wurden die Geometrien des Gebäudes für folgende Entitäten ermittelt:

- Außenwand – 8 Himmelsrichtungen
- Dachflächen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung des Klötzchenmodells sehr ähnliche Ergebnisse liefert im Vergleich zur Modellierung des Daches unter Berücksichtigung der Dachneigung. Zudem liefern die Daten der Drohnenbefliegung aufgrund der höheren Auflösung wie zu erwarten deutlich bessere Ergebnisse als die Ballonbefahrung, weswegen in der weiteren Untersuchung auf diesen Datensatz zugegriffen wurde.

Die verwendeten U-Werte sind in Tabelle 1 gelistet. Entsprechend des angegebenen Gebäudealters wurden die U-Werte zugewiesen. Dabei wurden aufgrund der Gebäudestruktur vereinfacht die U-Werte für Reihenhäuser (TH) verwendet.

U-Werte [W/m <sup>2</sup> *K]	TH ab	I 1918	II 1919	III 1945	IV 1960	V 1980	VI 1990	VII 2000
Bauteil		1	2	3	4	5	6	7
Dachfläche	DF	1.7	1.7	1.7	0.8	0.5	0.3	0.2
Oberste Geschossdecke	OD	1.1	0.8	0.8	0.7	0.4	0.3	0.2
Außenwand	AW	1.4	1.4	1.3	1.1	0.6	0.4	0.35
Fenster	FE	2.2	2.3	2.3	2.7	2.5	1.8	1.4
Kellerdecke	FB/KD	1.2	1.2	1.2	0.8	0.5	0.5	0.4

Tabelle 1: U-Werte der Bauteile für die unterschiedlichen Bauperioden [Quelle: TABULA]

Die Ergebnisse der neuen Gebäude (siehe Tabelle 2) mit vorhandenem Energieausweis zeigen, dass die Modellierung der Gebäude mit den Daten der Drohnenbefliegung ähnliche Ergebnisse liefert wie die Energieausweisdaten.

Adresse	Gebäudealter	BGF Energieausweis	HWB Berechnet	HWB Energieausweis
XXXgasse 2	2014	1053	31	30
XXXgasse 4	2014	2034	25	30
XXXgasse 6	2014	2346	31	30
YYYstraße 1	2010	723	49	48
YYYstraße 3	2010	720	47	48
YYYstraße 5	2010	720	47	48
ZZZgasse 5	2015	1383	39	26
ZZZgasse 6	2015	1620	34	26

Tabelle 2: Vergleich berechneter HWB und HWB nach Energieausweis (Adressen anonymisiert)

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse für die BGF und HWB für die Gebäude ohne Energieausweise gelistet. Sowohl für die BGF als auch den HWB sind zum Vergleich die Vorgaben der Stadtwerke Gleisdorf dargestellt. Bei starken Abweichungen wurden die Ergebnisse rot markiert. Liegen die Ergebnisse in einem bestimmten Toleranzbereich wurden diese grün markiert.

Bei der Abschätzung der Bruttogeschossfläche liegen viele der Gebäude im Toleranzbereich. Allerdings liegen einige der Gebäude um ein bzw. zwei Etagen unter denen der gegebenen Bruttogeschossfläche. Dies lässt sich durch folgende Parameter erklären:

- Abweichung angenommene Geschosshöhe zu realer Geschosshöhe (Annahme 3,30 Meter pro Geschoss - insbesondere bei älteren Gebäuden ist von einer höheren Geschosshöhe auszugehen)
- Fehlende Information über die Dachgeschossnutzung (Leerstand oder bewohnt) - bei Nichtnutzung wird die Dachgeschossfläche abgezogen
- Rundungsfehler beim Klötzchenmodell - Verwendung der mittleren Höhe des Gebäudes bei der Abschätzung der Bruttogeschossfläche

Trotz der Abweichungen zeigen die Ergebnisse, dass die verwendete Methode eine gute Grundlage zur Abschätzung der Bruttogeschossfläche darstellt.

Die spezifischen Heizwärmebedarfswerte wurden mit den berechneten Bruttogeschosswerten ermittelt. Dabei wurden lediglich die Bauteile berücksichtigt, welche luftberührte Außenflächen darstellen. Die Flächen der Bauteile, welche zum Beispiel an Nachbargebäude angrenzen, wurden unter der vereinfachten Annahme, dass dort nur geringe Wärmeverluste anfallen, bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Adresse	Gebäudealter	BGF Vorgabe	BGF Berechnet	HWB Vorgabe	HWB Berechnet
<i>Einheit</i>	<i>[-]</i>	<i>[m<sup>2</sup>]</i>	<i>[m<sup>2</sup>]</i>	<i>[kWh/m<sup>2</sup>*a]</i>	<i>[kWh/m<sup>2</sup>*a]</i>
XXXstraße 11	vor 1928	1648	791	180	148
XXXstraße 13	1969	500	470	160	170
XXXstraße 13a	vor 1928	665	622	170	209
XXXstraße 15	vor 1928	622	244	128	174
XXXstraße 16	1975	1303	1120	100	122
XXXstraße 17	1975	1042	1120	100	141
XXXstraße 18	1976	999	1120	100	133
ZZZstraße 22	vor 1928	362	228	140	159
YYYgasse 20	1965	335	247	160	115
YYYgasse 54	1940	410	380	140	186
YYYgasse 52	1930	411	275	140	182
YYYgasse 50	1930	413	275	140	181
YYYgasse 48	1977	418	275	140	150
YYYgasse 22	1965	74	83	120	343
YYYgasse 38	1971	470	325	190	150
YYYgasse 40	1977	281	411	140	181
YYYgasse 44	vor 1928	160	148	170	280
YYYgasse 46	vor 1928	164	156	180	271
YYYgasse 49	vor 1928	485	416	140	239
YYYgasse 51	2011	964	1002	31	40
YYYgasse 53	2011	1357	1020	30	34
YYYgasse 55	2008	654	300	140	41
YYYgasse 56	1930	640	436	120	157
YYYgasse 58	1930	626	436	120	184
YYYgasse 62	1997	590	404	80	60
YYYgasse 70	1985	1593	100	220	69
ZZZstraße 1	vor 1928	938	900	150	149

Tabelle 3: Vergleich BGF und HWB - Vorgabe und Gegeben (Adressen anonymisiert)

Die Ergebnisse in Tabelle 3 zeigen, dass für eine große Anzahl der Gebäude die berechneten Ergebnisse für den spezifischen Heizwärmebedarf im Bereich der geschätzten Heizwärmebedarfswerte liegen. Bei einigen der Gebäude kommt es zum Teil zu hohen Abweichungen. Folgende Parameter können als Ursache herangezogen werden:

- Die gegebenen spezifischen HWB-Werte stellen Referenzwerte entsprechend der Bauperiode dar. Durch die entwickelte Methode werden tatsächliche Geometrien sowie etwaige anschließende Nachbargebäude berücksichtigt. Dadurch kommt es zu einer detailgetreueren Berechnung des HWB als eine reine Abschätzung des HWB über das Gebäudealter
- Stark abweichende Bruttogeschossfläche von tatsächlicher Bruttogeschossfläche - aufgrund der spezifischen Darstellung des HWB (kWh/m<sup>2</sup>\*a) kann es hier durch die Berechnungsmethode zu Abweichungen kommen

Die im Rahmen des Projektes entwickelte Methode liefert eine gute Basis zur Abschätzung des Heizwärmebedarfs unter Verwendung der durch die Drohnen bereitgestellten Eingangsdaten (Geometrien, Höheninformation). Dies konnte anhand eines Vergleiches mit vorliegenden Energieausweisdaten sowie abgeschätzten Energiebedarfswerten gezeigt

werden. Neben den Eingangsdaten durch die Drohne sind weitere Informationen zur HWB-Berechnung notwendig (Gebäudealter, Nutzung). Die Eingangsdaten unterliegen bestimmten Restriktionen, da über die Drohnenbefliegung nur Informationen über die äußeren Geometrien generiert werden können. Dadurch kann es zu Abweichungen bei der Anzahl der beheizten Etagen und somit Abschätzung der Bruttogeschossfläche kommen.

### 1.3.4.2 Erstellung eines allgemein gültigen Schwachstellenkataloges (Tool und Checkliste)

Auf Basis der aufbereiteten Daten wurden gezielt Schwachstellen der 35 Gebäude und des übergeordneten Bahnhofsquartiers abgeleitet und in einem ersten Schritt mittels eines elektronischen Excel –Tools (Schwachstellenkatalog) in unterschiedliche Kategorien eingeteilt.

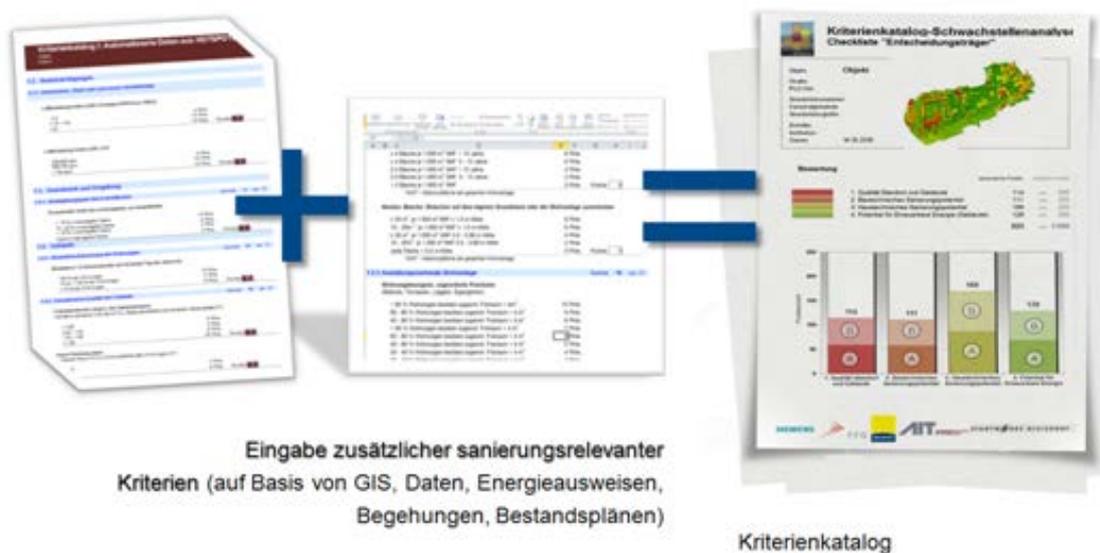


Abbildung 20: Datenerhebung für Kriterienkataloge

Mit dieser Datengrundlage lässt sich der energetische Ist-Zustand vom Einzelgebäude bis hin zum gesamten Bahnhofsgelände im Quartiersmaßstab ermitteln. Exemplarisch wurden in einem weiteren Schritt für das Bahnhofsquartier Gleisdorf die einzelnen energetischen, CO<sub>2</sub>- und Feinstaubrelevanten „Treiber“ etc. analysiert und gewichtet. Dabei wurde eine Schwachstellenanalyse von Einflussfaktoren, welche ein besonders großes Potential zur Optimierung aufweisen erhoben und davon Effizienz- bzw. Verbesserungspotentiale im Quartier abgeleitet.

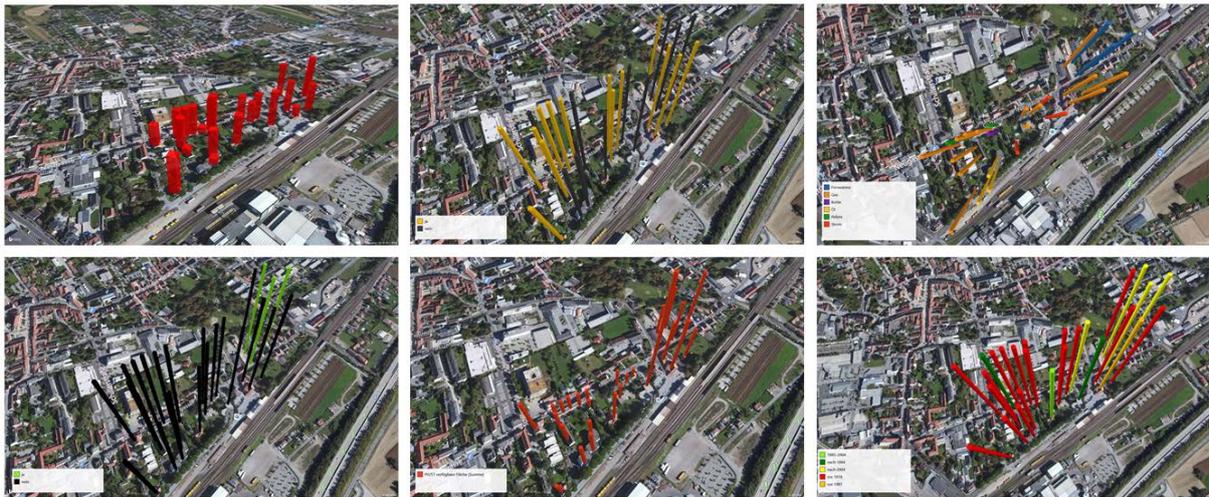


Abbildung 21: Datenauswertung

Nachdem die Betrachtungsweisen und die erforderlichen Entscheidungshilfen für Sanierungsmaßnahmen von Stadtverantwortlichen und GebäudeeigentümerInnen unterschiedlich sind, wurden zwei differenzierte Schwachstellenkataloge erarbeitet:

**Elektronische Schwachstellenkataloge (Checklisten):**

- Kriterienkatalog für „Entscheidungsträger Stadt“
- Kriterienkatalog für „Eigentümer Gebäude“

Neben der Semi-automatisierten Einpflegung der Hotspotsdaten in den Schwachstellenkatalog (Excel-Tool) wurden „nicht durch das Projekt erhobene Faktoren“ durch die Eingabe zusätzlicher sanierungsrelevanter Kriterien wie z.B. Infrastruktur und Umgebung, Lärmemissionen, Sanierungspotential Grundriss und Ausstattung sowie Baumängel berücksichtigt.

Folgende Kriterien wurden für die Checkliste "Entscheidungsträger Stadt" und "Eigentümer Gebäude" gemeinsam erarbeitet und definiert:

<b>Kriterienkatalog - Entscheidungsträger Stadt Checklistenpunkte:</b>	<b>Kriterienkatalog - Eigentümer Checklistenpunkte:</b>	<b>Bepunktung 1-10 abhängig von Grenzwerten</b>
<b>A) Baulich - Energetisch</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarpotential Fassaden (<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarpotential Fassade</li> </ul>	0-100%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarpotential Dächer(<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarpotential Dächer</li> </ul>	0-100%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bebauungsgrad(<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bebauungsgrad</li> </ul>	0 - 1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachverdichtungspotential (<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachverdichtungs- potential</li> </ul>	Prozentsatz der max. möglichen Dichte

<ul style="list-style-type: none"> <li>LBI: Feinstaub PM10 (<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LBI: Feinstaub PM10</li> </ul>	< 15, 15-30, 30-40, 40-50, > 50.
<ul style="list-style-type: none"> <li>LBI: Feinstaub PM2.5 (<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LBI: Feinstaub PM2.5</li> </ul>	< 5, 5-10, 10-20, 20-35, > 35.
<ul style="list-style-type: none"> <li>LBI: CO2 (<i>Quartier</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LBI: CO2</li> </ul>	< 350, 350-400, 400-450, 450-500, > 500
<ul style="list-style-type: none"> <li>E. Sanierungspotential AW Aussenwände (Q)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>E. Sanierungspotential Aussenwände</li> </ul>	$U_{\text{mitte}}=0,1 - 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>E. Sanierungspotential Fenster (Q)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>E. Sanierungspotential Fenster</li> </ul>	$U_{\text{ges}}=0,5 - 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>E. Sanierungspotential Dächer (Q)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>E. Sanierungspotential Dächer</li> </ul>	$U_{\text{mitte}}=0,1 - 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsparungspotential HWB (Q)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsparungspotential HWB</li> </ul>	$HWB= 10 - 150\text{kWh/m}^2\text{a}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fernwärmeanschlusspotential (Q)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fernwärmeanschlusspotential</li> </ul>	<i>Ja / Nein + Entfernung</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Haustechnisches Sanierungspotential (Q)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haustechnisches Sanierungspotential</li> </ul>	<i>Bepunktung nach Energieträger</i>
<b>B) Zusatzkriterien</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastruktur und Umgebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundriss und Ausstattung</li> </ul>	<i>Bepunktung lt. Katalog</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Beeinträchtigungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundstück und Umgebung</li> </ul>	<i>Bepunktung lt. Katalog</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bautechnisches Sanierungspotenzial</li> </ul>	<i>Bepunktung lt. Katalog</i>

Tabelle 4: Kategorien des Schwachstellenkatalogs

In einer automatisierten Auswertungsgrafik, „Bewertungsrose“ (Abbildung 22) wird eine Vielzahl an Potenzialen sichtbar, die bislang oftmals nicht quantifizierbar waren. Mit dem Kriterienkatalog steht ein elektronisches- Werkzeug zur Verfügung, mit dem in einem weiteren Schritt u.a. die Entscheidungsgrundlagen für quartiersbezogene Sanierungskonzepte und auch Quartierssanierungsmaßnahmen geschaffen werden kann (siehe Abbildungen 23-25). Die Überprüfung der Praxistauglichkeit erfolgte durch Workshops mit BewohnerInnen und EntscheidungsträgerInnen der Stadt Gleisdorf sowie Begehungen vor Ort. Die Ergebnisse und Adaptionen auf Praxisbeurteilung des Schwachstellenkataloges fließen in die Weiterentwicklung des allg. gültigen Schwachstellenkatalogs ein. Das Softwaretool ersetzt dabei keine objektbezogene Planung, aber es ermittelt schnell und einfach die notwendigen Potentiale für eine weiterführende Betrachtung. Gebäude mit ähnlichem Sanierungsbedarf sind somit sofort erkennbar und gezielte Benchmarks aufgrund der großen Datenbasis der Gebäude ableitbar. Somit können gezielt Gebäude oder Quartiere mit ähnlichen Problemstellungen erkannt und quantifiziert werden und in weiterer Folge Synergien durch die Masse an Gebäuden im nächsten Schritt genutzt werden (gemeinsame Informationsveranstaltungen, gezielte Förderungsangebote, Ausschreibung und Vergabe ähnlicher Sanierungsleistungen). Die bilanzierten Potenziale und Bedarfe können schlussendlich im Schwachstellenkatalog verglichen werden und dienen als Entscheidungshilfen für erste Entwicklungsszenarien und Sanierungskonzepte.

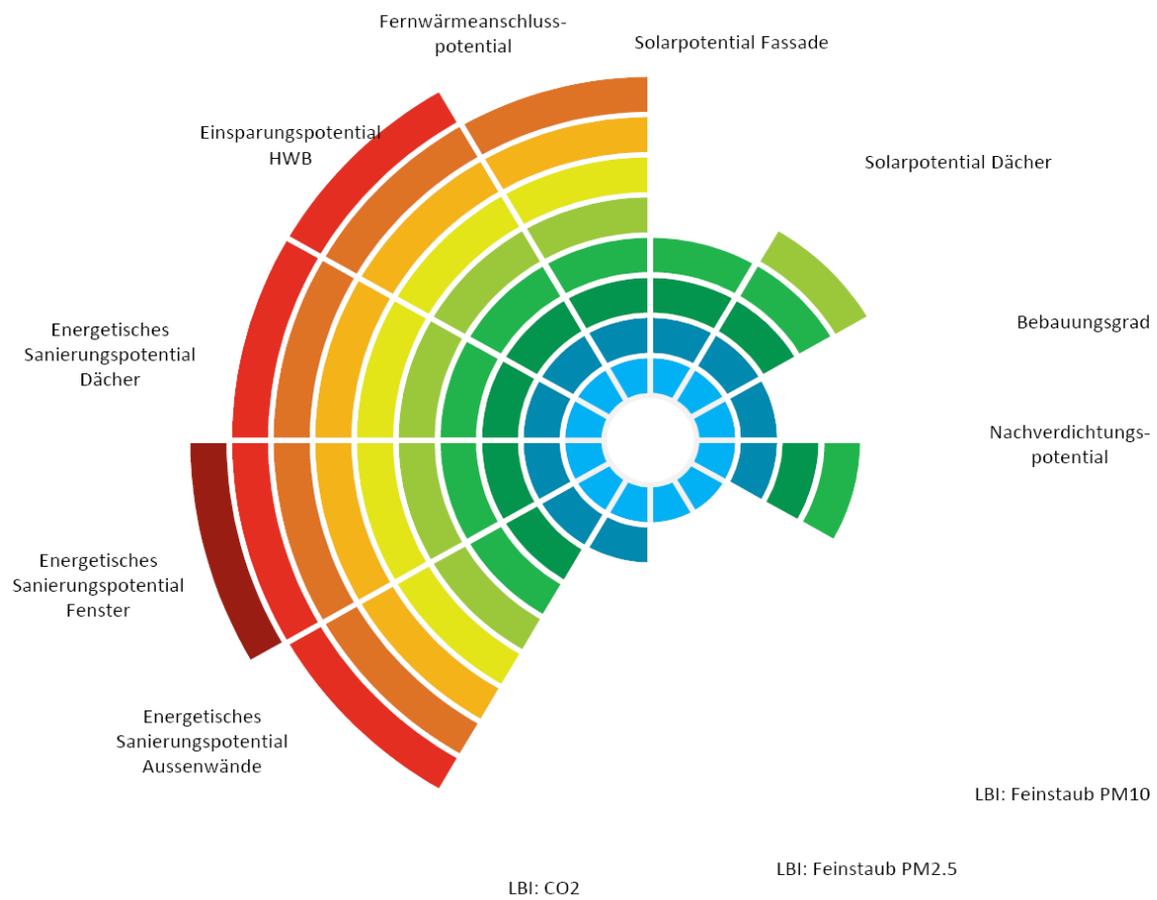


Abbildung 22: Potentialauswertung nach den 12 Einzelkategorien auf Gebäudeebene



Abbildung 23: Deckblatt und Auswertungsrose für die beiden Kriterienkataloge. Die beiden entwickelten Schwachstellenkataloge stehen in Form eines Excel-Tools zur Verfügung

Excel spreadsheet showing a semi-automated input mask for the HOTSPOTS criteria catalog. The interface includes a menu bar (Datei, Start, Einfügen, etc.) and a grid with columns A through P and rows 1 through 78.

**Kriterienkatalog Entscheidungsträger: Zusätzliche Kriterien**

Objekt: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**A Infrastruktur und Umgebung** Summe 5 von 70

**A1 Mobilitäts-Infrastruktur** Summe 5 von 21

**Entfernung nächste Haltestelle öffentliches Verkehrsnetz**

≤ 300 m	6 Pkte.
≤ 500 m	4 Pkte.
≤ 1000 m	1 Pkte.
> 1000 m	0 Pkte.

Punkte:

**Intervall öffentliches Verkehrsmittel (6:00 - 20:00)**

≤ 15 min.	5 Pkte.
≤ 30 min.	3 Pkte.
≤ 60 min.	1 Pkte.
> 60 min.	0 Pkte.

Punkte:

**Fahrtzeit mit öffentl. Verkehrsmittel ins nächste Zentrum**

≤ 10 min.	5 Pkte.
≤ 20 min.	3 Pkte.
≤ 30 min.	1 Pkte.
> 30 min.	0 Pkte.

Punkte:

**Anbindung Radweg (-netz)**

≤ 100 m	5 Pkte.
≤ 250 m	3 Pkte.
≤ 500 m	1 Pkte.
> 500 m	0 Pkte.

Punkte:

**A2 Soziale Infrastruktur** Summe 0 von 15

**Entfernung von Kindergarten, -betreuungseinrichtung**

≤ 500 m	4 Pkte.
≤ 1000 m	2 Pkte.
> 1000 m	0 Pkte.

Punkte:

Welcher:

**Entfernung Pflichtschulen oder weiterbildende höhere Schulen**

≤ 500 m	4 Pkte.
≤ 1000 m	2 Pkte.
> 1000 m	0 Pkte.

Punkte:

Welcher:

**Entfernung ärztliche Betreuungseinrichtungen (Praktische/r Ärztin/Arzt, Arztpraxiszentrum)**

≤ 500 m	4 Pkte.
≤ 1000 m	2 Pkte.
> 1000 m	0 Pkte.

Punkte:

Welcher:

**Entfernung Apotheke (oder Hausapotheke praktische/r Ärztin/Arzt)**

≤ 500 m	3 Pkte.
≤ 1000 m	1 Pkte.
> 1000 m	0 Pkte.

Punkte:

Welcher:

**A3 Gewerbliche Infrastruktur und Nahversorgung** Summe 0 von 22

**Entfernung Orts-, Ortsteilzentrum mit öffentl. Verwaltungseinrichtung (Ämter, Gemeinde)**

... ..

... ..

**1.3.2 Naturräumliche Ausstattung des Grundstückes** Summe 0 von 16

**Baumbestand auf dem eigenen Grundstück oder der Wohnanlage zurechenbar**

≥ 4 Bäume je 1.000 m <sup>2</sup> NNF > 15 Jahre	8 Pkte.
≥ 4 Bäume je 1.000 m <sup>2</sup> NNF 5 - 15 Jahre	6 Pkte.
2-3 Bäume je 1.000 m <sup>2</sup> NNF > 15 Jahre	4 Pkte.
2-3 Bäume je 1.000 m <sup>2</sup> NNF 5 - 15 Jahre	2 Pkte.
< 2 Bäume je 1.000 m <sup>2</sup> NNF	0 Pkte.

Punkte:

\*NNF = Nettanutzfläche der gesamten Wohnanlage

**Hecken, Büsche, Sträucher auf dem eigenen Grundstück oder der Wohnanlage zurechenbar**

≥ 30 m <sup>2</sup> je 1.000 m <sup>2</sup> NNF ≥ 1,0 m Höhe	8 Pkte.
10 - 20 m <sup>2</sup> je 1.000 m <sup>2</sup> NNF ≥ 1,0 m Höhe	6 Pkte.
≥ 30 m <sup>2</sup> je 1.000 m <sup>2</sup> NNF 0,5 - 0,99 m Höhe	4 Pkte.
10 - 20 m <sup>2</sup> je 1.000 m <sup>2</sup> NNF 0,5 - 0,99 m Höhe	2 Pkte.
Jede Fläche < 0,5 m Höhe	0 Pkte.

Punkte:

\*NNF = Nettanutzfläche der gesamten Wohnanlage

**1.3.3 Ausstattungsmerkmale Wohnanlage** Summe 0 von 37

**Wohnungsbezogene, zugeordnete Freiräume** (Balkone, Terrassen, Loggien, Eigengärten)

> 80 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum > 4 m <sup>2</sup>	10 Pkte.
60 - 80 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum > 4 m <sup>2</sup>	9 Pkte.
40 - 60 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum > 4 m <sup>2</sup>	8 Pkte.
> 80 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum < 4 m <sup>2</sup>	7 Pkte.
60 - 80 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum < 4 m <sup>2</sup>	6 Pkte.
40 - 60 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum < 4 m <sup>2</sup>	5 Pkte.
20 - 40 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum > 4 m <sup>2</sup>	4 Pkte.
20 - 40 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum < 4 m <sup>2</sup>	3 Pkte.
10 - 20 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum > 4 m <sup>2</sup>	2 Pkte.
10 - 20 % Wohnungen besitzen zugeord. Freiraum < 4 m <sup>2</sup>	1 Pkte.
< 10 % oder keine Wohnung besitzen einen zugeordneten Freiraum	0 Pkte.

Punkte:

**Infrastruktur in der Wohnanlage**

Allgemein zugänglicher Grün- oder Freiraum, Dachterrasse	2 Pkte.
Spielplatz oder Spielraum für Kinder	2 Pkte.
Gemeinschaftsräume (Veranstaltungsräume/ Küche)	2 Pkte.
Wasch- und Trockenraum	2 Pkte.
Kinderwagenstellraum	2 Pkte.
Sonstiges	2 Pkte.

Punkte:

Welcher:

**Fahrradabstellplätze (überdacht, abschließbar, einfach zugänglich)**

Bei Aufstellung in Einzelreihen 30° zur Wand  
Entweder mind. 0,05 m<sup>2</sup> / m<sup>2</sup> BGF oder mind. 5,5 m<sup>2</sup> / WE

7 Pkte.  m<sup>2</sup>

Oder:  
Bei Aufstellung in Doppelreihen, beidseitig zugänglich  
Entweder mind. 0,04 m<sup>2</sup> / m<sup>2</sup> BGF oder mind. 4,4 m<sup>2</sup> / WE

7 Pkte.  m<sup>2</sup>

Keine Fahrradabstellplätze oder vorhandene entsprechen nicht den angeführten Kriterien

0 Pkte.

Punkte:

**KFZ-Abstellplätze und / oder (Tief-) Garagen**

Sind am Grundstück vorhanden (> 1 P je WE)

6 Pkte.

Navigation: Auswertung Entscheidungsträger | Auswertung Eigentümer | Zusatzkriterien Entscheidungsträger | Zusatzkriterien Eigentümer | INPUT\_Gebä

Abbildung 24: Semi-Automatisierte Excel Eingabemaske der HOTSPOTS-Kriterienkataloge

Hotspots Übersicht Kriterienkatalog - Potentialierfassung:

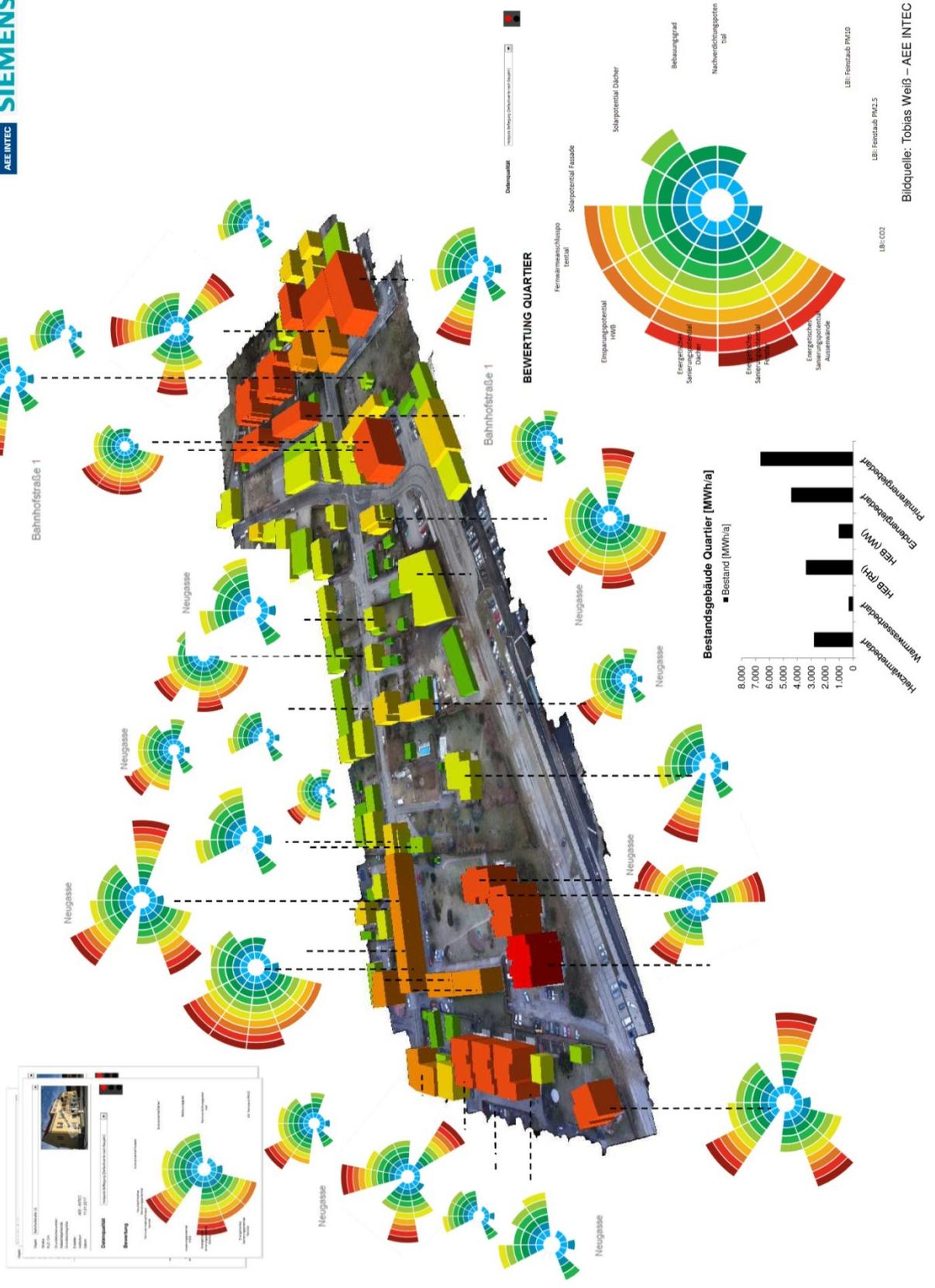


Abbildung 25: Schwachstellenanalyse mit räumlicher Verortung der Ergebnisse für das „HOTSPOTS-Zielgebiet“ - Bahnquartier Gleisdorf (aus Datenschutzgründen anonymisierte Darstellung)

### 1.3.5 Decision Support

In weiteren Schritten werden die generierten Geometrien in das ECOCITIES Tool eingespielt und mit Hilfe der Gebäudekategorien und Heizungssysteme (ebenfalls durch die Stadtwerke Gleisdorf bereitgestellt) der HEB (Heizenergiebedarf - inkl. der Systemverluste) ermittelt. Diese bilden die Basis der Szenarienberechnungen, welche unter Beteiligung lokaler Stakeholder durchgeführt werden. Das ECOCITIES erlaubt optimale Szenarien anhand verschiedener Parameter wie Energieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Reduktion und Investitionskosten.

#### 1.3.5.1 Optimierungstool

Wird ein Stadtviertel als sanierungsbedürftig erkannt, stellt sich die Frage,

- welche Gebäude innerhalb des Viertels saniert werden sollen,
- welche Sanierungsmaßnahmen gesetzt werden sollen,
- welche Auswirkungen das auf den Energieverbrauch und auf die CO<sub>2</sub> Emissionen hat und
- welche Kosten dabei entstehen.

Um in der Vielzahl der möglichen Lösungen, die sich aus dieser Fragestellung ergeben, die optimalen Lösungen zu finden, wurde im Rahmen des Projekts ein Optimierungstool – ECOCITIES – eingesetzt.

Das ECOCITIES Tool basiert auf einem internen Datenmodell, das sowohl primäre Energiekonsumenten wie Wohn- oder Bürogebäude, potentielle Optimierungsmaßnahmen wie Gebäudesanierung, Austausch von Heizungssystemen oder Installation von PV-Anlagen, als auch Energieversorgungsnetze in einer räumlichen Datenbank abbildet und über eine grafische Oberfläche in Form einer Karte darstellen kann (siehe Abbildung 26).

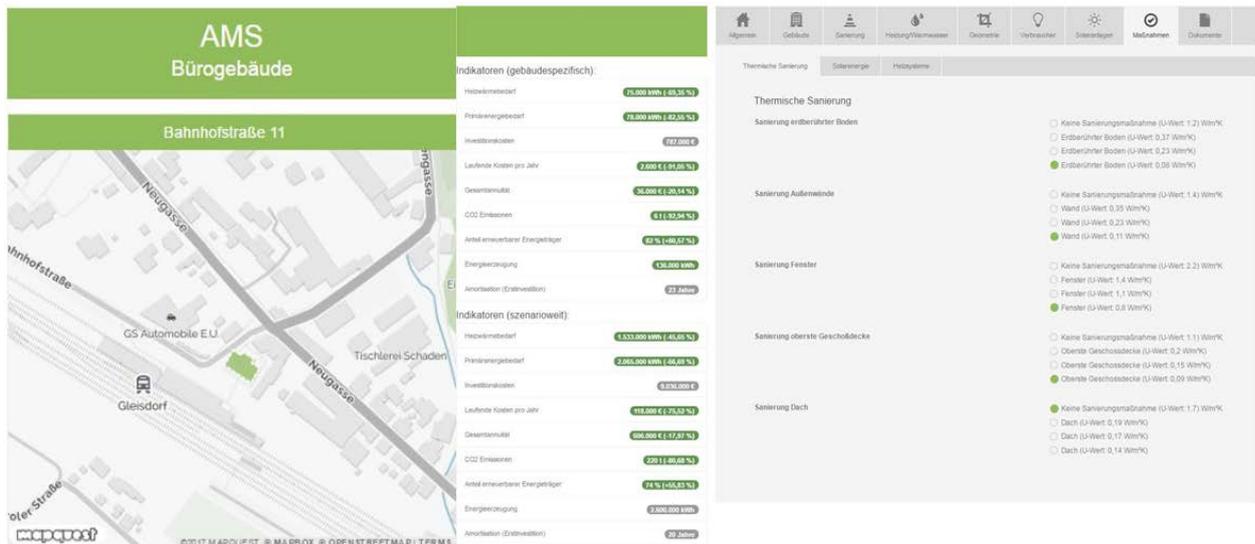


Abbildung 26: ECOCITIES Tool

Die identifizierten Datenelemente umfassen unter anderem geometrische Größen wie Bruttogeschossfläche, Volumen und Außenwandflächen sowie weitere technische Daten wie das Heizungssystem, Energieträger und U-Werte der Gebäudeelemente. Da grundsätzlich mit unvollständigen Quelldaten zu rechnen ist, werden diese gebäudespezifischen Daten durch Standards wie zum Beispiel Nutzungsprofilen aus der ÖNORM 811-5 und Referenzklimadaten ergänzt, um eine vollständige Datenbasis für die weitere Kalkulation zusammenzustellen. Darüber hinaus werden Schätzwerte und Näherungsverfahren angewandt, um weitere bestehende Lücken zu schließen. Diese Standardwerte umfassen beispielsweise Daten von Heizungssystemen, um deren Effizienz abhängig von Baujahr und Typ modellieren zu können. Damit die Berechnungslogik auf diese Daten zugreifen kann, wurden diese Daten in einer erweiterbaren Wissensdatenbank als Ontologie modelliert.

ECOCITIES umfasst verschiedene Berechnungsmethoden, um die Energiebilanz von Gebäuden sowie die Performanz von möglichen Sanierungsmaßnahmen zu ermitteln. Als Grundlage für die Identifizierung von realisierbaren Maßnahmen werden die folgenden Indikatoren berechnet:

- Heizwärmebedarf,
- Endenergiebedarf,
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß,
- Anteil erneuerbarer Energien sowie
- Sanierungs- und jährliche Energiekosten.

Nachdem technisch mögliche Maßnahmenkombinationen ermittelt wurden, werden in der Optimierungsphase diese Kombinationen an Hand dieser Indikatoren verglichen und gewichtet. Für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs ist primär die Gebäudehülle zu berücksichtigen, welche durch die Anwendung von thermischen Sanierungsmaßnahmen maßgeblich beeinflusst wird. Die Berechnung des Endenergiebedarfs schließt nun den Heizwärmebedarf, sowie weitere Energiebedarfsarten (Haushalts-/Betriebsstrom, Heizenergiebedarf, Endenergiebedarf, etc.) und die Haustechnik (d.h. verwendete Energieträger für Raumheizung und Warmwasser) mit ein. Die Kosten werden auf verschiedene Arten berechnet, um ein möglichst ganzheitliches Bild des monetären Aufwands modellieren zu können: Kosten werden zunächst in Investitionskosten und laufende Kosten unterteilt, wobei in der Optimierung die Gesamtannuität berücksichtigt wird. Dadurch können unterschiedliche Kostenaspekte wie benötigte Re-Investitionen (aufgrund der erwarteten Lebensdauer von Maßnahmen), unterschiedliche laufende Kostenposten (Energiekosten, Wartung), und die Amortisation der Investitionskosten modelliert und berechnet werden.

## 2 Ergebnisse

Die in Abschnitt 1 erläuterten Methoden wurden in Form einer durchgehenden Prozesskette implementiert und erfolgreich am Beispiel der Modellstadt Gleisdorf angewendet und

---

getestet. Keine der Methoden wurde aber speziell für diese Stadt optimiert, die Prozesskette ist für beliebige andere, auch größere, Städte anwendbar.

Die adressierten Themen und erreichten Ergebnisse betten sich auch ideal in das Programm „Stadt der Zukunft“ ein, welches folgende drei operative Ziele verfolgt:

- **Ziel 1:** Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität
- **Ziel 2:** Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz
- **Ziel 3:** Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet intelligenter Energielösungen für Gebäude und Städte

Die entwickelte Prozessierungskette dient dazu, Optimierungspotentiale zu erkennen und Städte somit energieeffizienter zu gestalten. Natürlich wird die Nutzung erneuerbarer Energieträger bei Sanierungsmaßnahmen verfolgt, auch die Energieeffizienz kann durch die ganzheitliche Betrachtung eines Stadtquartiers maßgeblich erhöht werden. Die verwendeten Methoden entsprechen dem Stand der Technik, teilweise wurden diese sogar im Laufe des Projektes publiziert, womit auch die internationale Anerkennung und Wettbewerbsfähigkeit unterstützt wird.

Im folgenden Abschnitt werden die durchgeführten Aktivitäten beschrieben und die Ergebnisse und Erkenntnisse aufgezeigt.

## **2.1.1 3D Thermalkataster und Identifikation von Critical Spots**

### **2.1.1.1. Aufnahmestrategie in der Praxis**

Die Wahl des Heißluftballons als Vehikel zur Datenaufnahme hat sich grundsätzlich bewährt, wengleich man doch relativ viele Rahmenbedingungen beachten muss. Windgeschwindigkeit und –Richtung mussten genau studiert werden, um durch Wahl eines geeigneten Startpunktes die Überfahrt der Stadt zu gewährleisten. Auch für die Thermalkamera sind die richtigen Wetterbedingungen wichtig, insbesondere eine entsprechend niedrige Außentemperatur um den Gefrierpunkt, bei welcher thermische Problemstellen deutlicher sichtbar sind. Atmosphärische Einflüsse wurden durch Wahl von stark bewölkten Tagen für die Datenaufnahme minimiert. Außerdem wurde jeweils bei Sonnenaufgang gestartet, da sich Dachflächen im Laufe des Tages je nach Material unterschiedlich erwärmen, und dieser Effekt im Nachhinein in den Daten schwierig zu korrigieren ist.

Hilfreich bei der Datenaufnahme war auch die jahrelange Erfahrung des Piloten, welcher durch geschicktes Ansteigen und Absenken des Ballons Luftströmungen in verschiedenen

---

Höhenlagen ausnutzte, um durch Richtungsänderungen das aufgenommene Gebiet zu vergrößern.

### 2.1.1.2. Datenaufnahme und Generierung des 3D Thermalkatasters

Insgesamt wurde die Stadt Gleisdorf im Projektverlauf vier Mal durch eine Befahrung mit dem Heißluftballon aus der Luft erfasst. Die erste Datenaufnahme wurde im März 2015 durchgeführt, allerdings noch ohne den automatischen Schwenkmechanismus. Dies führte dazu, dass nur ein relativ schmaler Streifen des Stadtgebietes erfasst wurde. Einen Monat später wurde deswegen das Stadtgebiet nochmal aufgenommen, dieses Mal mit Schwenkmechanismus und einem deutlich größeren resultierenden Modell, welches den Großteil der Stadt inklusive einiger umliegender Siedlungen beinhaltet.

Durch Anwendung der in Abschnitt 1.3.1 beschriebenen Prozessierungsschritte wurde ein 3D Thermalkataster erzeugt. Abbildung 27 zeigt das Ergebnis der Berechnungen – links das Orthophoto (zusammengefügt Farbbilder) im Geo-Bezug, in der Mitte den Thermalkataster und rechts einen Ausschnitt des 3D Modells. Dieses steht auch als 3D Thermalmodell zur Verfügung, die ersten beiden Bilder sind lediglich Abbildungen dieses Modells von oben. Anhand dieser Daten wurden Critical Spots identifiziert, wie in Abschnitt 1.3.2. beschrieben.

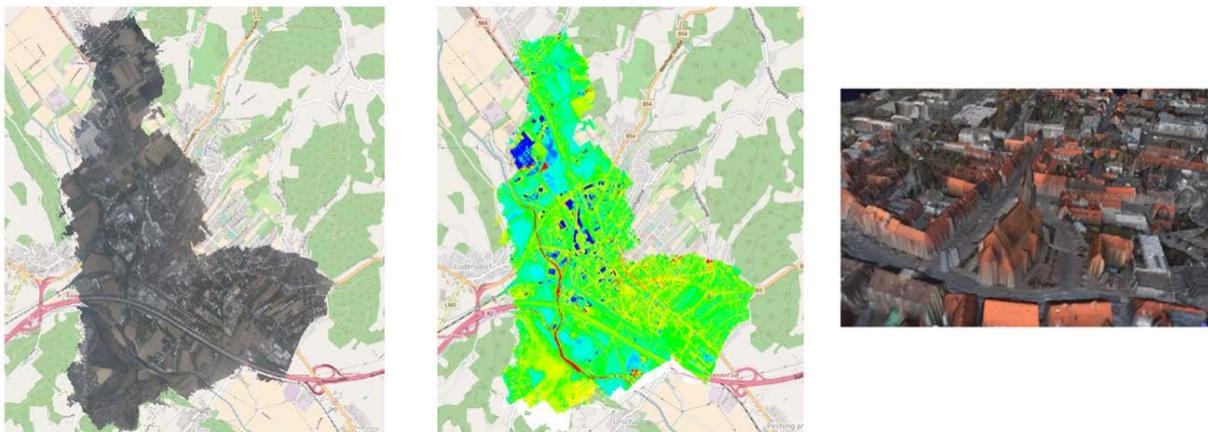


Abbildung 27: Orthophoto (links), Thermal-Orthobild (Mitte) und 3D Modell (rechts)

In den folgenden Projektjahren wurde jeweils eine weitere Datenaufnahme per Heißluftballon durchgeführt, hauptsächlich um die Ergebnisse zu verifizieren, die Reproduzierbarkeit zu prüfen und um statistische Untersuchungen anzustellen, wie z.B. den Einfluss der Außenbedingungen zu analysieren. Die Aufnahmen wurden hier aus einer etwas geringeren Flughöhe getätigt, was zwar ein kleineres Gebiet, dafür aber eine höhere Modellauflösung zur Folge hat. Diese erlaubt detailliertere Untersuchungen der Thermalwerte. Abbildung 28 zeigt die jeweils aufgenommenen Gebiete im Vergleich. In Abbildung 29 wird die verbesserte Auflösung im Thermal-Modell 2016 (rechts) gegenüber der Aufnahme 2015 (links) gezeigt. Es stellte sich allerdings heraus, dass die niedrigere Auflösung für die Grobanalyse ausreichend ist, und somit eine Befahrung wie 2015 bevorzugt wird, bei welcher ein größeres Gebiet abgedeckt werden kann.

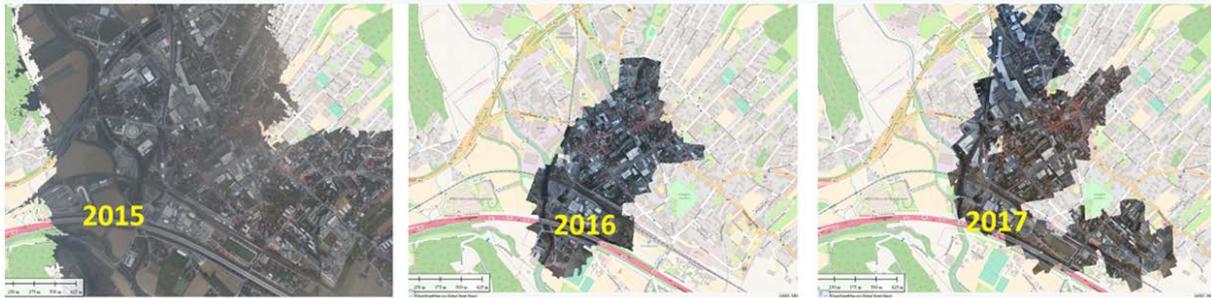


Abbildung 28: Aufgenommenes Gebiet 2015, 2016 und 2017

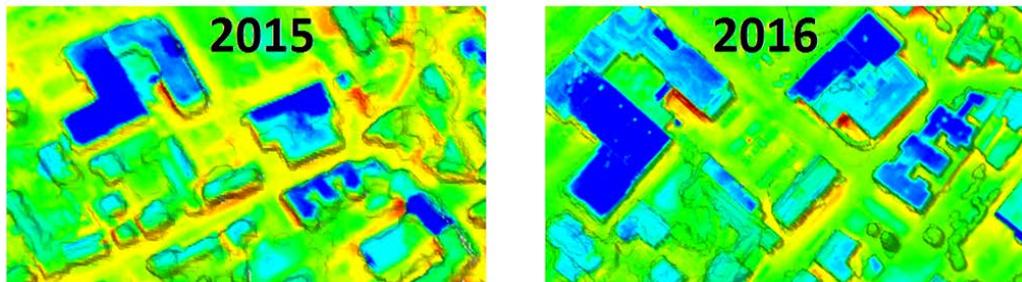


Abbildung 29: Auflösung im Thermalmodell 2015 vs. 2016

Wie in Abschnitt 2.1.1.1 dargestellt, hat sich das Konzept der Datenaufnahme mit dem Heißluftballon bewährt, allerdings ist der Erfolg stark von den Wind- und Wetterbedingungen abhängig. So muss eine gewisse Flexibilität vorausgesetzt werden, um ideale Bedingungen abwarten bzw. ausnützen zu können. Die Technologie ist aber definitiv auch für andere Fluggeräte anwendbar, vorausgesetzt dass der Sensorkopf geeignet montiert werden kann.

### 2.1.1.3. Identifikation von Critical Spots

Das Ergebnis der Critical Spots Analyse ist eine digitale Karte, die jene Gebäude ausweist, die als Critical Spots erkannt wurden. Abbildung 30 zeigt einen Ausschnitt einer solchen Karte die zwei Quartiere ausweist, die als kritisch erkannt wurden. Da die Erfassung der Critical Spots sich auf erhöhte thermische Emissionen der Dachflächen stützt, sind die ausgewiesenen Flächen nur als erste Selektion zu verstehen. Detaillierte Aussagen zur Ursache der thermischen Emission sind nur durch eine Begehung vor Ort zu treffen, wofür die Karte der Critical Spots eine wertvolle Grundlage bietet.



Abbildung 30: Karte der Critical Spots (anonymisierter Ausschnitt). Die farbigen Flächen indizieren Gebäude, die eine höhere thermische Emission aufweisen, als vergleichbare Gebäude.

Die Identifikation der Critical Spots ist eine Momentaufnahme, die die Situation am Tage der Datenerfassung beschreibt. Um sicherzustellen, dass Aufnahmen unterschiedlicher Tage zu vergleichbaren Ergebnissen führen, wurde ein Vergleich zwischen der ersten (2015) und zweiten (2016) Aufnahme von Gleisdorf durchgeführt. Der Vergleich beschränkt sich auf die thermischen Aufnahmen eines Gebietes, das bei beiden Befahrungen erfasst wurde.

Da die thermischen Aufnahmen weder kalibriert noch atmosphärisch korrigiert sind, ist ein direkter Vergleich nicht sinnvoll. Es ist davon auszugehen, dass die beiden Thermalaufnahmen einen unterschiedlichen Skalierungsbereich aufweisen. Das wird auch durch die Abbildung 30 bestätigt, die die direkte Differenz zwischen den 2016 und 2015 gemessenen Werten darstellt. Der Großteil der Abweichungen liegt im Bereich zwischen minus einem und minus fünf Grad (hellblaue und türkise Flächen). Deutlich sind allerdings einige Gebäude zu sehen (in rot, gelb und dunkelblau), die zwischen den Aufnahmen verändert wurden (Neubau, Baustelle, Abriss).

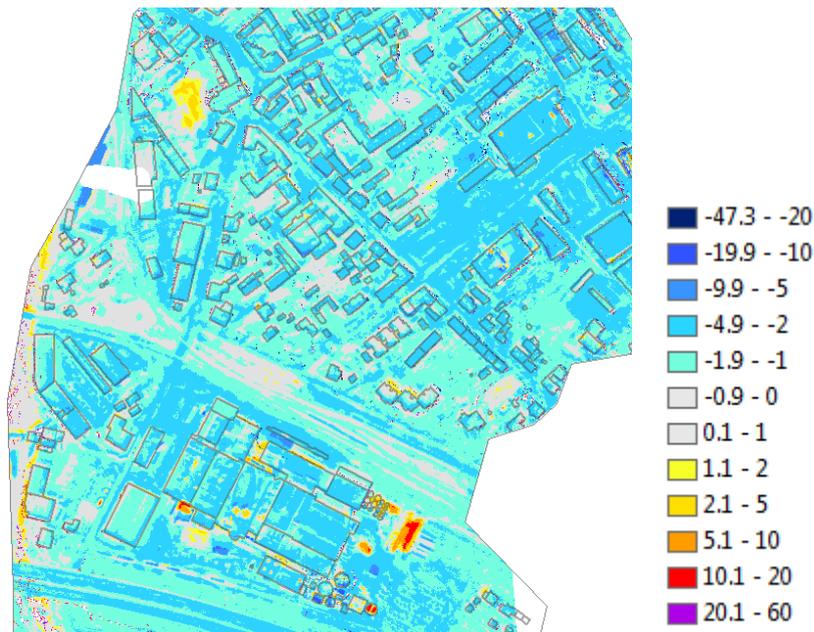


Abbildung 31: Differenz der gemessenen Thermalwerte der Befahrungen 2016 und 2015 [°C].

Um die Vergleichbarkeit zwischen den Aufnahmen herzustellen, wurden diese zunächst mit dem Gebäudeumrissen verschnitten, sodass nur die von den Dächern emittierte Strahlung berücksichtigt wird. Die Anpassung der Thermaldaten erfolgte dann über eine lineare Transformation, wobei Mittelwert und Standardabweichung der Werte von 2015 auf diejenigen von 2016 angeglichen wurden. Vergleicht man nun die Thermalstrahlung der beiden Aufnahmen, so liegt die Differenz bei den meisten Gebäude im Bereich von minus bis plus ein Grad, ist also als ident anzusehen (siehe Abbildung 32, die Gebäude in grau). Gebäude, die eine höhere Differenz aufweisen, lassen auf eine Änderung in der thermischen Emission schließen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Aufnahmen in der Morgendämmerung knapp vor Sonnenaufgang gemacht wurden und daher der Zeitpunkt datumsabhängig ist. Das könnte der Grund für unterschiedlichen Heizaktivitäten und damit für unterschiedliche Emissionen sein. Zusätzlich ist zu bemerken, dass es einen Trend zur negativen Differenz in Flugrichtung gibt (von links unten nach rechts oben), der möglicherweise auf die aufgehende Sonne zurückzuführen ist.

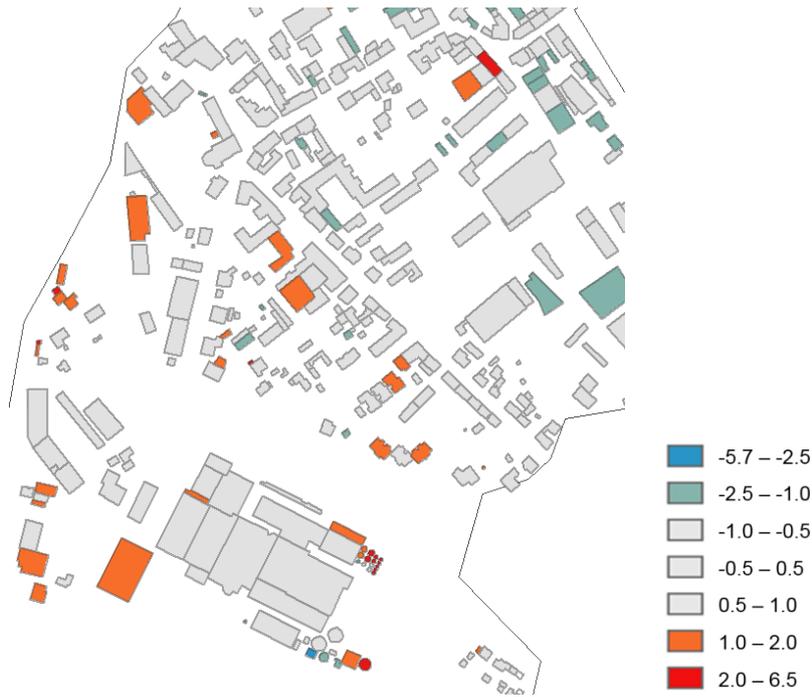


Abbildung 32: Differenz der korrigierten Thermalwerte der Befahrungen 2016 und 2015 (Gebäudemedian [°C]).

Trotz dieser externen Einflüsse können die beiden Aufnahmen als vergleichbar angesehen werden und damit sollte die Identifizierung der Critical Spots unabhängig vom Aufnahmejahr möglich sein. Eine saisonale Veränderung des Aufnahmezeitpunktes, also etwa vom Winter in den Sommer, wird allerdings nicht empfohlen, da sich dabei die Rahmenbedingungen (Heizverhalten, Außentemperatur) zu stark verändern.

## 2.1.2 Detailanalyse

Nachdem aus dem 3D Thermalkataster „Critical Spots“ abgeleitet wurden, werden diese Bereiche einer genaueren Untersuchung unterzogen. Ziel ist es, durch eine Detailbefliegung mit einem UAV (Drohne) genauere Einblicke zu gewinnen und für die Ableitung konkreter Maßnahmen relevante Informationen zu berechnen.

Im Fall der Stadt Gleisdorf wurde eines der als „Critical Spots“ identifizierten Gebiete einer solchen Detailuntersuchung unterzogen. Diese besteht einerseits aus der Erstellung präziser 3D Modelle zur genaueren thermischen Analyse und Ableitung von Geometrie-Parametern der Gebäude, sowie aus Luftgütemessungen mit dem Ziel, die durch Hausbrand entstandene NO<sub>2</sub>- oder SO<sub>2</sub>-Belastung zu reduzieren.

### 2.1.2.1. 3D Modellierung

Das Hotspots-Gebiet um den Bahnhof wurde aus etwa 75 Metern Höhe mit einem UAV aufgenommen und daraus ein hochauflösendes 3D Modell berechnet.

Abbildung 34 zeigt das aus der Drohnenbefliegung resultierende 3D Thermalmodell. Dieses steht auch in Farbe und NIR zur Verfügung.

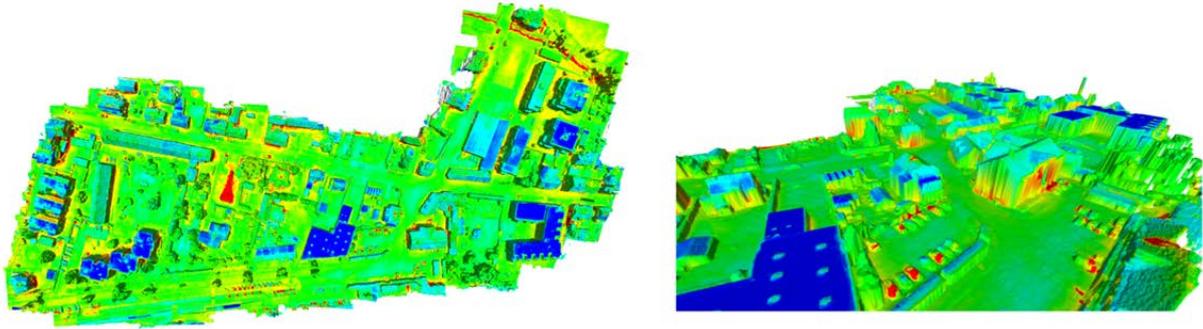


Abbildung 33: Detailliertes 3D-Thermalmodell aus Drohnenbefliegung

Zusätzlich wurde die Möglichkeit der Detailaufnahme von Einzelgebäuden evaluiert. Dies stellt die aufwändigste Form der Befliegung dar, da dutzende Bilder rund um das Gebäude aufgenommen werden müssen. Im Gegensatz zur herkömmlichen Befliegung entstehen hier aber auch detaillierte Fassadeninformationen, wie in Abbildung 33 ersichtlich. Die Darstellung in der Mitte zeigt das Modell ohne Textur und veranschaulicht, dass auch feine Strukturen wie Fenster oder Giebel modelliert werden können.



Abbildung 34: Befliegung und Modellierung eines Einzelgebäudes

### 2.1.2.2. Ableitung relevanter Gebäudeparameter

Auf Basis des Modells in Abbildung 33 wurden mit den in Abschnitt 1.3.3. beschriebenen Methoden etwa 25 Einzelgebäude extrahiert und relevante Geometrie-Parameter abgeleitet. Diese wurden mit Gebäudepolygonen aus einem GIS System überlagert, um konkrete Adressen zuweisen zu können. Die Speicherung der Daten erfolgte wieder in einem von GIS-Systemen lesbaren Format. Zu jedem resultierenden Gebäudepolygon wurden die abgeleiteten Parameter als Attribute gespeichert. Diese Attribute sind:

- Grundfläche
- Gebäudehöhe
- Höhe ohne Dach
- Gebäudevolumen
- Volumen ohne Dach
- Oberfläche
- Kompaktheit
- Kompaktheit ohne Dach

- Dachneigung
- Adresse
- Dachtyp (Flachdach oder Giebeldach)

Abbildung 35 zeigt einen Screenshot aus einem GIS System. Hier wurde eines der Gebäude (jenes aus Abbildung 34) ausgewählt um die Attribute anzuzeigen (rechts). Diese fließen dann als wichtige Information in die Ableitung konkreter Sanierungsmaßnahmen ein.

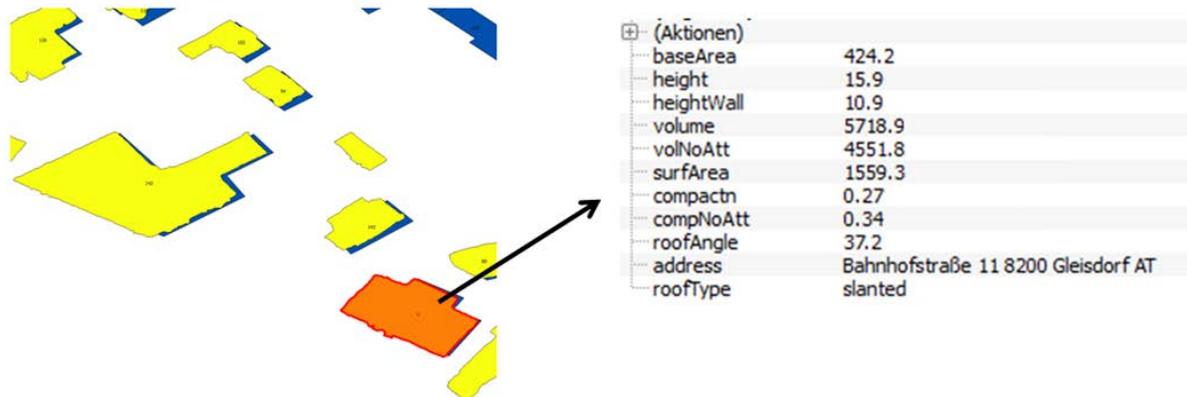


Abbildung 35: Gebäudeparameter in GIS System

### 2.1.2.1. Luftgütemessungen

Bereits bei der ersten Messung in Gleisdorf am 11.02.2016 konnten mit Hilfe einer Klassifizierung der Schadstoff- und Feinstaub-Werte (gut/mittel/schlecht) einzelne Ausreißer in der Feinstaubbelastung festgestellt werden (siehe Abbildung 36). Diese liegen im Bereich von Baustellen und sind in Bodenhöhe um einiges höher als in 25 m Höhe. Die restlichen Schadstoff-Werte waren recht niedrig und somit nicht auffällig (siehe Abbildung 37). Außerdem sind die Werte entlang von Straßen höher als in den Innenbereichen der Siedlungen, ebenso sind sie in Bodennähe höher als in 25 m Höhe. Aus den ersten durchgeführten Wintermessungen lassen sich also bereits Einflüsse von Verkehr und Baustellen erkennen. Zudem gibt es keinen relevanten Höheneinfluss bei den verschiedenen Schadstoffen (Ausnahme: Baustelle bei Feinstaub), womit der Fokus auf Messungen in Bodennähe gelegt wurde.

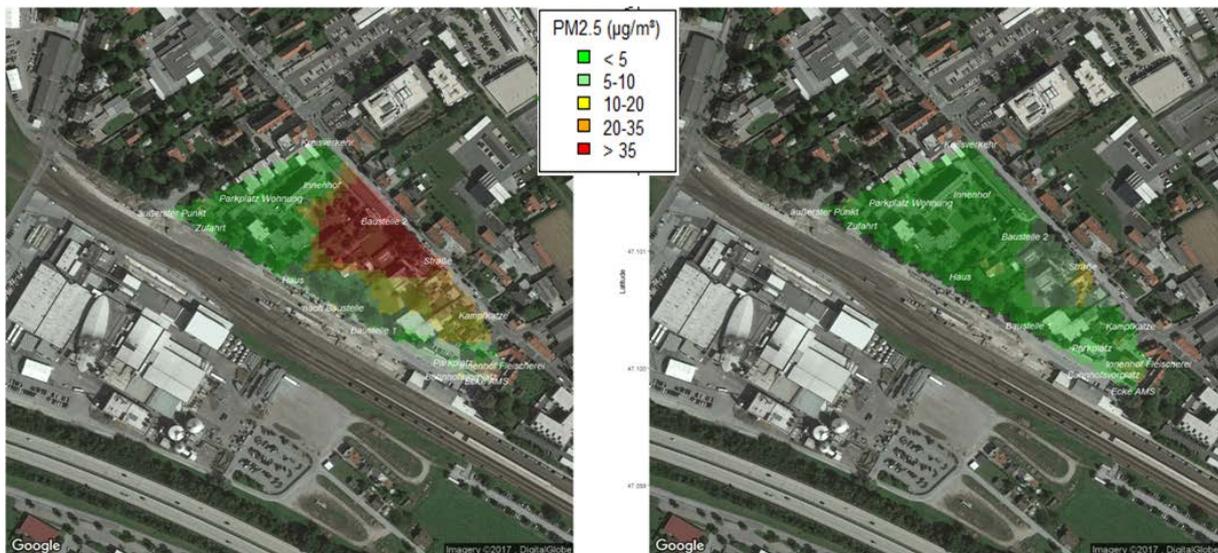


Abbildung 36: Feinstaub PM<sub>2.5</sub> in 1 m (links) bzw. 25 m (rechts) Höhe im Winter 2016

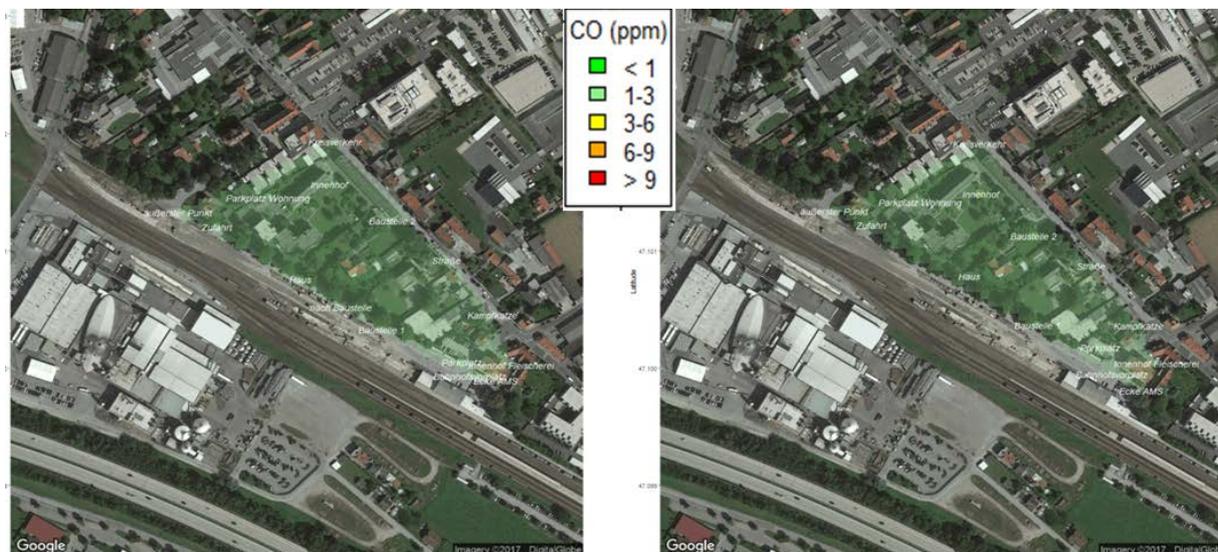


Abbildung 37: Kohlenstoffmonoxid CO in 1 m (links) bzw. 25 m (rechts) Höhe im Winter 2016

Bodennahe Schadstoff-Werte sind am wichtigsten, da diese für die Menschen bzw. deren Gesundheit am meisten relevant sind. Daher beschränkte man sich in der zweiten Messreihe, von 11. bis 12.07.2016, auf Luftgütemessungen in Bodenhöhe. Es wurde an denselben Positionen am Bahnhofsgebiet wie im Winter gemessen und zusätzlich verschiedene Messpunkte über der Stadt Gleisdorf verteilt (Rundreisen) aufgenommen. Generell waren die Werte im Sommer alle sehr niedrig. Interessante Ergebnisse lieferte die CO<sub>2</sub>-Messung. Hier erkennt man deutlich die Verkehrsbelastung in der Innenstadt, die Belastung an einem stark frequentierten Parkplatz („Dieselkino“) sowie die sehr niedrigen Werte in den Grün-Gebieten außerhalb der Stadt (siehe Abbildung 38). Im Vergleich zur Wintermessung sind die Werte im Sommer niedriger als im Winter, was eventuell auf Hausbrand zurückzuführen ist. Auffallend waren noch die NO<sub>2</sub>-Werte. Diese sind im Sommer um einiges höher als im Winter (siehe Abbildung 39). Hierbei ist anzumerken, dass die

Abhängigkeit der Umwandlung (Oxidation) von NO in NO<sub>2</sub> von der Ozonkonzentration dazu führt, dass das NO<sub>2</sub>-Verhältnis im Sommer höher ist als im Winter<sup>1</sup>.

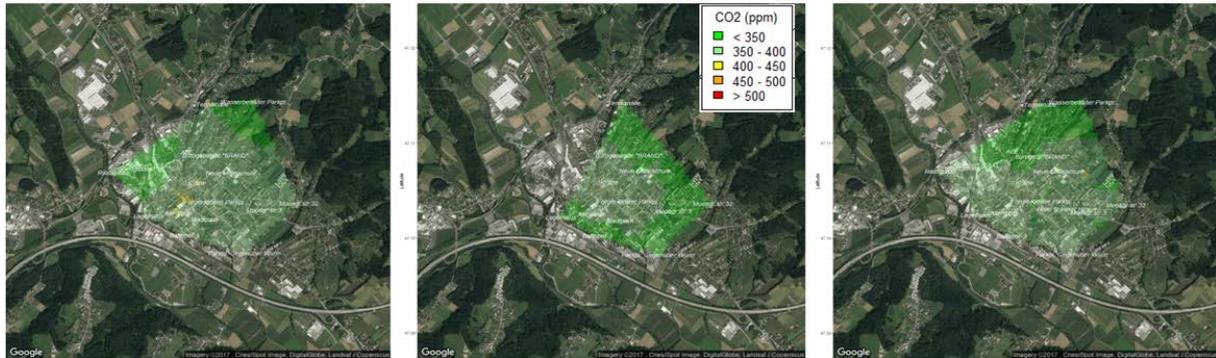


Abbildung 38: CO<sub>2</sub>-Belastung im Sommer 2016 (Vormittag – Mittag - Nachmittag)

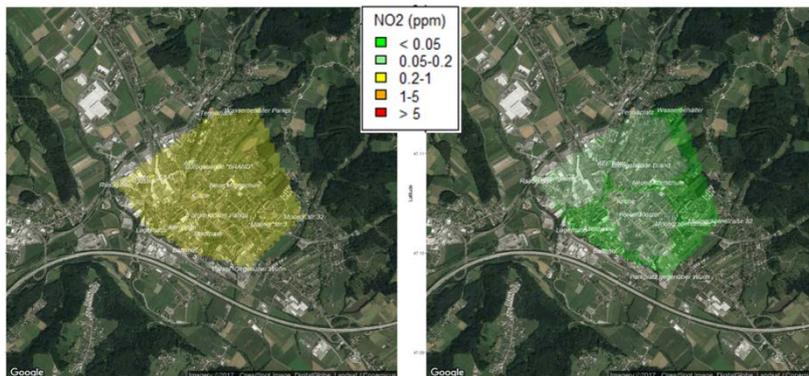


Abbildung 39: NO<sub>2</sub>-Belastung im Sommer 2016 und Winter 2017 (Vormittag)

Damit der Einfluss der Heizsaison nochmals genauer untersucht und ein Vergleich zu den Flächenmessungen im Sommer dargestellt werden konnte, wurde eine zusätzliche Messung im Winter durchgeführt, bei der die Messpositionen auf das gesamte Stadtgebiet von Gleisdorf ausgeweitet wurden. Für die weitere Wintermessung (27.-28.02.2017) wurde für den „Waspote“ ein Datenlogger entwickelt, mit dem unbeaufsichtigte Langzeitmessungen durchgeführt werden können. Zusätzlich wurde das Problem von Messausfällen aufgrund von zu niedrigen Temperaturen durch eine ausgefüllte Styroporbox gelöst, in welcher das Messgerät nicht so schnell abkühlt. Um auch Aussagen über die einzelnen Luftschichten tätigen zu können, wurden bei dieser Messreihe neben der zweimaligen Runde durch Gleisdorf auch Messungen am Kirchturm und in verschiedenen Etagen der Neuen Mittelschule (NMS) Gleisdorf durchgeführt. Während der Messung am Kirchturm kam es aber leider zu einer Störung des Gerätes, sodass keine Daten aufgezeichnet wurden. Allerdings konnte sowieso nur im Innenbereich des Turms gemessen werden, somit wären diese Daten ohnehin wenig aussagekräftig gewesen. Die Höhenmessungen in der NMS

---

<sup>1</sup> Die Luftgüte- und Feinstaubsituation in Österreich: <https://www.staedtebund.gv.at/gemeindezeitung/oegz-beitraege/oegz-beitraege-details/artikel/die-luftguete-und-feinstaubsituation-in-oesterreich.html> [Stand: 24.05.2017]

---

ließen keine Rückschlüsse auf den Einfluss der Höhe zu. Als Erkenntnis, welche sich durch Evaluierungen ergeben hat, konnte festgestellt werden, dass der NO<sub>2</sub>- und der SO<sub>2</sub>-Sensor eine gewisse Start-up Phase (bis zu 1 Stunde) brauchen. Diese Anlaufzeit musste sowohl bei den Messungen als auch den Auswertungen berücksichtigt werden.

Im Vergleich zu den Sommermessungen 2016 können für die Wintermessungen 2017 dieselben Aussagen wie bereits im vorigen Vergleich (Winter 2016 und Sommer 2016) getroffen werden. Lediglich beim Feinstaub gab es diesmal keine Auffälligkeiten. So sind die Feinstaubbelastungen im Winter ähnlich wie bei den Sommermessungen und liegen alle im grünen Bereich. Daraus kann man folgern, dass die erhöhten Werte im Bahnhofsviertel im Winter 2016 tatsächlich nur auf den Einfluss der damaligen Baustelle zurückzuführen sind. Somit erweist sich diese Messmethode als ordnungsgemäß.

Am 14.03.2017 wurde neben der Thermalkamera auch der Luftgütesensor bei der Ballonfahrt über Gleisdorf mitgeführt. Die Auswertung dieser Daten zeigte keine ersichtliche Abhängigkeit von der Höhe. Lediglich beim Aufsteigen gab es das ein oder andere Mal erhöhte Werte, was aber eher auf das Heizen im Ballon zurückzuführen ist (siehe Abbildung 40). Daher spezialisierte man sich aufgrund des fehlenden Höheneinflusses eher auf Bodenmessungen, wie auch bereits oben angesprochen. In Zukunft kann also grundsätzlich auf Höhenmessungen verzichtet werden, um den Aufwand für die Schadstoffanalyse überschaubar zu halten.

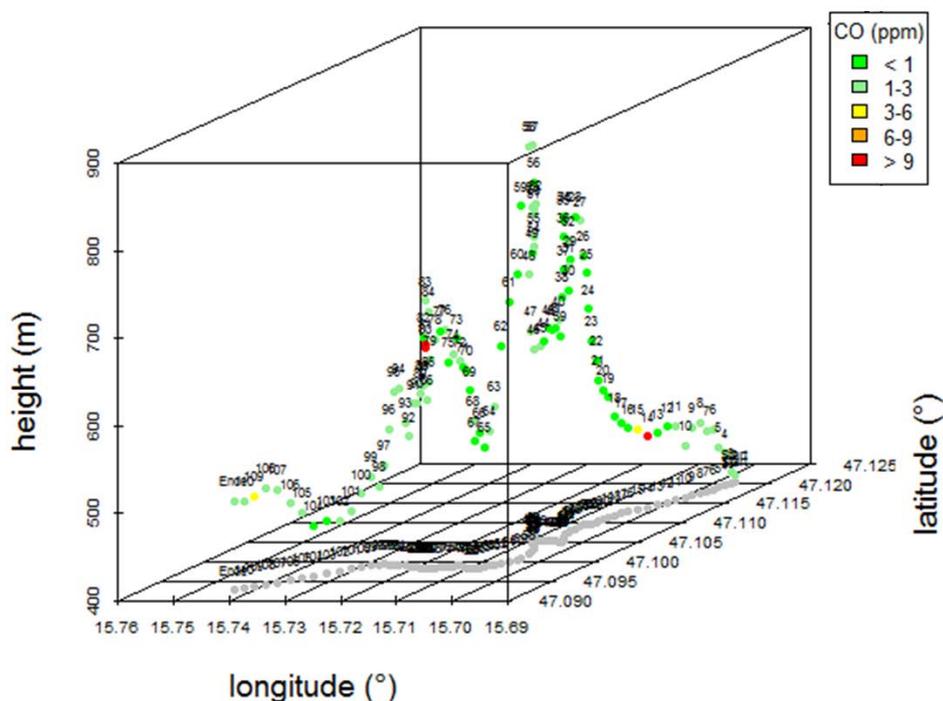


Abbildung 40: CO-Werte während der Ballonfahrt

Generell lassen sich anhand der Luftgütwerte alleine keine Critical Spots ableiten. Die Luftgütemessungen können allerdings mit Sanierungs-Vorschlägen verknüpft werden und stellen beispielsweise Einschränkungen dar, wie z.B. „Biomasse wegen bereits hoher Schadstoffwerte nicht möglich“.

### 2.1.3 Szenarien und Maßnahmen

Die für die 35 ausgewählten Gebäude relevanten Daten aus den Befliegungen sowie aus weiteren Quellen wurden aufbereitet und in einer für das ECOCITIES Tool automatisch lesbaren Form in einer Tabelle zusammengeführt. Die Tabelle wurde in das ECOCITIES Tool eingespielt und die richtige Übernahme der Daten mittels etlicher Stichproben kontrolliert. Anschließend wurde eine „Automatische Optimierung“, zu Beginn mit noch allen Freiheitsgraden hinsichtlich der möglichen Maßnahmen durchgeführt (ob, und in welchem Ausmaß unterschiedliche Maßnahmen vom Tool ausgewählt und berechnet werden können). Aus der Vielzahl des berechneten Szenarien-Pools wurden zwei ausgewählt (geringste Kosten sowie höchste Einsparungen) und an AEE INTEC übermittelt. Eine Vor-Ort Begehung durch AEE INTEC brachte wesentliche Informationen hinsichtlich des Status-Quo der betrachteten Gebäude ein. So wurden bereits vorhandene Solarthermie- oder Photovoltaikanlagen oder für solche Anlagen aufgrund der Ausrichtung und Lage des Daches (z.B. Verschattung) nur geringfügig geeignete Flächen, der bereits erfolgte Tausch von Fenstern, sowie erhaltungswürdige/geschützte bauliche Strukturen erkannt. Anhand dieser zusätzlichen Informationen wurden die entsprechenden Input-Daten adaptiert und zusätzlich die Freiheitsgrade bei der Simulation eingeschränkt. So konnte festgelegt werden, welche Elemente zwingend beibehalten, zwingend ersetzt (z.B. Tausch alter und ineffizienter Kohle/Öl/Gaskessel) oder der automatischen Optimierung überlassen werden.

Bei der anschließend erneut durchgeführten „Automatischen Optimierung“ schnitten mehrere Szenarien relativ ähnlich ab, weshalb in den Entscheidungsprozess wesentliche Kontextinformationen mit einbezogen wurden, die naturgemäß durch ein Simulationstool nicht ausreichend bis gar nicht quantifizierbar sind:

- Szenario 1: Versorgung großteils durch Fernwärme  
Für dieses Szenario sprechen unter anderem die Nutzung des bereits vorhandenen Netzes, sowie große Synergieeffekte bei gleichzeitigem Anschluss mehrerer Gebäude (Planbarkeit, Dimensionierung, erhöhte Leistungsdichte, verringertes Ausmaß der notwendigen Bauarbeiten, etc.)
  - Szenario 2: Versorgung großteils durch dezentrale Biomasse-Kessel  
Durch das bereits vorhandene Fernwärme-Netz mit einem Brennstoffeinsatz von ca. 85% Biomasse erscheint dieses Szenario nur geringfügig sinnvoll. Es ergäbe sich in einigen Gebäuden ein zusätzlicher Platzbedarf für Warmwasserspeicher/Lager. Um Feinstaub in der Stadtumgebung weitestgehend vorzubeugen, fällt eine zentralisierte effiziente Verbrennung mit den entsprechenden Filteranlagen unter Einsatz regionaler Biomasse günstiger aus.
  - Szenario 3: Versorgung großteils durch Wärmepumpen  
Das Szenario bietet eine gute Alternative, setzt jedoch eine hohe Qualität der Sanierungen und den Einsatz von Flächenheizungen (z.B. Fußbodenheizung) voraus und ist demnach nur in wenigen ausgewählten Gebäuden sinnvoll umsetzbar. Die besondere Stärke von Wärmepumpen liegt insbesondere in der Versorgung von Neubauten.
-

Als Vorschlag wurde somit ein spezifisches Fernwärme Szenario gerechnet, das die dazu passenden Sanierungsmaßnahmen (Gebäudehülle) bei den einzelnen Gebäuden berücksichtigt und so die relevanten Kennwerte liefert.

Aus dem solcherart ermittelten Szenario wurde als Vorschlag ein Set von Maßnahmen ausgewählt, das in Relation zu den Kosten

- ein besonders hohes Maß an eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen (-80%),
- einen stark verminderten Heizwärmebedarf (-48%), Primärenergiebedarf (-65%),
- Reduktion der laufenden Kosten (-66%) sowie
- einen hohen Anteil erneuerbarer Energieträger (85%)

verspricht.

#### 2.1.4 Effektivmaßnahmenkatalog

Auf Grundlage der Kriterienkataloge und den Auswertungsergebnissen des Decision Support Instruments – ECOCITIES wurden Effektivmaßnahmenkataloge für das Bahnhofsquartier erarbeitet. Kriterien die ein hohes Potential zur Sanierung ausweisen werden automatisiert erfasst und Maßnahmen abgeleitet. Die Maßnahmen beinhalten neben einer textlichen Beschreibung auch Kostenkennwerte der einzelnen Maßnahmen die mit dem ECOCITIES Tool abgestimmt wurden. Dabei werden die Einheitspreise der Einzelmaßnahmen mit der Flächenauswertung - Datengrundlage (z.B. Fassadenfläche, Dachfläche, Fensterfläche, etc.) verknüpft. In einem weiteren Schritt wurden die vorgeschlagenen Maßnahmen in einer Vor-Ort-Begehung überprüft und an die tatsächlichen Gegebenheiten bei Bedarf angepasst.

Abbildungen 41 bis 45 zeigen den Prozess der Ableitung von Effektivmaßnahmen und deren räumliche Verortung.

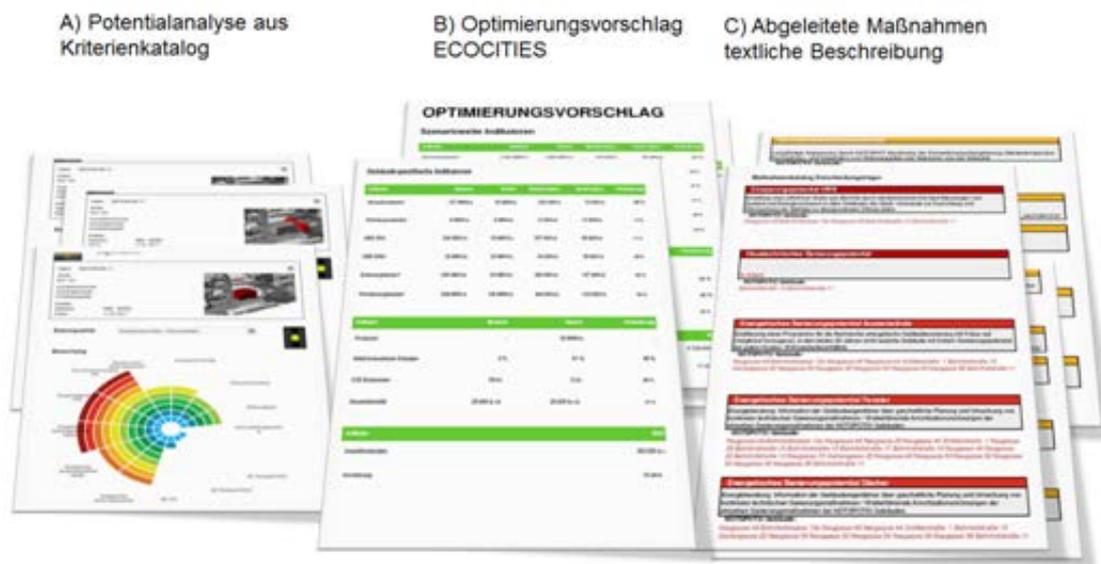


Abbildung 41: Zusammenführung Kriterienkatalog, Decision Support Tool und technische Maßnahmen zu einem Effektivmaßnahmenkatalog

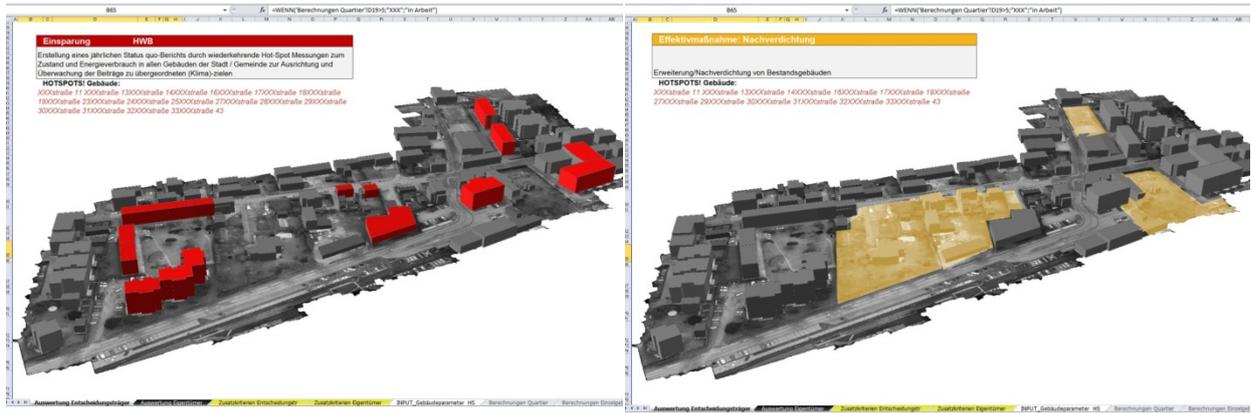


Abbildung 42: Effektivmaßnahmen (Beispiel: Einsparung HWB, Nachverdichtungspotential) mit räumlicher Verortung der betroffenen Gebäude für das „HOTSPOTS-Zielgebiet“ - Bahnhofsquartier Gleisdorf (aus Datenschutzgründen anonymisierte Darstellung)

B65      =WENN("Berechnungen QuartierID19-5;"XXX";"In Arbeit")

Maßnahmenkatalog Eigentümer		Energetisches Sanierungspotential Dächer		LBI Luftdichte CO2	
<b>Einsparungspotential HWB</b>		keine Maßnahmen notwendig		keine Maßnahmen notwendig	
<b>Energetisches Sanierungspotential Aussenwände</b>		keine Maßnahmen notwendig		keine Maßnahmen notwendig	
keine Maßnahmen notwendig		<b>Kosten der Maßnahme (Fenstertausch-Kunststofffenster):</b> Gemittelte Gesamtkosten aktuelles Gebäude: 38.337 € Minimumkosten für gesamte Dachfläche: 61.929 €		<b>Haustechnisches Sanierungspotential</b> geeignete passive Kühlsystem Alternativprüfung für das	
<b>Energetisches Sanierungspotential Fenster</b>		<b>Solarpotential (gebäudeintegriert)</b> Erschließung des Solarthermie- und Photovoltaikpotentials in hohem Maße möglich. Eine Photovoltaik (PV) Anlage wandelt Sonnenstrahlung in Elektrizität um. Der produzierte Strom kann im Gebäude selbst genutzt, in Speichersystem zwischengespeichert oder ins Versorgungsnetz eingespeist werden. Die Anlage kann auf das Dach aufgesetzt oder in den Dachaufbau integriert werden. Auch eine Montage an der Fassade ist denkbar. Eine thermische Solaranlage zur solaren Warmwasserbereitung nutzt die Sonnenstrahlung zur Erwärmung von Wasser in Kollektoren. Die Kollektoren werden in der Regel auf einem nach Süden orientierten Dach montiert, um ein Maximum an Solarstrahlung nutzbar zu machen. Alternativ können diese auch in die Fassade integriert werden. Solarthermische Anlagen werden in Deutschland nur in Kombination mit anderen Heizkesseln eingesetzt, mit dem Ziel den Brennstoffbedarf zu reduzieren. So können rund zwei Drittel des jährlichen Warmwasserwärmebedarfs abgedeckt werden. <b>Kosten der Maßnahme (Fenstertausch-Kunststofffenster):</b> thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung: min.: 11,00 EUR/m <sup>2</sup> WIL, max.: 19,00 EUR/m <sup>2</sup> WIL thermische Solaranlage zur Heizungsunterstützung: min.: 15,00 EUR/m <sup>2</sup> WIL, max.: 25,00 EUR/m <sup>2</sup> WIL PV Anlage: min.: 1.500,00 EUR/Wp, max.: 2.500,00 EUR/Wp <b>Gemittelte Gesamtkosten aktuelles Gebäude:</b> thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung: 5.190 €      8.965 € thermische Solaranlage zur Heizungsunterstützung: 7.078 €      11.796 €		<b>Fernwärmeanschluss</b> Prüfung einer Fernwärmanlage	
In den vergangenen Jahren wurden die Dämmeigenschaften von Fenstern mit großem Erfolg weiterentwickelt. Moderne Fenster haben eine dreifache Verglasung und einen Rahmenaufbau, der auch in diesem Bereich für eine hocheffektive Dämmung sorgt. Beides zusammen ermöglicht Spitzendämmwerte von weit unter 1,0 W/m <sup>2</sup> K (U-Wert). Wenn jedoch nur die Fenster getauscht werden sollen und keine weiteren Maßnahmen zur Dämmung geplant sind, ist es nicht sinnvoll, bei der Wahl der Fenster Maximalwerte ins Auge zu fassen. Damit keine Wärmebrücken oder durchlässige Stellen entstehen, sollten die Fenster so eingebaut werden, dass sie in die bestehende Dämmung integriert werden. Eine sorgfältige Planung und eine gute Abstimmung mit dem Handwerkbetrieb ermöglichen eine zügige Durchführung des Einbaus. Die Beeinträchtigungen während der Bauzeit sind äußerst gering. Der Einbau neuer Fenster steigert den allgemeinen Wohnkomfort aus mehreren Gründen erheblich: – Die Behaglichkeit wird spürbar erhöht, weil die Fensterinnenseite wärmer ist und somit nahezu keine „Kälte“ mehr abstrahlt – Zugluft wird stark gemindert, da die Fenster dicht schließen. – Durch moderne Wärmeschutzverglasung wird auch der Schallschutz verbessert. – Der Fenstertausch kann gleichzeitig auch zur Verbesserung ihrer Sicherheit gegen Einbruch genutzt werden. Mindestanforderung nach ÖIB RLS: U = 1,40 W/m <sup>2</sup> K Förderungsbedingung: Land Steiermark - Programm Kleine Sanierung		<b>Nachverdichtungspotential</b> Erweiterung/Nachverdichtung von Bestandsgebäuden in hohem Maße möglich <b>Kosten der Maßnahme (Aufstockung):</b> Minimumkosten 1800,00 EUR/m <sup>2</sup> Maximumkosten 2500,00 EUR/m <sup>2</sup> <b>Gemittelte Gesamtkosten - Aufstockung eines Geschoßes für aktuelles Gebäude:</b> Minimumkosten für gesamte Dachfläche: 530.818 € Maximumkosten für gesamte Dachfläche: 737.248 €			
<b>Kosten der Maßnahme (Fenstertausch-Kunststofffenster):</b> Minimumkosten 290,00 EUR/m <sup>2</sup> Maximumkosten 490,00 EUR/m <sup>2</sup> <b>Gemittelte Gesamtkosten aktuelles Gebäude:</b> Minimumkosten für Fenstertausch Gebäude bei 30%Fensterflächenanteil: 55.022 € Maximumkosten für Fenstertausch Gebäude bei 30%Fensterflächenanteil: 92.968 €					

Auswertung Entscheidungsträger    Auswertung Eigentümer    Zusatzkriterien Entscheidungsträger    Zusatzkriterien Eigentümer    INPUT\_Gebäudeparameter HS    Berechnungen Quartier    Berechnungen Einzelgel

Abbildung 43: Auswertungsformular des Effektivmaßnahmenkatalogs

# Hotspots Übersicht Kosten / CO2 Einsparung:

## Szenario - geringe Investkosten

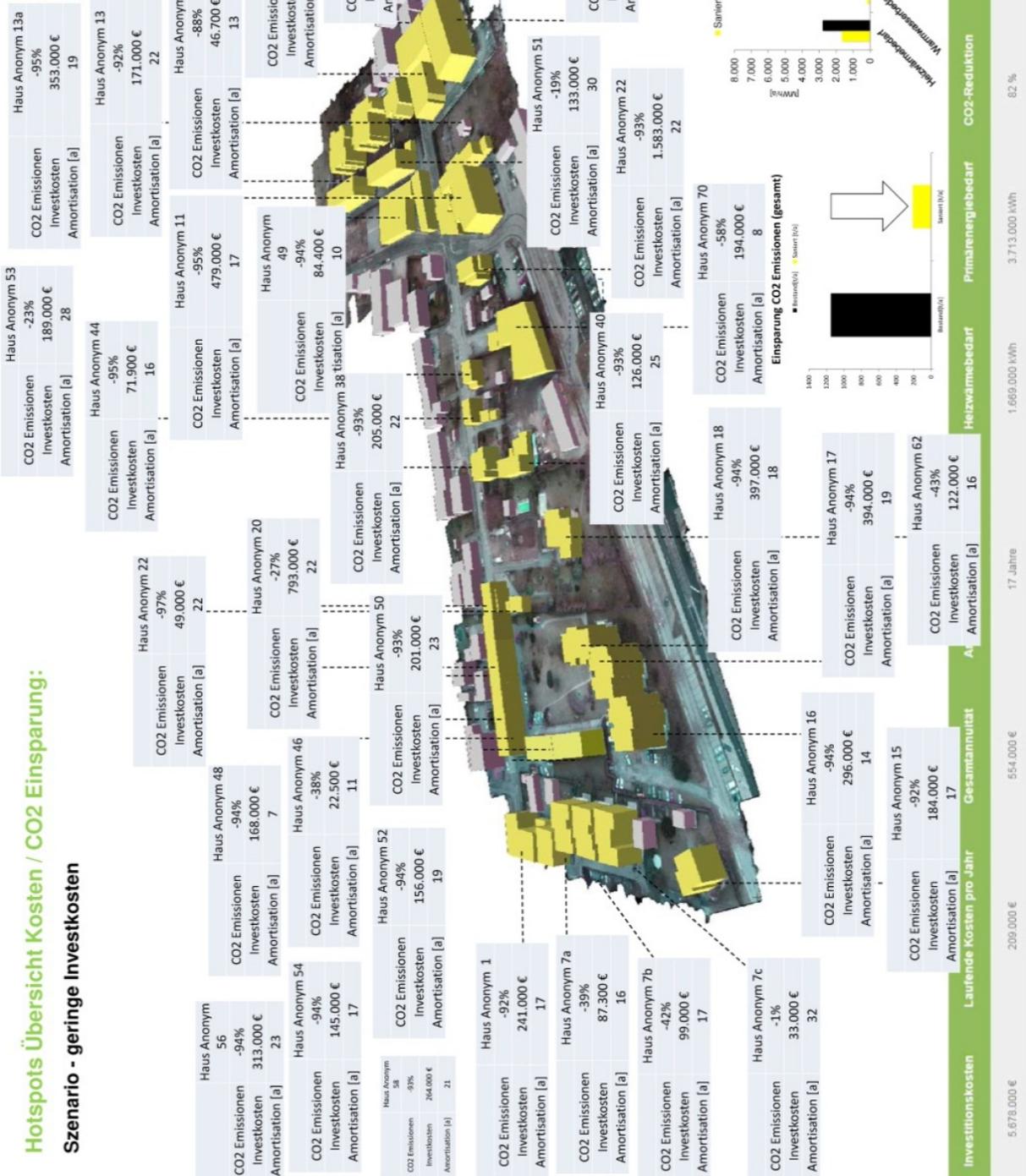
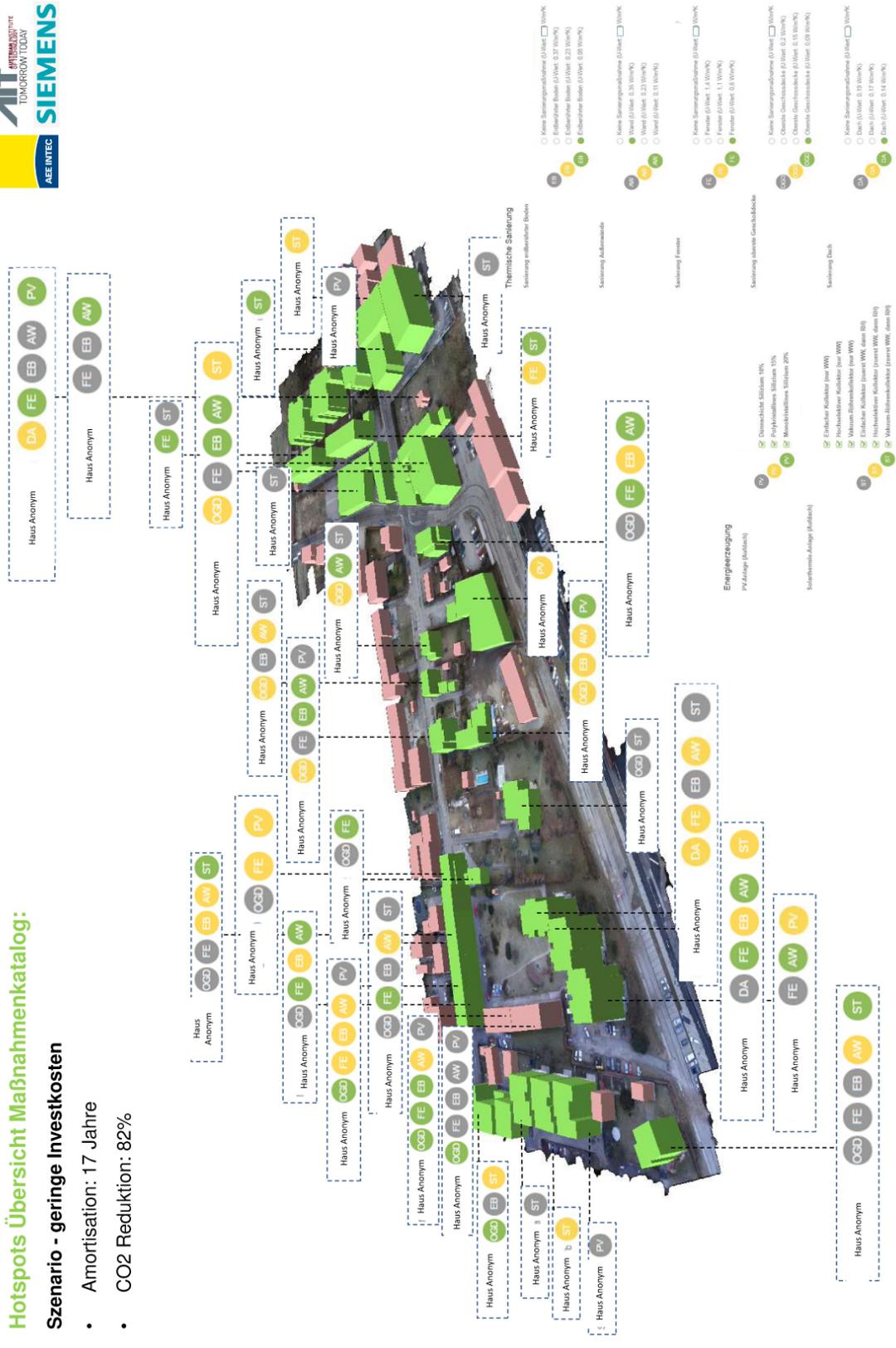


Abbildung 44: Räumliche Verortung der Investitionskosten, CO2 Einsparungen und Amortisationskosten aus dem Maßnahmenkatalog und den Optimierungen des Decision Support Tools

### Hotspots Übersicht Maßnahmenkatalog:

#### Szenario - geringe Investkosten

- Amortisation: 17 Jahre
- CO2 Reduktion: 82%



Bildquelle: Tobias Weiß – AEE INTEC

Investitionskosten	Laufende Kosten pro Jahr	Gesamtnnuität	Amortisation (Erstinvestition)	Heizwärmebedarf	Primärenergiebedarf	CO2-Reduktion	Anteil erneuerbarer Energien
5.676.000 €	209.000 €	554.000 €	17 Jahre	1.669.000 kWh	3.713.000 kWh	82 %	82 %

Abbildung 45: Räumliche Verortung der Effektivmaßnahmen und Optimierungen aus dem Decision Support Tool

Folgende Hauptkriterien und Ziele wurden für die Effektivmaßnahmenkataloge **"Entscheidungsträger Stadt"** und **"Eigentümer Gebäude"** gemeinsam erarbeitet und definiert, welche in detaillierterer Form im Maßnahmenkatalog abgebildet wurden:

---

## Grundlage für Effektivmaßnahmenkatalog I:

### „Entscheidungsträger Stadt“

#### (A) Entscheidungshilfe (Ergebnisse aus automatisiertem Decision Support Tool)<sup>2</sup>:

- Vorschläge in Bezug auf die thermische Sanierung, Energieproduktion (PV und Solarthermie) und Heizungsmodernisierung
- Quartierssanierungsvorschläge basierend auf den definierten Energieeffizienzzielen (CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion, Budgetbeschränkungen und Anteil der erneuerbaren Energien).
- Strategien, zur Zielerreichung für spezifische Gebäudegruppe zu übergeordneten (Klima)-zielen
- Aufzeigen von alternativen Energieträgern für Gebäudegruppen
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen: Break-even, reduzierte Energiekosten, Amortisationszeiten für die Sanierungsszenarien

#### (B) Maßnahmen:

- ⇒ Erstellung eines jährlichen Status quo-Berichts durch wiederkehrende Hot-Spot Messungen zum Zustand und Energieverbrauch in allen Gebäuden der Stadt / Gemeinde zur Ausrichtung und Überwachung der Beiträge zu übergeordneten (Klima)-zielen
- ⇒ Bewusstseinsbildung/ Motivation bei planenden & finanzierenden Institutionen / Personen; Entwicklung entsprechender Kommunikations- und Informationstools zur verbreitung der Informationen
- ⇒ Förderung / nicht-monetäre Anreize von innovativen Demonstrationsprojekten von privaten Bauträgern und / oder Betrieben im Hot-Spot Gebiet
- ⇒ Bevorzugung der HOTSPOT Gebiete bei der zukünftigen Ausstattung der Haushalte mit intelligenten Zählern (smart metering)
- ⇒ Sukzessive Schaffung attraktiver Aufenthalts- und Bewegungsräume im Zuge von Nachverdichtungsszenarien (auch im dicht bebauten Gebiet)
- ⇒ Erweiterung des öffentlich einsehbaren Solarpotenzialkatasters um 3D Informationen aus „HOTSPOTS“
- ⇒ Etablierung eines Programms für die thermische-energetische Gebäudesanierung mit Fokus auf (möglichst homogene), in den letzten 20 Jahren nicht sanierte Gebäude mit hohem Sanierungspotenzial bei gutem Kosten- Wirksamkeitsverhältnis
- ⇒ Einführung eines Energieausweises für Siedlungen und Stadtentwicklungsgebiete
- ⇒ Aufwertung des öffentlichen Raumes (z.B. Aufenthaltszonen für Erholung und soziale Kontakte; Sichtbarmachung der Energiegewinnung; Pflanzen etc.)
- ⇒ Gezielter Rückbau bei Leerständen, schlechter Bausubstanz etc. und Nachverdichtungspotential
- ⇒ Langfristige Erreichung der Energiepolitischen Ziele durch mögliches HOTSPOT Monitoring

---

<sup>2</sup> ECOCITIES <https://www.xylem-technologies.com/de/portfolio/ecocities-building-portfolio-management-software-for-energy-efficiency/>

---

## Grundlage für Effektivmaßnahmenkatalog II:

### „Eigentümer Gebäude“

#### (A) Entscheidungshilfe (Ergebnisse aus automatisiertem Decision Support Tool):

- Vorschläge in Bezug auf die thermische Sanierung, Energieproduktion (PV und Solarthermie) und Heizungsmodernisierung
- Abgestimmte Sanierungsszenarien unter Berücksichtigung von Investitionskosten, (ii) laufende Energiekosten, (iii) CO<sub>2</sub>-Emissionen, (iv) Anteil der erneuerbaren Energien, (v) Wärmebedarf, und (vi) Primärenergiebedarf
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen: Break-even, reduzierte Energiekosten, Amortisationszeiten für die Sanierungsszenarien

#### (B) Maßnahmen:

- ⇒ Vorschläge zur weiteren Umsetzung von konkreten vorgeschlagenen technischen Sanierungsmaßnahmen
  - PV Anlage
  - Solarthermie-Anlage
  - Sanierung erdberührter Boden
  - Sanierung Fenster
  - Sanierung oberste Geschoßdecke
  - Sanierung Dach
  - Haustechnische Erneuerung (Heizung, Lüftung Warmwasseraufbereitung, Kühlungsmaßnahmen, geeignete passive Kühlsysteme, aktive Kühlung, Beleuchtung, Wasser/Abwasser)
- ⇒ Alternativenprüfung für das passende Energiebereitstellungssystem
- ⇒ Weiterführende Amortisationsrechnungen der einzelnen Sanierungsmaßnahmen / Lebenszykluskostenanalyse
- ⇒ Erweiterung/Nachverdichtung von Bestandsgebäuden
- ⇒ Erschließung des Solarthermie- und Photovoltaikpotentials

## 3 Schlussfolgerungen

### 3.1. Erkenntnisse für das Projektteam

Das Projekt ist durchaus als Erfolg zu bewerten. Die entwickelte Verfahrenskette wurde an realen Gegebenheiten getestet und die Ergebnisse erfolgreich validiert. Sanierungsbedürftige Gebiete („Critical Spots“) wurden identifiziert und sinnvolle Sanierungsmaßnahmen abgeleitet. Sowohl während der Projektlaufzeit als auch rückwirkend gab es einige Erkenntnisse hinsichtlich der verwendeten Methoden und Ergebnisse, welche im Folgenden aufgelistet sind:

- Die Technologie kann Hinweise auf Critical Spots liefern, was auch verifiziert wurde. Trotzdem ist es wichtig, dass Fachleute dann eine Begehung der identifizierten Gebiete vornehmen, da dieses Fachwissen nicht vollständig durch die Technologie ersetzt werden soll bzw. kann.
  - Es gibt einige Einschränkungen hinsichtlich der Datenaufnahme, welche unbedingt beachtet werden müssen. Dazu zählen die Außentemperatur (idealerweise um den Gefrierpunkt), der Wind (nicht zu stark, Richtung beachten) und der Bewölkungsgrad (idealerweise bedeckt, um atmosphärische Einflüsse in den Thermalbildern zu reduzieren). Durch geschickte Wahl des Zeitpunktes der Befliegung stellt das zwar kein großes Problem dar, ein besser steuerbares Fluggerät (z.B. Helikopter) statt dem Heißluftballon würde aber zumindest die Anforderungen an den Wind deutlich verringern (wenn auch zu höheren Kosten).
  - Der abgeleitete 3D Thermalkataster zeigt immer nur eine Momentaufnahme. Für klarere Aussagen, sowie um temporäre Effekte zu eliminieren, sind mehrere Befliegungen notwendig.
  - Die Verwendung der Drohne für die Detailanalyse hat sich durchaus bewährt. Hier sind aber immer auch die rechtlichen Rahmenbedingungen zu betrachten. Im Projekt HOTSPOTS gab es zum Beispiel ein Limit von 5 kg für die Payload der Drohne, was eine gewisse Einschränkung bei der Auswahl der Sensorik (speziell für Luftgütemessung) darstellte.
  - Positiv wurde das Zusammenspiel der Simulationsergebnisse und der Fachleute beurteilt. Erkenntnisse der Fachleute fließen wieder in das Simulationstool ein, es entsteht eine Feedbackschleife. Eine vollautomatische Ableitung von Sanierungsmaßnahmen ohne Einsatz von Fach- und Hintergrundwissen kann gar nicht das Ziel sein, es handelt sich um eine unterstützende Technologie.
  - Bezüglich der Luftgütemessungen hat sich herausgestellt, dass man eigentlich an mehreren Orten gleichzeitig messen müsste. Andernfalls beeinträchtigt der Tagesverlauf die Messungen – grundsätzlich stärker belastete Bereiche sind so schwieriger von kurzzeitigen Ereignissen wie z.B. Pendlerverkehr zu unterscheiden. Zusätzlich wären längerfristige Messungen vorteilhaft, man könnte z.B. 10
-

Messgeräte an verschiedenen Orten platzieren und mehrere Tage lang durchgehend messen.

- Die Interpretation der Luftgütemessungen ist schwierig – während Schwefeldioxid recht eindeutig dem Hausbrand zuzuschreiben ist, sind die Ursachen für Feinstaub und Stickoxide nicht so einfach festzustellen.
- Luftgütemessungen alleine sind nicht ausreichend für die Detektion von Critical Spots, sie führen eher zu Einschränkungen bzw. Randbedingungen in der Ableitung von Sanierungsmaßnahmen.

### **Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?**

Gegen Ende des Projektes wurden potentielle Weiterentwicklungen der Methodik ausgearbeitet, welche für ein mögliches Folgeprojekt in Frage kommen könnten. Diese sind in Abschnitt 4 erläutert. Nach Projektabschluss wird es ein Treffen der Projektpartner geben, um eine mögliche weitere Zusammenarbeit zu diskutieren.

### **Für welche Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?**

Die Projektergebnisse sind sowohl für Stadtverantwortliche („Entscheidungsträger Stadt“) als auch Gebäudeeigentümer relevant. Aus diesem Grund wurden zwei differenzierte Maßnahmenkataloge abgeleitet (siehe 1.3.4.2). Hier ist noch anzumerken, dass bei der Angabe von Kosten für Sanierungsmaßnahmen jeweils nur Bandbreiten angegeben werden, unter Angabe der getroffenen Annahmen.

Der Mehrwert der ganzheitlichen Betrachtung eines Stadtgebietes liegt neben der Priorisierung von Sanierungsmaßnahmen innerhalb des Gebietes vor allem auch in der Möglichkeit gemeinschaftliche Entscheidungen zu treffen. Die vorgeschlagenen Maßnahmen werden den Eigentümern präsentiert, welche sich dann darüber austauschen können, Gemeinschaftsbestellungen durchführen und so eventuell auch bessere Preise ausverhandeln können. Für die Entscheidungsträger der Stadt wiederum ist es durch die Detailanalyse möglich, gezielt Eigentümer auf Sanierungsmöglichkeiten anzusprechen.

Durch den Austausch der betroffenen Personen untereinander sowie das Aufzeigen verschiedener Sanierungspotentiale können damit wichtige Entscheidungshilfen bereitgestellt werden.

### **Beschreiben Sie auch bisherige Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten und stellen Sie das weitere (Markt-/ Verbreitungs-) Potenzial dar.**

Am Beispiel der Stadt Gleisdorf konnte der Nutzen für Kommunen, Stadtwerke und Gebäudeeigentümer aufgezeigt werden. Der Nutzen der Projektergebnisse für Kommunen besteht generell in einer Erhöhung der Lebensqualität durch Vermeidung thermischer HOTSPOTS sowie einer Verbesserung der Luftgüte. Problematische Punkte können durch die automatisierte Lageerfassung und Analyse frühzeitig erkannt und adressiert werden. Neben der Steigerung der Lebensqualität sind als Vorteile für Kommunen auch die

---

Wertsteigerung von Liegenschaften und die Vermeidung von Strafzahlungen bei Überschreitung von Grenzwerten (z.B. Luftgüte, PM10 oder NO<sub>x</sub>) zu nennen.

Stadtwerke profitieren von der vorgestellten Technologie durch die mögliche Effizienzsteigerung in der Gebäudeklimatisierung und dem damit verbundenen reduzierten Ressourcenverbrauch (Gas, Fernwärme, Energie für Heizung oder Kühlung). Im Vergleich zu einem Szenario ohne Optimierung können so mehr Gebäude mit der vorhandenen Infrastruktur versorgt bzw. die Infrastruktur kleiner dimensioniert werden.

Der Gebäudeeigentümer oder Betreiber profitiert schlussendlich durch eine Reduktion der laufenden Verbrauchskosten.

Folgende Verwertungsmöglichkeiten ergeben sich aus dem Projekt:

- Die hier entwickelten Erfassungsmethoden, Monitoringprozesse und Simulationsmodelle dienen der Verbesserung der Planung, Durchführung und Evaluierung von Energieeffizienzmaßnahmen auf der Stadtteilebene.
- Die Entwicklungen können zu einem weiteren Einsatz der Ergebnisse in internationalen Projekten dienen und bilden so die Basis für weitere internationale Kooperationen.
- Die Entwicklungen können über den Einsatz in Forschungsprojekten hinausgehend nach einer Verbesserung der Anwendung und der Prozesse bei der Beratung von Städten und Gemeinden in Fragen der Energieeffizienzverbesserung zum Einsatz kommen.
- Gezielte Nachfolgeprojekte hinsichtlich Sanierungsstrategien von Stadtteilen könnten definiert werden.
- Die Ergebnisse könnten einen wichtigen österreichischen Beitrag in Arbeitsgruppen der IEA Implementing Agreements SHC und EBC (vormals ECBCS) leisten und somit zu einem weiteren Ausbau des internationalen Forschungsnetzwerks führen.
- Das generierte Know-how könnte Basis für eine verstärkte internationale Kooperation und Vernetzung (Akquisition bzw. Mitarbeit in EU-Projekten, ERA-Net, etc.) sein.
- Die Ergebnisse könnten in andere Projekte der Forschungspartner einfließen und dadurch zu einem weiteren Mehrwert führen.
- Die Ergebnisse könnten zu einer verstärkten Zusammenarbeit der Forschungspartner mit Partnern des gegenständlichen Konsortiums als auch mit anderen Unternehmen aus dem Themenbereich führen.

## **4 Ausblick und Empfehlungen**

Die entwickelte Prozessierungskette ist ideal dafür geeignet, um kritische Bereiche einer Stadt zu identifizieren und die Analyse so auf einzelne dieser „Critical Spots“ zu reduzieren. Auch für eine erste grobe Bewertung ist die Technologie geeignet.

Die Detailbefliegung mit einem UAV wurde hauptsächlich für die Ableitung der 3D Gebäudeinformationen verwendet. Die Thermalbilder wurden zwar qualitativ betrachtet, für die Ableitung von belastbaren Aussagen und zur Durchführung sinnvoller Analysen fehlte aber die Fassadeninformation. Diese wurde aufgrund der gewählten Aufnahmestrategie (Aufnahmen von oben, aus ca. 75 Metern Höhe) nur unzureichend abgebildet. Aufnahmen in

---

einem Winkel von etwa 45 Grad würden hier schon einen Mehrwert bringen. Der Nachteil davon wäre, dass sich die Anzahl der Bilder und somit der Aufwand für die Befliegung deutlich erhöhen würde – durch das automatisierte Abfliegen von programmierten Wegpunkte wäre der Aufwand aber vermutlich vertretbar.

Ein weiterer Ansatz für weiterführende Arbeiten ist die Verwendung alternativer Fluggeräte. Der Einsatz eines Heißluftballons bietet zwar einige Vorteile (kostengünstig, kein CO<sub>2</sub>-Ausstoß), die Steuerung ist aber nur sehr eingeschränkt möglich. Dadurch ist es schwierig, den 3D Thermalkataster der gesamten Stadt anhand einer Datenaufnahme abzuleiten. Bei Verwendung eines Helikopters wäre man hier z.B. deutlich flexibler.

Großes Potential wurde in der Detailbefliegung mittels UAV erkannt. Diese könnte in weiterführenden Tätigkeiten einen Zusatznutzen generieren, wie z.B. die Ableitung von potentiellen Solar-Flächen oder das Finden von Nachverdichtungs-Potential. Auch das Aufspüren von Bauschäden, wie z.B. Wärmebrücken im Dachbereich, welche man aus terrestrischen Aufnahmen nicht erkennen kann, wird als interessante Möglichkeit erachtet.

Eine interessante Weiterentwicklung wäre auch die Verwendung von Messungen während Hitzeperioden im Sommer. So könnten beispielsweise Wärmeinseln in der Stadt gefunden werden. Zusätzlich wäre eine interessante Forschungsfrage, ob auch Sanierungspotentiale aus Sommermessungen abgeleitet werden können, bzw. ob und wie solche Messungen wiederum Input für Simulationen sein können.

## 5 Verzeichnisse

### 5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verfahrenskette in Hotspots.....	21
Abbildung 2: Kombierter Sensorkopf und Befestigung am Ballon .....	22
Abbildung 3: Feature Detektion und Matching .....	23
Abbildung 4: Kamera-Trajektorie und Punktwolke .....	23
Abbildung 5: RGB Bild und dazugehörige Tiefenmap.....	24
Abbildung 6: RGB Orthophoto und thermische Aufnahme.....	25
Abbildung 7: RGB Orthophoto und thermische Aufnahme verschnitten mit Gebäudemasken .....	26
Abbildung 8: Klassifikation nach Dachfarben und „Critical Spots“ .....	27
Abbildung 9: Ableitung des Terrainmodells (DTM) aus dem Oberflächenmodell (DSM) .....	28
Abbildung 10: Vegetationsindex .....	29
Abbildung 11: Extraktion von Einzelgebäuden.....	29
Abbildung 12: Ableitung von Gebäudegrundrissen .....	29
Abbildung 13: Ableitung von Dachflächen .....	30
Abbildung 14: Luftschadstoff-Messgerät (links) und Drohne mit Luftschadstoff-Messgerät (rechts).....	31

---

Abbildung 15: Messpositionen am Bahnhofsviertel (links) bzw. auf der Rundreise (rechts) ..	32
Abbildung 16: Messung mit dem Luftschadstoff-Messgerät am Heißluftballon .....	33
Abbildung 17: Messpunkte mit Punktegitter (links), Punktegitter mit konvexer Hülle (Mitte), konvexe Hülle (rechts).....	34
Abbildung 18: Flächenmessung von CO <sub>2</sub> im Sommer 2016 (links) und Winter 2017 (rechts) .....	34
Abbildung 19: 3D Modellierung eines Einzelgebäudes, inkl. Thermal-Textur .....	36
Abbildung 20: Datenerhebung für Kriterienkataloge .....	39
Abbildung 21: Datenauswertung.....	40
Abbildung 22: Potentialauswertung nach den 12 Einzelkategorien auf Gebäudeebene .....	42
Abbildung 23: Deckblatt und Auswertungsrose für die beiden Kriterienkataloge. Die beiden entwickelten Schwachstellenkataloge stehen in Form eines Excel-Tools zur Verfügung .....	43
Abbildung 24: Semi-Automatisierte Excel Eingabemaske der HOTSPOTS-Kriterienkataloge .....	44
Abbildung 25: Schwachstellenanalyse mit räumlicher Verortung der Ergebnisse für das „HOTSPOTS-Zielgebiet“ - Bahnhofsviertel Gleisdorf (aus Datenschutzgründen anonymisierte Darstellung).....	45
Abbildung 26: ECOCITIES Tool .....	46
Abbildung 27: Orthophoto (links), Thermal-Orthobild (Mitte) und 3D Modell (rechts) .....	49
Abbildung 28: Aufgenommenes Gebiet 2015, 2016 und 2017 .....	50
Abbildung 29: Auflösung im Thermalmodell 2015 vs. 2016 .....	50
Abbildung 30: Karte der Critical Spots (anonymisierter Ausschnitt). Die färbigen Flächen indizieren Gebäude, die eine höhere thermische Emission aufweisen, als vergleichbare Gebäude. ....	51
Abbildung 31: Differenz der gemessenen Thermalwerte der Befahrungen 2016 und 2015 [°C]. ....	52
Abbildung 32: Differenz der korrigierten Thermalwerte der Befahrungen 2016 und 2015 (Gebäudemedian [°C]).....	53
Abbildung 33: Detailliertes 3D-Thermalmodell aus Drohnenbefliegung .....	54
Abbildung 34: Befliegung und Modellierung eines Einzelgebäudes .....	54
Abbildung 35: Gebäudeparameter in GIS System .....	55
Abbildung 36: Feinstaub PM <sub>2,5</sub> in 1 m (links) bzw. 25 m (rechts) Höhe im Winter 2016 .....	56
Abbildung 37: Kohlenstoffmonoxid CO in 1 m (links) bzw. 25 m (rechts) Höhe im Winter 2016 .....	56
Abbildung 38: CO <sub>2</sub> -Belastung im Sommer 2016 (Vormittag – Mittag - Nachmittag).....	57
Abbildung 39: NO <sub>2</sub> -Belastung im Sommer 2016 und Winter 2017 (Vormittag) .....	57
Abbildung 40: CO-Werte während der Ballonfahrt .....	58
Abbildung 41: Zusammenführung Kriterienkatalog, Descision Support Tool und technische Maßnahmen zu einem Effektivmaßnahmenkatalog .....	60
Abbildung 42: Effektivmaßnahmen (Beispiel: Einsparung HWB, Nachverdichtungspotential) mit räumlicher Verortung der betroffenen Gebäude für das „HOTSPOTS-Zielgebiet“ - Bahnhofsviertel Gleisdorf (aus Datenschutzgründen anonymisierte Darstellung).....	61
Abbildung 43: Auswertungsformular des Effektivmaßnahmenkatalogs.....	61

---

Abbildung 44: Räumliche Verortung der Investitionskosten, CO2 Einsparungen und Amortisationskosten aus dem Maßnahmenkatalog und den Optimierungen des Decision Support Tools.....	62
Abbildung 45: Räumliche Verortung der Effektivmaßnahmen und Optimierungen aus dem Decision Support Tool .....	63

## 5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: U-Werte der Bauteile für die unterschiedlichen Bauperioden [Quelle: TABULA] ..	36
Tabelle 2: Vergleich berechneter HWB und HWB nach Energieausweis (Adressen anonymisiert).....	37
Tabelle 3: Vergleich BGF und HWB - Vorgabe und Gegeben (Adressen anonymisiert) .....	38
Tabelle 4: Kategorien des Schwachstellenkatalogs .....	41

## 5.3 Literaturverzeichnis

- [1] 3D City GIS – A Major Step Towards Sustainable Infrastructure, [http://consultaec.com.au/consultaec/wp-content/uploads/2014/07/WP\\_3D\\_City\\_GIS\\_long.pdf](http://consultaec.com.au/consultaec/wp-content/uploads/2014/07/WP_3D_City_GIS_long.pdf) (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [2] Graz Geoportal, <http://www.geoportal.graz.at/cms/ziel/4754830/DE/> (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [3] RWE Flug - Thermografie Essen, [http://www.essen.de/rathaus/aemter/ordner\\_62/gebäude\\_1.de.html](http://www.essen.de/rathaus/aemter/ordner_62/gebäude_1.de.html) (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [4] TÜV Rheinland Thermo-Mosaik für Städte, [http://www.stadt-und-werk.de/meldung\\_15998](http://www.stadt-und-werk.de/meldung_15998) (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [5] Thermographische Befliegung ist umstritten, <http://www.enbausa.de/daemmung-fassade/aktuelles/artikel/thermographische-befliegung-ist-umstritten-3380.html> (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [6] MIT: SENSEable City Lab, <http://senseable.mit.edu/> (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [7] Energieatlas Stadt Gleisdorf, <http://www.stadtwerke-gleisdorf.at> (abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [8] Steinnocher K., Petrini-Monteferrri F., Tötzer T., Weichselbaum J. : Räumliche Disaggregation von sozio-ökonomischen Daten. In Strobl J., Blaschke T., Griesebner G. (Eds.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVII, pp. 702-707. Wichmann Heidelberg, 2005
-

- [9] Milego R., and Ramos M.J.: Disaggregation of socioeconomic data into a regular grid and combination with other types of data. In ESPON Technical Report, EU, 2011
- [10] Langford, M.: Obtaining population estimations in non-census reporting zones: An evaluation of the 3-class dasymetric method. In Computers, Environment and Urban Systems, vol. 30, no. 2, pp. 161–180., 2006
- [11] Steinnocher K., Köstl. M., Weichselbaum J. : Kleinräumige Bevölkerungsmodellierung für Europa - räumliche Disaggregation auf Basis des Versiegelungsgrades. In Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2011, Beiträge zum 23. AGIT-Symposium, Salzburg, 6. - 8. Juli 2011.
- [12] Aubrecht C., Steinnocher K., Hollaus M., Wagner W.: Integrating Earth Observation and GIScience for high resolution spatial and functional modeling of urban land use. In Computers, Environment and Urban Systems 33, pp. 15-25, 2009
- [13] Stöglehner, G., Narodoslawsky, M., Steinmüller, H., Steininger, K., Weiss, M., Mitter, H., Neugebauer G.C., Weber, G., Niemetz, N., Kettl, K.-H., Eder, M., Sandor, N., Pflüglmayer, B., Markl, B., Kollmann, A., Friedl, C., Lindorfer, J., Luger, M., Kulmer, V.: PlanVision – Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung. In Projektendbericht, 2011
- [14] Stöglehner G., Erker, S., Neugebauer, G.: Tools für Energieraumplanung. Im Auftrag des BMLFUW, 2013
- [15] Hartley R., Zisserman A.: Multiple View Geometry in Computer Vision. In Cambridge University Press, 2003
- [16] Agarwal S., Furukawa Y., Snavely N., Simon I., Curless B., Seitz S., Szeliski R.: Building rome in a day. In proc. Twelfth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2009
- [17] Nistér D.: An efficient solution to the five-point relative pose problem", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 26 (6): 756–777, Juni 2004
- [18] Collins R.T., A Space-Sweep Approach to True Multi-Image Matching, In proc. Computer Vision and Pattern Recognition Conf., pp 358- 363, 1996
- [19] Rhemann C., Hosni A., Bleyer M., Rother C., Gelautz M.: Fast cost-volume filtering for visual correspondence and beyond. In proc. Computer Vision and Pattern Recognition Conf, 2011
- [20] Website der Stadt Wien <http://www.wien.gv.at/umweltschutz/luft/messnetz.html>  
(abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
- [21] Website des Landes Steiermark <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/3464002/DE/>  
(abgerufen am 07.08.2017 um 15:00)
-

## **6 Anhang**

### **6.1 Maßnahmenkataloge**

Maßnahmenkatalog Stadt: Anhang\_01\_Maßnahmenkatalog\_Stadt.pdf

Maßnahmenkatalog Eigentümer: Anhang\_02\_Maßnahmenkatalog\_Eigentümer.pdf

### **6.2 Ausgewählte Presseberichte**

Anhang\_03\_Ausgewählte\_Presseberichte.pdf