

Überblick über die Anwendung der Urban Heat Mapping Methode in der Stadt Graz 2019 – 2023

Autor:

DI Dr. Daniel Rüdissler

29.04.2024



HTflux Engineering GmbH

Ingenieurbüro für Technische Physik

Franziskanerplatz 11

8010 Graz



Urban Heat Mapping

Kartierung der Hitzebelastung in der Stadt

Im Rahmen eines internationalen Forschungsprojekts bei AEE – Institut für Nachhaltige Technologien in Gleisdorf - wurde vom Physiker Dr. Daniel Rüdiger eine innovative Methode zur Untersuchung der Hitzebelastung im urbanen Raum entwickelt. Die Methode gestattet auf wissenschaftlich fundierter Basis, die Hitzebelastung in Teilen der Stadt mittels Hitzekarten sichtbar zu machen. Die KIS-Gruppe der Stadt Graz erkannte bereits im Entwicklungsstadium den Mehrwert der Methode erkannt und unterstützte das Projekt frühzeitig logistisch und durch die Zurverfügungstellung von dreidimensionalen Stadtmodellen. Mittlerweile wurde die Methode von AEE INTEC und HTflux Engineering GmbH bereits bei acht unterschiedlichen Untersuchungsgebieten im Grazer Stadtgebiet angewendet.

Das subjektive Hitzeempfinden, sowie die objektive Hitzebelastung des Körpers hängen von einer Reihe von Einflussfaktoren ab. Neben der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit ist insbesondere die einwirkende Strahlungstemperatur maßgeblich. Diese Größe ist bei Hitzebelastung meist die bestimmende und setzt sich aus der Wärmestrahlung und der Solarstrahlung zusammen. Diese entscheidenden Strahlungseinflüsse werden im Rahmen der Urban-Heat-Mapping Methode mittels Spezialkameras an Drohnen exakt vermessen. Aus den so gewonnenen Daten kann dann die thermische Belastung auf den Körper berechnet werden. Dies erfolgt auf Basis einer bereits etablierten Methode mit dem Namen *UTCI – universal thermal climate index*. Dabei wird eine „empfundene Temperatur“ berechnet, die eine objektive Beurteilung des auf den Körper einwirkenden Hitzestresses ermöglicht. Bisher wird dieser UTCI meist mittels einer vor-Ort Messung bestimmt. Hierbei gelangt ein spezieller Messbaum, der mit einer Reihe von Messvorrichtungen ausgestattet ist, zur Anwendung. Die Messung mit dem Messbaum ist aufwändig und kann nur an wenigen, zuvor bestimmten Orten durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu beruht die Innovation der Urban-Heat-Mapping Methode darauf, dass eine Auswertung mit hoher Auflösung für einen ausgedehnten innerstädtischen Bereich möglich ist. Dadurch lässt sich eine sehr *aussagekräftige Kartierung* der Hitzebelastung für das untersuchte Gebiet erstellen. Neben der Karte für die gefühlte Temperatur, werden noch eine Reihe von weiteren Karten erstellt, in welchen die wichtigsten Einflussfaktoren dargestellt sind. Dies gestattet eine umfassende Beurteilung von Problemgebieten, sowie die effektive Identifizierung von Optimierungsmaßnahmen.

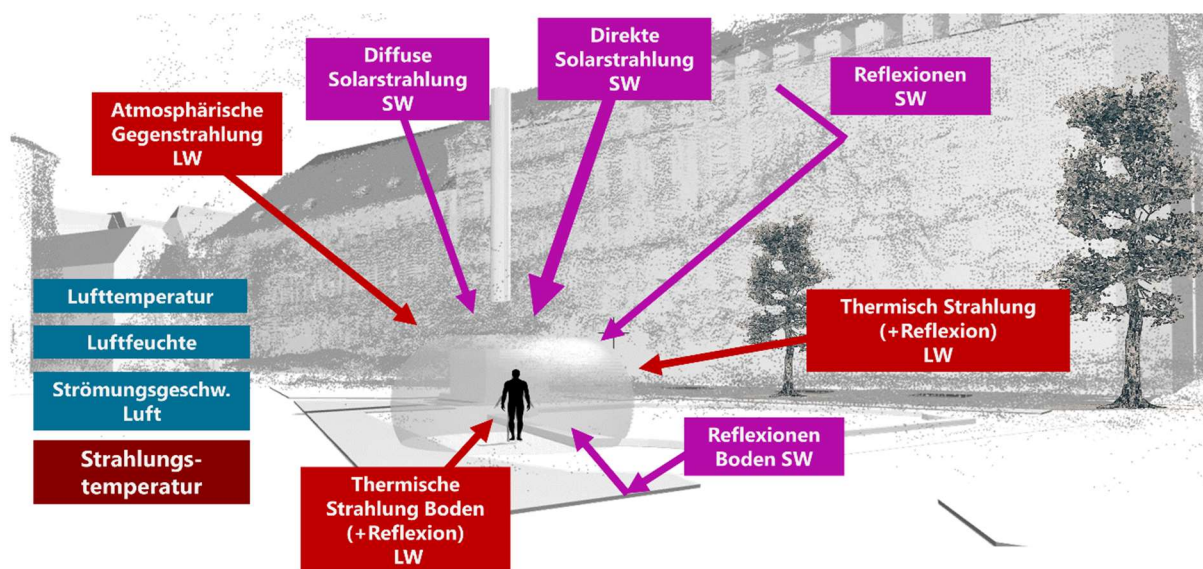


Abbildung 1 Relevante Einflussfaktoren für das Hitzeempfinden

Für das Verständnis des Verfahrens ist es wichtig, die für den Hitzestress relevanten Faktoren zu kennen. Dies sind einerseits die Lufttemperatur, die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit, welche uns naturgemäß direkt beeinflussen, denn über direkten Hautkontakt, Schwitzen und Atmung stehen wir in unmittelbarem Wärmeaustausch mit dem Luftkörper. Zusätzlich jedoch, ist die Wirkung von solarer Einstrahlung und Wärmestrahlung auf den Körper von entscheidender Bedeutung.

Die *solare Einstrahlung* kann direkt oder indirekt auf uns einwirken. Die indirekte Einwirkung umfasst einerseits gestreutes Sonnenlicht, welches uns aus dem blauen Himmel oder Wolken erreicht, und andererseits reflektierte Sonneneinstrahlung, die von Gebäuden, Vegetation oder Bodenflächen ausgeht. In beschatteten Gebieten, die von direkter Sonneneinstrahlung abgeschirmt sind, ist daher auch die indirekte Einwirkung zu beachten.

Die *Wärmestrahlung* berücksichtigt, dass jeder Körper, entsprechend seiner Temperatur, im Wärmeaustausch mit allen in seiner Umgebung sichtbaren Oberflächen steht. Sind diese Oberflächen wärmer, so gewinnt man Energie (Beispiel Kachelofen), sind sie kühler, so verliert man Energie (Beispiel kalte Fensterscheibe). Obwohl diese Effekte jedem intuitiv bekannt sind, wird die Bedeutung dieses Wärmeaustausches meist unterschätzt, bzw. ist die genaue Wirkungsweise in der Regel wenig bekannt.

Es ist nun entscheidend zu verstehen, dass in einer überwärmten städtischen Umgebung *die solare Einstrahlung und die Wärmestrahlung die maßgeblichen Faktoren* sind. Die Luftbedingungen spielen eine untergeordnete Rolle, da diese in einem räumlich begrenzten Stadtviertel nur sehr schwach variieren. Die an heißen Tagen immer auftretende Konvektion, also die Bewegung der Luft aufgrund von Temperaturunterschieden, führt dazu, dass die Lufttemperatur und Luftfeuchte in der Regel über einen größeren Bereich sehr ausgeglichen sind. So weisen die Feuchte- und Temperaturwerte der Luft an heißen Tagen im beschatteten Park ähnliche Werte auf wie auf einem nahegelegenen, sonnenbeschienen versiegelten Platz. Ebenso spielt die Windgeschwindigkeit eine untergeordnete Rolle, da bei hohen Temperaturen kaum noch ein kühlender Effekt eintritt (anders im Winter). Entscheidend für die räumliche Änderung des Hitzestress ist deshalb vor allem die Strahlungseinwirkung. Genau diesen Zusammenhang berücksichtigt die *Urban-Heat-Mapping* Methode. Hierbei erfolgt die Bestimmung der Luftparameter mit der klassischen Messmethode lediglich an einigen ausgesuchten Punkten am Boden. Die Strahlungsparameter hingegen werden mit Hilfe zweier hochauflösenden Spezialkameras sehr detailliert erfasst. Um diese radiometrischen Aufnahmen sehr rasch und effizient durchführen zu können, werden die Kameras an einer professionellen Drohne befestigt. Die Drohnenbefliegungen dauern in der Regel nur ca. 15 bis 30 Minuten. Die kurze Messdauer gestattet, auch für ein ausgedehntes Gebiet, eine Quasimomentaufnahme anzufertigen, was für die weitere Interpretation wesentlich ist.

Schließlich werden in aufwändigen Prozessierungsschritten alle Messungen in ein digitales, dreidimensionales Stadtmodell überführt. In diesem digitalen Modell ist es dann möglich, die Bestimmungen der gefühlten Temperatur an jedem beliebigen Ort durchzuführen. Die herkömmlichen, aufwändigen vor-Ort Messungen können also durch effiziente, *virtuelle Messungen* ersetzt werden. Diese Messungen im Stadtmodell erlauben einerseits eine höherwertige Auswertung, da sie zum Beispiel auch die Anatomie des Menschen berücksichtigt. Andererseits gestattet die Methode aber insbesondere gleichzeitig und mit hoher räumlicher Auflösung Messungen im gesamten Untersuchungsbereich durchzuführen. Basierend auf diesen engmaschigen Messpunkten lassen sich sehr aussagekräftige Karten für die gefühlte Temperatur anfertigen. Wesentlich ist hierbei, dass nicht nur die gefühlte Temperatur, sondern gleichzeitig alle wesentlichen Einflussfaktoren quantitativ bestimmt und kartografisch zur Verfügung gestellt werden können. Dies gestattet Entscheidungsträger:innen, Klimaanpassungsmanager:innen und Grünraum- bzw. Stadtplaner:innen eine zielgerichtete Identifikation von Hotspots und deren Ursachen und damit eine effektive Bewertung und Optimierung der Hitzebelastung im urbanen Raum.

Weiterführende Links zu wissenschaftlichen Publikationen

Internationale wissenschaftliche Publikation (peer-reviewed, open-access):

- https://www.researchgate.net/publication/353287423_Spatially_Resolved_Analysis_of_Urban_Thermal_Environments_Based_on_a_Three-Dimensional_Sampling_Algorithm_and_UAV-Based_Radiometric_Measurements
- <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4847>

Vorlaufender Konferenzbeitrag, welcher als beste wissenschaftliche Publikation der Konferenz ausgezeichnet wurde:

- https://www.researchgate.net/publication/344709603_Dreidimensionale_Ermittlung_des_thermischen_Komforts_mit_detaillierter_Berechnung_der_Strahlungstemperaturen_auf_Basis_von_Messdaten_aus_Drohnenbefliegungen_Urban_thermal_comfort_maps_based_on_a_three

Anwendungen in Graz

Eisernes Tor

Im Bereich Eisernes Tor/Opernring fand im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts Smart City Sensing am 21. August 2019 um 14:00 die erste prototypische Anwendung der Methode statt. In der Anwendung wurde die völlig neu entwickelte Methode, welche auf komplexen, innovativen Mess- und Auswertungsmethoden basiert, erstmals getestet. Die sehr erfolgreiche Testanwendung demonstrierte das Potential der Methode und lieferte bereits wertvolle Erkenntnisse für den ausgewerteten Bereich. Es wurde festgestellt, dass sich die Lufttemperatur im Parkgebiet kaum von der Lufttemperatur auf den umliegenden heißen Plätzen unterschied ($<1^{\circ}\text{C}$). Infolge der Einwirkung der Wärmestrahlung und Solarstrahlung zeigen sich aber im selben Bereichen große Abweichungen der empfundenen Temperatur (UTCI), die im Bereich von 30°C bis 43°C lagen. Auf Basis der Auswertungen konnten Hotspots vor den südlichen Fassaden am Opernring/Joanneumring, sowie im Bereich des Kinderspielplatzes, identifiziert werden. Der dunkle Belag des Kinderspielplatzes, der für die hohe Erwärmung verantwortlich war, wurde mittlerweile durch einen helleren ersetzt.



Abbildung 2 Karte der empfundenen Temperatur (UTCI) im Auswertebereich Eisernes Tor

Karmeliterplatz und Freiheitsplatz

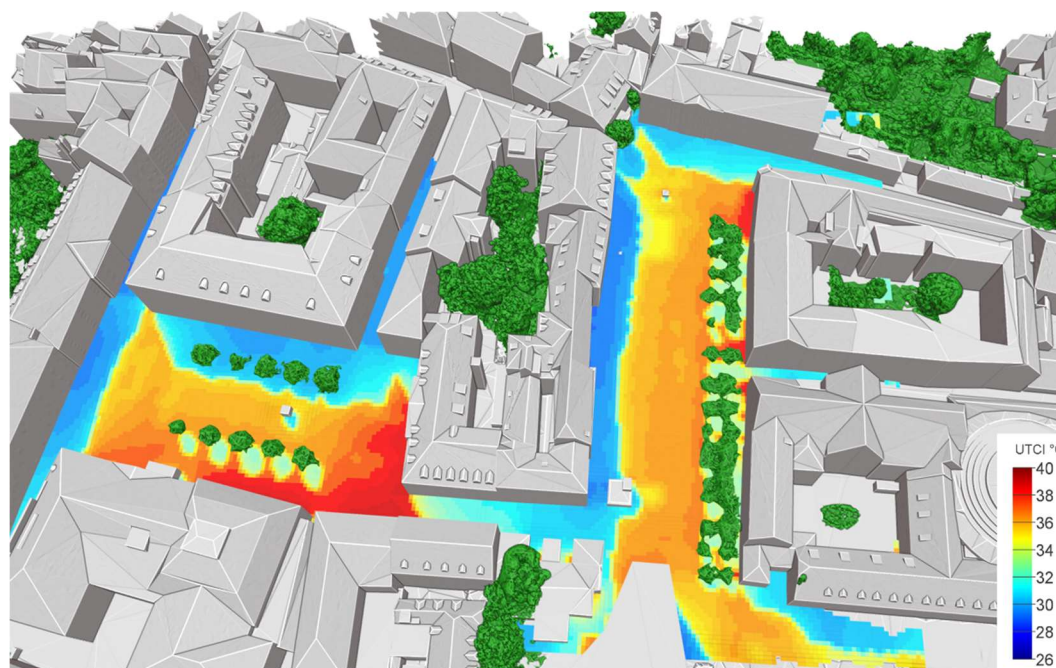


Abbildung 3 Karte der empfundenen Temperatur (UTCI) im Auswertebereich Eisernes Tor

Die Auswertung für den Bereich Karmeliterplatz und Freiheitsplatz wurden am 11. August 2020 um ca. 15:30 durchgeführt. Ziel der Untersuchung war insbesondere die Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Materialien auf die Hitzebelastung. Die verschiedenen Ausführungen der Platz- und Straßenbeläge, sowie der Fassaden zeigen naturgemäß eine deutliche Wirkung. Zu bevorzugen sind jedenfalls helle Farben, da diese weniger Solarstrahlung absorbieren. Es konnte bei der Auswertung jedoch ebenfalls gezeigt werden, dass insbesondere sehr helle Fassadenflächen kurzfristig auch zu einer Beeinträchtigung des thermischen Komforts führen, die aus einer Reflexion der Sonneneinstrahlung resultiert.

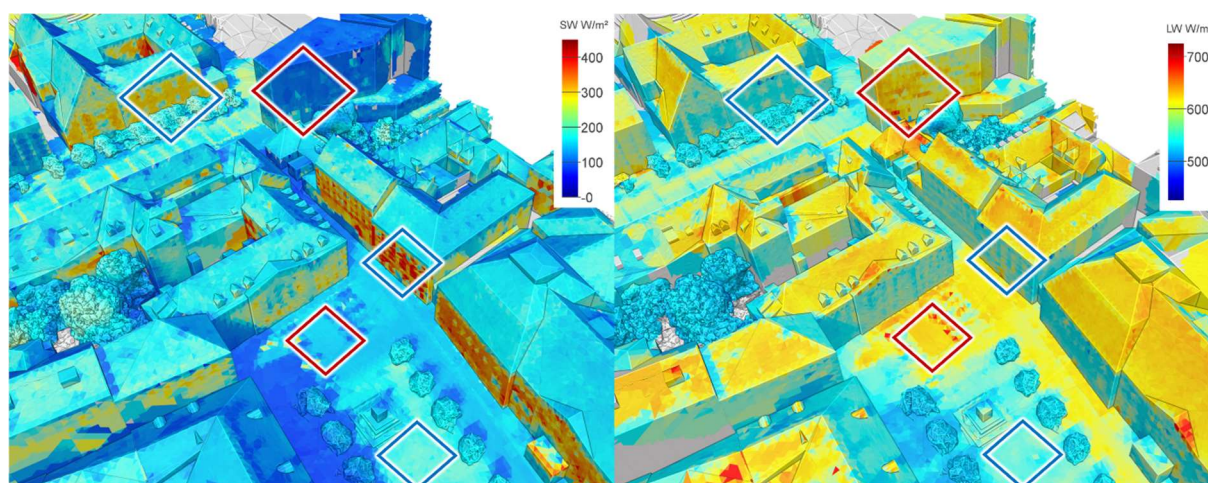


Abbildung 4 Karte der empfundenen Temperatur (UTCI) im Auswertebereich Eisernes Tor

In Abbildung 4 ist links die Stärke der Reflexion der Solarstrahlung dargestellt und rechts die abgegebene Wärmestrahlung. Es ist zu erkennen, dass sich die dunklen Flächen (rot markiert) deutlich stärker erwärmen, als die hellen Flächen (blau markiert). Die starke Rückreflexion (etwa im Bereich Schauspielhaus) verringert die Erwärmung der Fassade, kann jedoch tagsüber bei starker Sonneneinstrahlung zu einer lokalen Erhöhung der Hitzebelastung infolge der reflektierten Solarstrahlung führen.

Tummelplatz, Bischofsplatz und Einspinnergasse

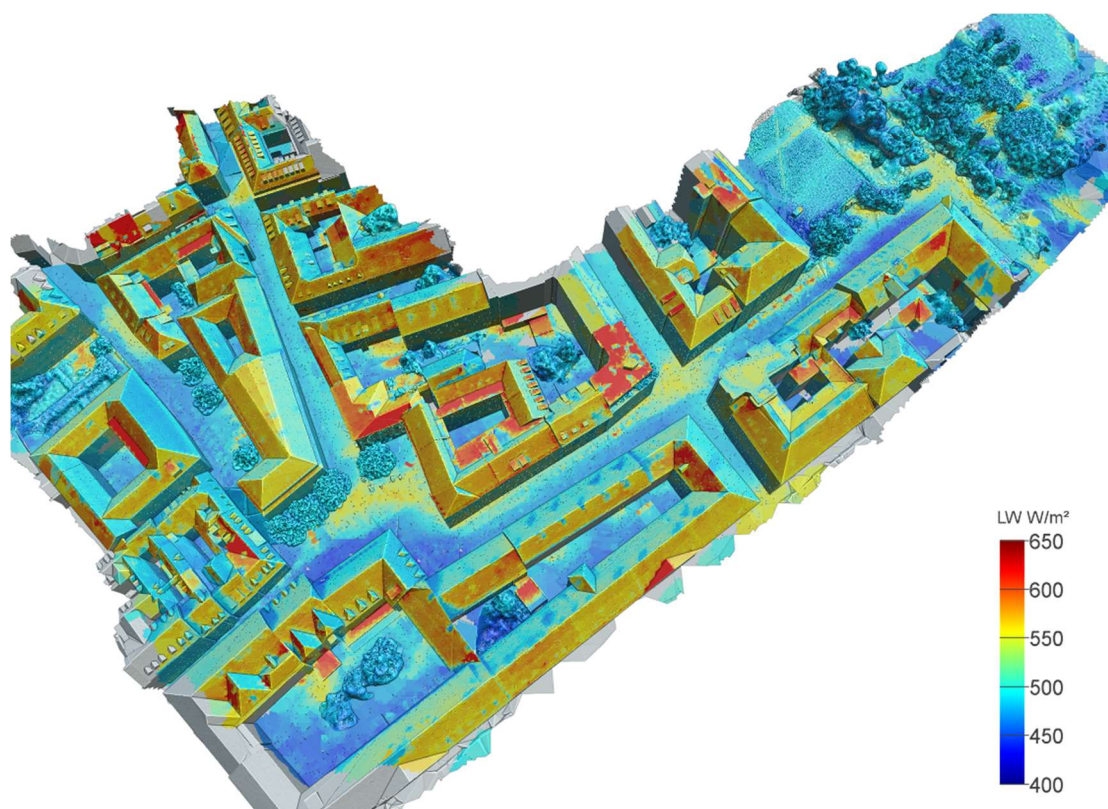


Abbildung 5 Gesamtansicht Auswertebereich "Tummelplatz" - Wärmestrahlung bei Hitzebefliegung

Die mikroklimatische Untersuchung der Gebiete Tummelplatz, Bischofsplatz und Einspinnergasse wurde am 9. September 2021 durchgeführt. Die Untersuchung fand parallel zur großräumigen Untersuchung des Grazer Stadtgebiets mittels Thermalscannerbefliegung statt. Erstmals wurde bei dieser Untersuchung neben der „Hitzebefliegung“ um 14:25 auch zusätzliche Befliegungen des Gebiets bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang durchgeführt. Die zusätzlichen Befliegungen ermöglichen quantitative Analysen der Tageserwärmung und die Untersuchung von Speichermasseneffekten. Durch die Abstimmung mit der Thermalscannerbefliegung fand die Untersuchung relativ spät im Jahr statt. Die Wetterlage war durch eine klare Nacht mit einer minimalen Lufttemperatur von knapp unter 10°C gekennzeichnet. Als Tageshöchstwert der Lufttemperatur wurden von der Wetterstation Graz-Universität 24,4°C aufgezeichnet. Durch die starke nächtliche Auskühlung ergaben sich tagsüber große Unterschiede in der empfundenen Temperatur. Etwa am Tummelplatz, wo in den beschatteten Bereichen mit den noch kühlen Fassadenflächen an der Ecke zur Einspinnergasse eine gefühlte Temperatur von 22°C ermittelt wurde. In unter 30 m Entfernung, vor dem akademischen Gymnasium wurden zur gleichen Zeit 34°C gefühlte Temperatur detektiert. Die Lufttemperatur lag zu dieser Zeit an beiden Orten bei 25°C.

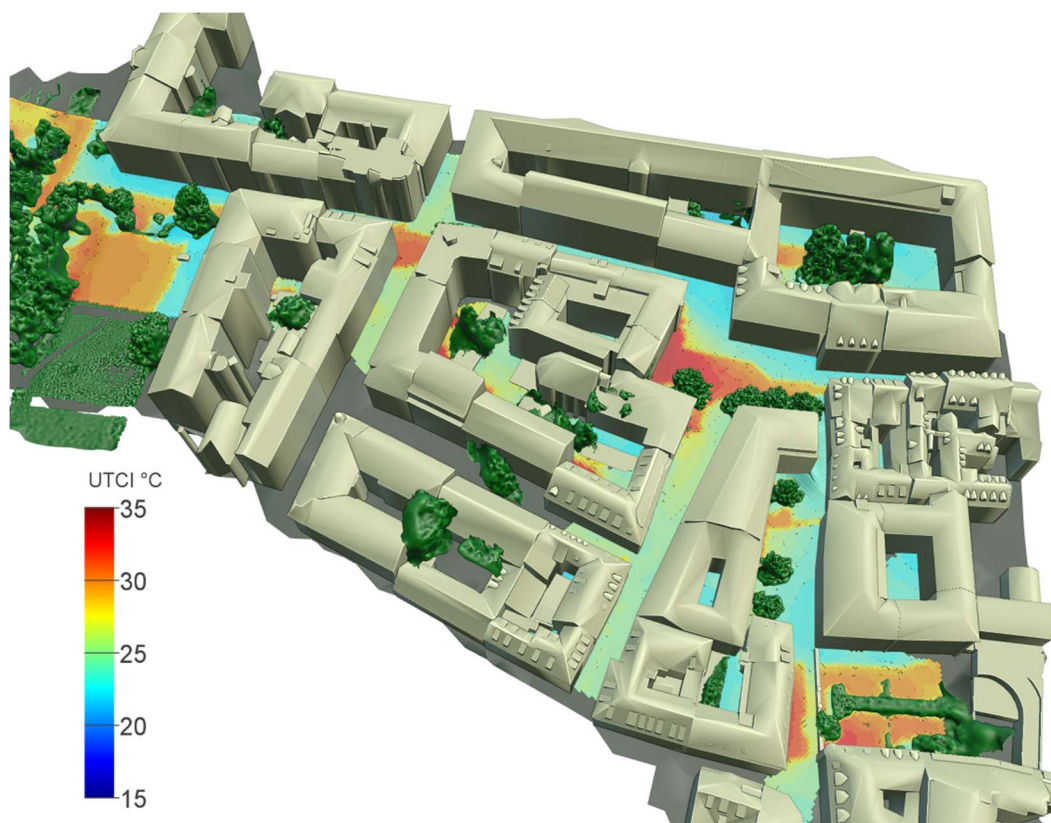


Abbildung 6 Gesamtansicht Auswertebiet "Tummelplatz" - empfundene Temperatur (UTCI)

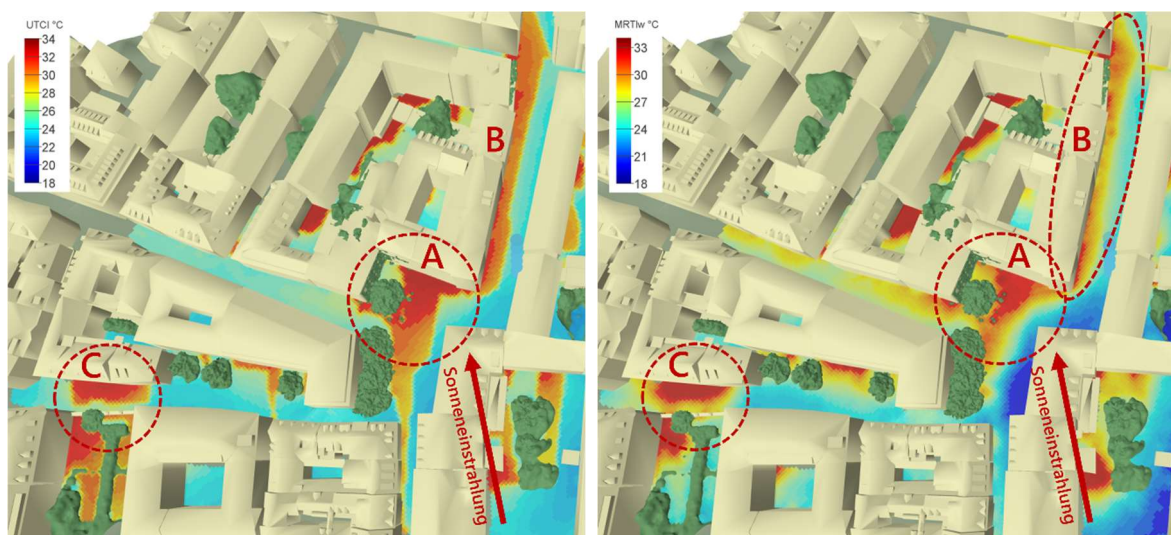


Abbildung 7 Hotspot-Analyse im Auswertebiet Tummelplatz, Bischofsplatz, Einspinnergasse

Basierend auf den durchgeführten Auswertungen erfolgte eine Hotspot-Analyse zur Identifikation von Problemstellen und deren Ursachen. Dabei wurden drei markante Hotspots identifiziert und deren Ursachen analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen direkt in den Realisierungswettbewerb zur Neugestaltung des Tummelplatzes und wurden bei der Auswahl des Siegerprojekts von der Jury mitberücksichtigt.

Zinzendorfsgasse / Univiertel

Ebenfalls am 9. September 2021 wurde eine Untersuchung des Gebiets Zinzendorfsgasse, Sonnenfelsplatz Universitätsplatz durchgeführt. Auch bei dieser Untersuchung wurden zwei Befliegungen durchgeführt. Die morgendliche Befliegung diente dazu, massive Erwärmungen aufzuspüren, welche auch nach der nächtlichen Abkühlung deutlich erhöhte Temperaturen aufwiesen. Diese waren insbesondere im nördlichen Bereich der Zinzendorfsgasse zu erkennen. In diesem Bereich zeigten sich auch bei der Hitzebefliegung um 15:50 markante Hotspots. Weitere Hotspots konnten auf dem Sonnenfelsplatz, in der Harrachgasse und insbesondere im Bereich des Universitätsvorplatzes identifiziert werden. Letztere sind auf eine hohe Erwärmung der begehbaren Bodenflächen, in Kombination mit Windabschattung und starker Rückreflexion der Universitätsfassade zurückzuführen. Erstmals wurde auch versucht, die Untersuchung auf die Innenhöfe aufzuweiten. Durch die nächtlichen Temperaturen von unter 10°C bleiben die dort wenig sonnenexponierten Fassaden ganztägig vergleichsweise kühl. In Kombination mit der meist vorherrschenden Vegetation in den Innenhöfen wurden deshalb dort empfundene Temperaturen im Bereich 22 bis 23°C detektiert. Die empfundene Temperatur lag damit 1 bis 2°C unter der vorherrschenden Lufttemperatur. Im Gegensatz dazu, wurden beispielsweise vor dem Universitätsgebäude empfundene Temperaturen bis 34°C registriert. Die empfundene Temperatur lag damit 10°C über der Lufttemperatur. In der Zinzendorfsgasse wurden auf dem nordseitigen Gehsteig empfundene Temperaturen von im Mittel 32°C bestimmt, während sie auf dem südseitigen Gehsteig bei ca. 24°C lagen. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand war die Baumallee in der Schubertstrasse. Leider war der Bereich direkt unter der Allee für die Drohne nicht einsehbar und konnte deshalb nicht ausgewertet werden. Es zeigt sich jedoch bereits am Beginn der Allee deutlich, dass die wahrgenommenen Temperaturen von 31°C schnell in den Bereich der Lufttemperatur (24°C) absinken. Direkt unter der Allee können deshalb Temperaturen in diesem Bereich angenommen werden.

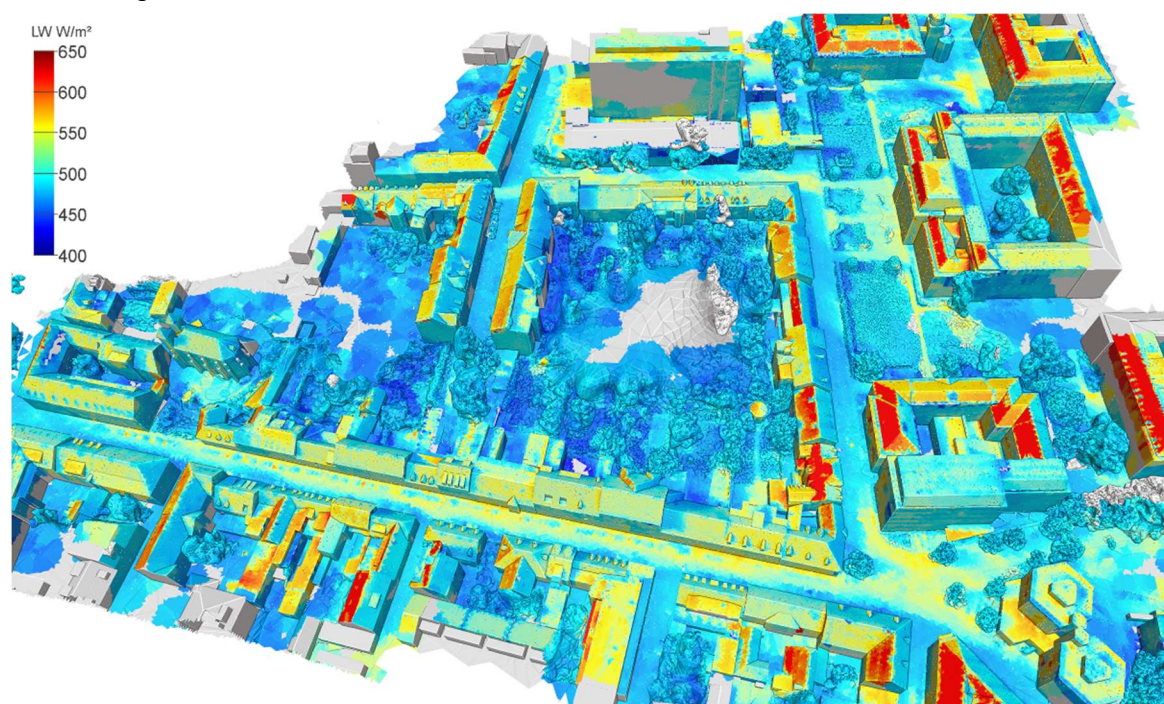


Abbildung 8 Gesamtansicht Zinzendorfsgasse/Universität - Wärmestrahlung

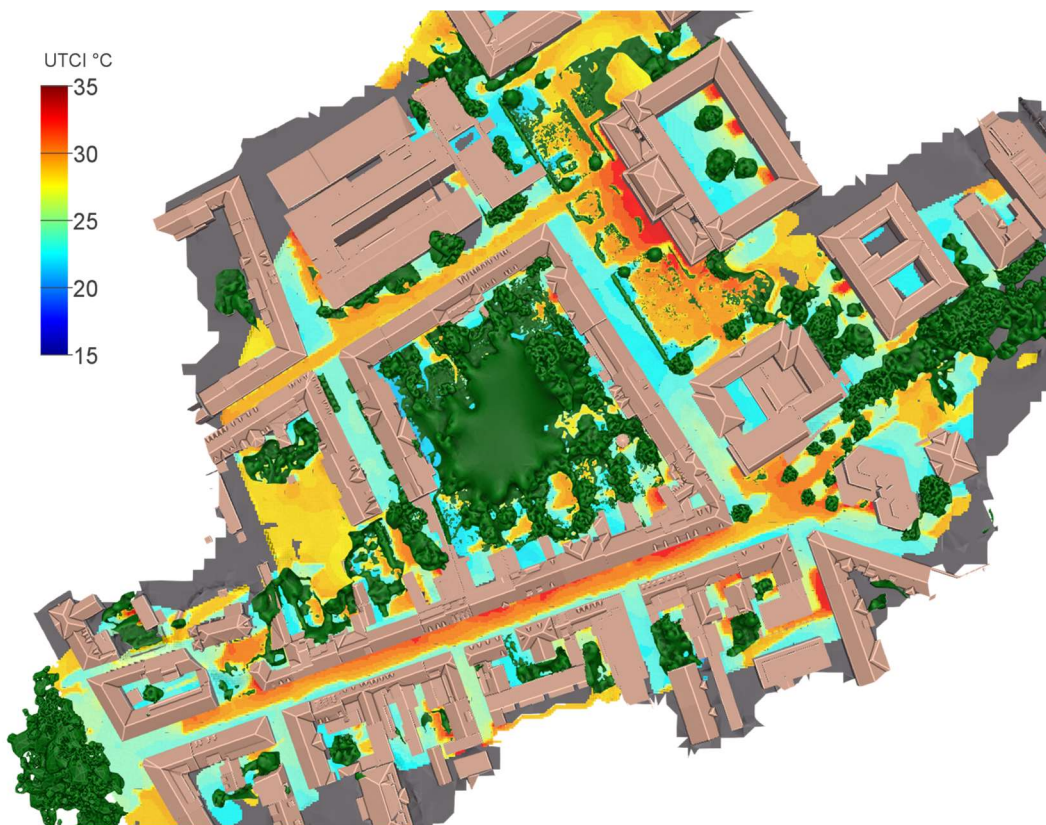


Abbildung 9 Gesamtansicht Zinzendorfsgasse/Universität - empfundene Temperatur (UTCI)

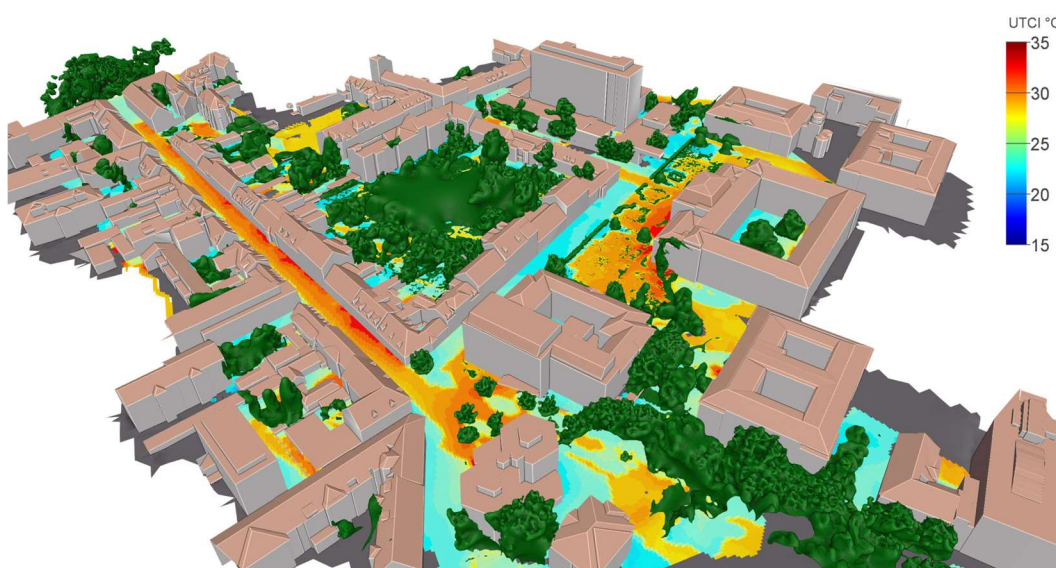


Abbildung 10 Gesamtansicht 3D Zinzendorfsgasse/Universität - empfundene Temperatur (UTCI)

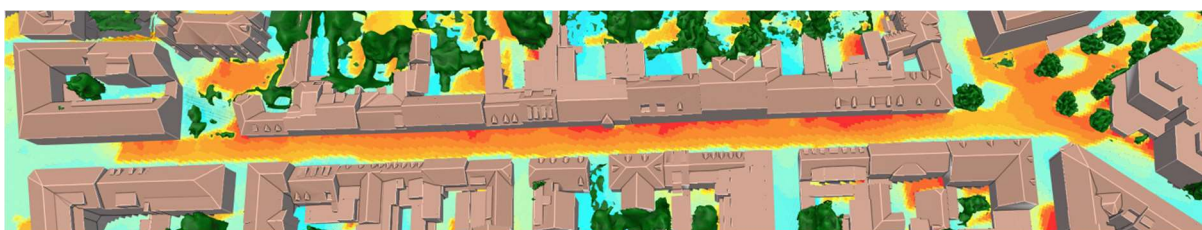


Abbildung 11 Zinzendorfsgasse - empfundene Temperatur (UTCI)

Annenstr ae und Metahofgasse

Die Untersuchung der Annenstr ae wurde am 20.7.2022 um ca. 14:00 durchgeführt. Bei der Untersuchung der Annenstr ae zeigte sich erneut eine markante Differenz zwischen der Nord- und Südseite. Während die empfundenen Temperaturen auf der Südseite im Bereich der Lufttemperatur lagen (ca. 31°C), konnte auf der Nordseite durch die hohe Sonnenexposition empfundene Temperaturen bis zu 41°C registriert werden. Grund hierfür ist insbesondere der hohe Versiegelungsgrad und das Fehlen von Baumbestand. Selbst die, zu diesem Zeitpunkt, relativ schwach entwickelte Grünfassade am Gebäude der UNIQA-Versicherung, welche nur das erste und teilweise zweite Obergeschoss bedeckte, bewirkte eine Reduktion der empfundenen Temperatur von ca. 1°C in einigen Meter Entfernung (siehe Abbildung 14 links). Die Gehsteigoberfl achen-temperatur liegt im Bereich vor der Grünfassade ca. 3°C unter der Gehsteigtemperatur vor den links und rechts angrenzenden Gebäude (siehe Abbildung 14 rechts). In der Thermalstrahlungsansicht (Abbildung 12) ist gut erkennbar, wie der Metahof-Park und der Baumbestand in den Innenhöfen eine kühlende Wirkung aufweist während sich die versiegelten Oberflächen markant erwärmen.

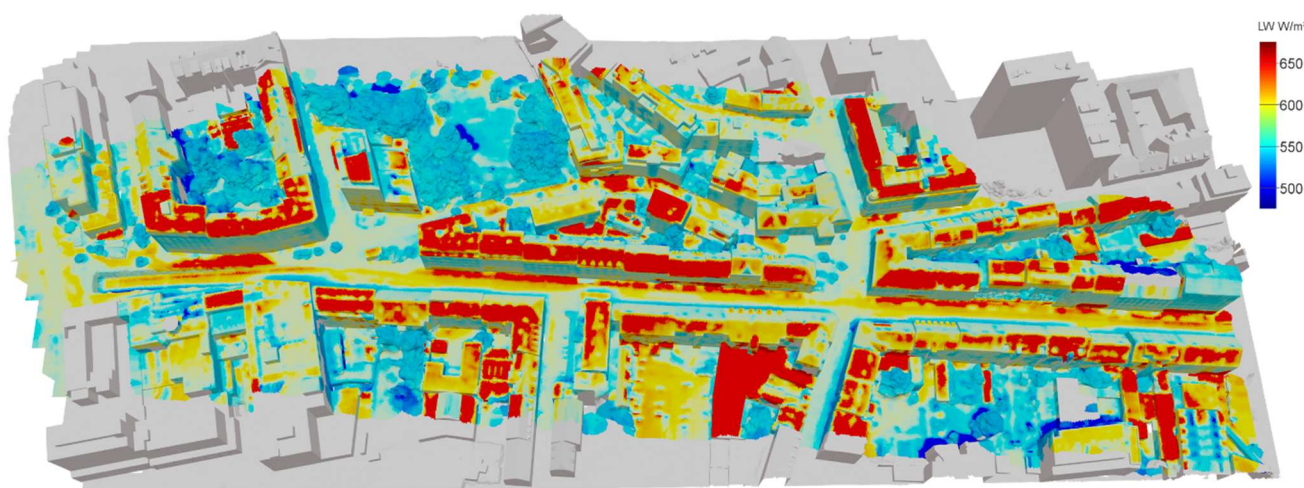


Abbildung 12 Gesamtansicht Auswertebereich Annenstr ae und Methofgasse - Wärmestrahlung



Abbildung 13 Gesamtansicht Auswertebereich Annenstr ae und Methofgasse - empfundene Temperatur

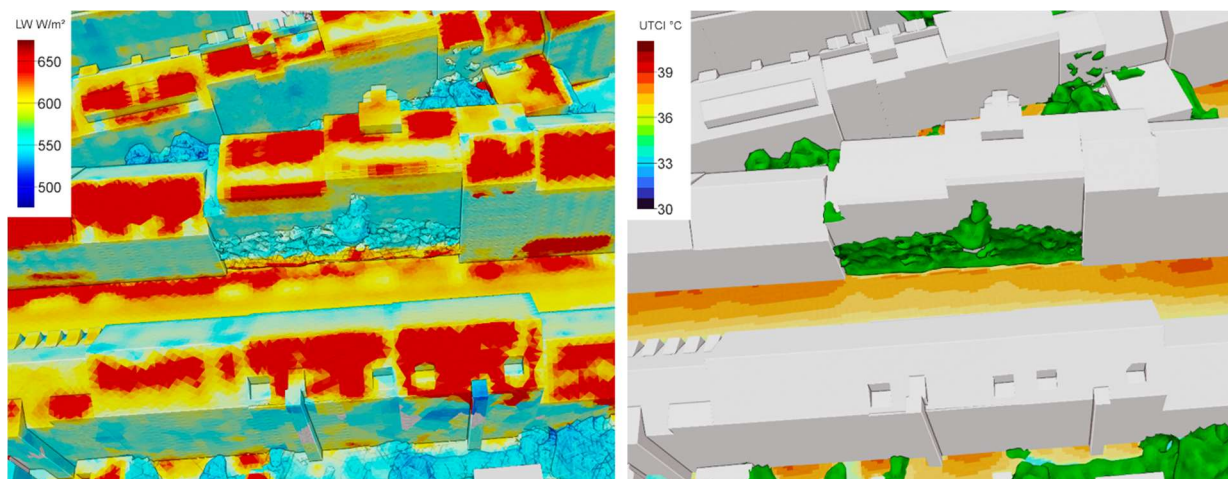


Abbildung 14 Wärmestrahlung (links) und empfundene Temperatur (rechts) vor UNIQA Grünfassade

Wielandgasse, Schießstattgasse, Schönaugasse, Grazbachgasse

Die Untersuchung des Gebiets wurde am 20.7.2022 um ca. 15:15 durchgeführt. Die Lufttemperatur lag im Mittel bei ca. 33°C. Wiederum zeigte sich der Effekt der Versiegelung deutlich. Die höchsten empfundenen Temperaturen wurden mit 42°C im Kreuzungsbereich Schönaugasse/Grazbachgasse detektiert. Der Grund hierfür liegt neben dem hohen Versiegelungsgrad in der reduzierten Windzugänglichkeit und der Anordnung der angrenzenden Gebäude, welche zu einer hohen solaren Absorption und Reflexion führen. Hingegen ist die Hitzebelastung im Kreuzungsbereich Schönaugasse/Wielandgasse geringer, da dieser Bereich windoffener ist.

Außerdem wurde die Wirkung der Grünfassade im westlichen Bereich der Schießstattgasse untersucht (siehe Abbildung 17). Auch hier ergab sich trotz der eher geringen Ausdehnung der Grünfassade ein deutlich positiver Effekt. Obwohl sich die Bodenflächen direkt vor der Fassade aufgrund dunkler Farbe relativ stark erwärmen, kann durch die Wirkung der Vegetation immer noch eine Temperaturreduktion der empfundenen Temperatur von ca. 1,5°C beobachtet werden. Die geringsten detektierten empfundenen Temperaturen wurden vor verschatteten Fassaden und in Innenhöfen festgestellt. Diese lagen im Mittel ca. 2°C unter der Lufttemperatur.

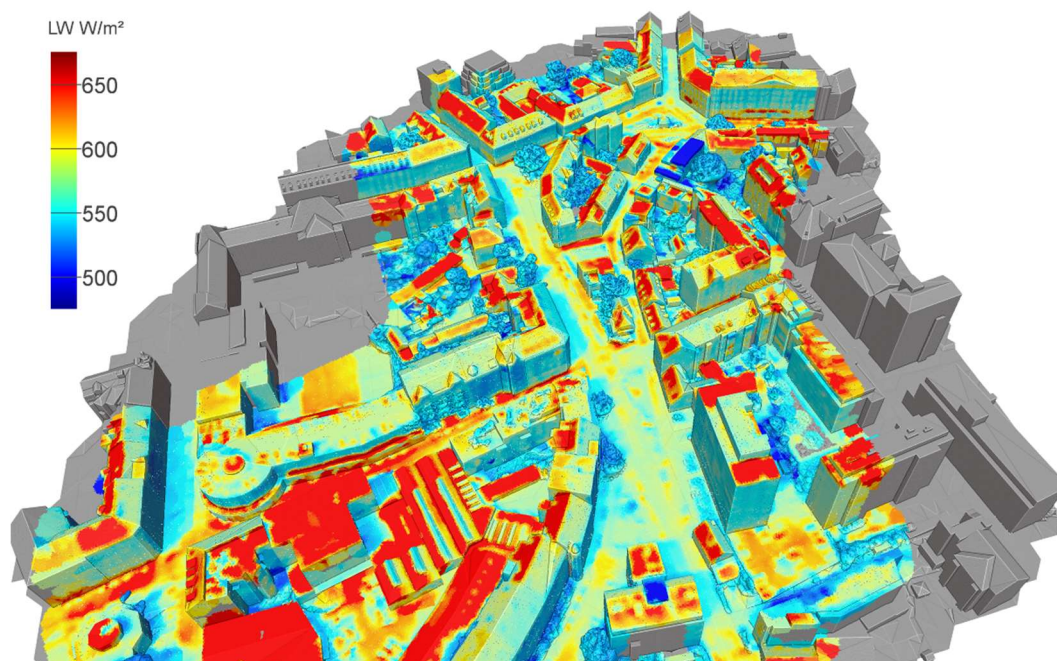


Abbildung 15 Gesamtansicht Auswertegbiet Wielandgasse, Schießstattgasse, Schönaugasse, Grazbachgasse - Wärmestrahlung

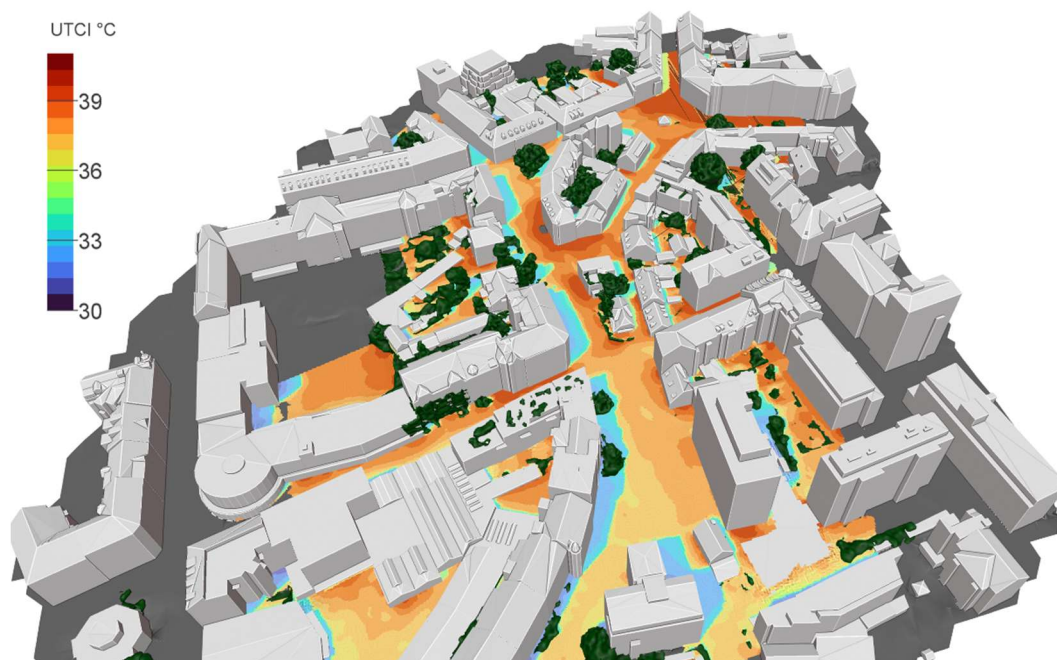


Abbildung 16 Gesamtansicht Auswertebereich Wielandgasse, Schießstattgasse, Schönaugasse, Grazbachgasse - Wärmestrahlung

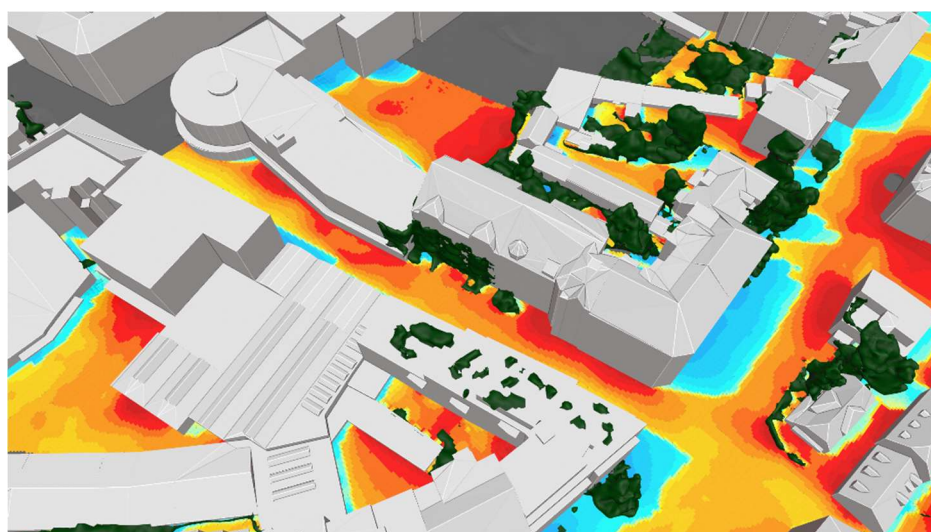


Abbildung 17 Detailansicht Schießstattgasse-Grünfasse, PMV-Index (Hitze-Index)

Reininghaus-Park

Am 22. August 2023 wurde das Gebiet Reininghaus-Park, Kratkystraße, Jochen-Rindt-Platz und Wetzelsdorfer Straße befliegen. Wiederum umfasste die Untersuchung zwei Befliegungen zu unterschiedlichen Tageszeiten. Die erste wurde bei Sonnenaufgang, und damit zum kältesten Zeitpunkt des Tages durchgeführt. Diese Befliegung dient insbesondere dazu, die nächtliche Auskühlung zu analysieren und die Albedowerte der Oberflächen abzuleiten. Die zweite Befliegung („Hitzebefliegung“) wurde um 14:30 durchgeführt und damit zwischen dem Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes und dem Zeitpunkt der höchsten Lufttemperatur. Das Auswertebereich war mit 271.000 m² das bisher größte. Ein Überblick über die Wärmestrahlung bei der Hitzebefliegung sowie die ausgewertete empfundene Temperatur zu diesem Zeitpunkt ist in Abbildung 18 bzw. 19 dargestellt. Die unterschiedlichen Bebauungstypologien, sowie die vorhandenen Park- und Wasserbereiche ließen interessante Erkenntnisse zu. Bei der Auswertung wird gut erkennbar, dass die identifizierten Hotspots meist auf eine Kombination aus ungünstigen (dunklen) Oberflächen und unzureichender Windzugänglichkeit zurückzuführen sind (siehe z.B. Abbildung 20 und 22). Zusätzlich führen auch die ausgedehnten, dunklen, asphaltierten Fahrbahnflächen zu einer hohen Wärmebelastung. Weiters konnte gezeigt werden, dass dunkle Fassadenflächen, im Vergleich zu hellen, ein Vielfaches an Solarstrahlung absorbieren. Die in Abbildung 23 rechts dargestellte Fassade absorbiert nahezu die dreifache Menge an Solarenergie. Einerseits bewirkt dies eine zusätzliche Erwärmung der Fassade, hier im Mittel von 2,5°C. Andererseits führt die zusätzlich absorbierte Sonnenstrahlung sowohl durch Wärmestrahlung als auch durch Wärmeabgabe an die Luft zu einer Erwärmung der unmittelbaren („intra urban heat island“) und weiteren Umgebung („urban heat island“). Eine signifikant positive Auswirkung haben in diesem Zusammenhang Dachbegrünungen. Bei der Untersuchung des Areals ist dies gut nachweisbar, da die Mehrzahl der analysierten Gebäude über solche verfügen (siehe Abbildung 21). Insgesamt zeigt der relativ hohe Vegetationsanteil im Untersuchungsgebiet einen positiven Effekt und reduziert die Hitzeinselbildung. Insbesondere auch die Auswertung der Befliegung bei Sonnenaufgang verdeutlicht den kühlenden Effekt der Vegetationsflächen, die damit als Kaltluftproduktionsstätten fungieren (siehe Abbildung 24 und 25). Die geringsten detektierten Temperaturen wurden im intensiv begrünten Bereich mit Baumbestand im Südwesten des Auswertebereichs detektiert (Abbildung 25).

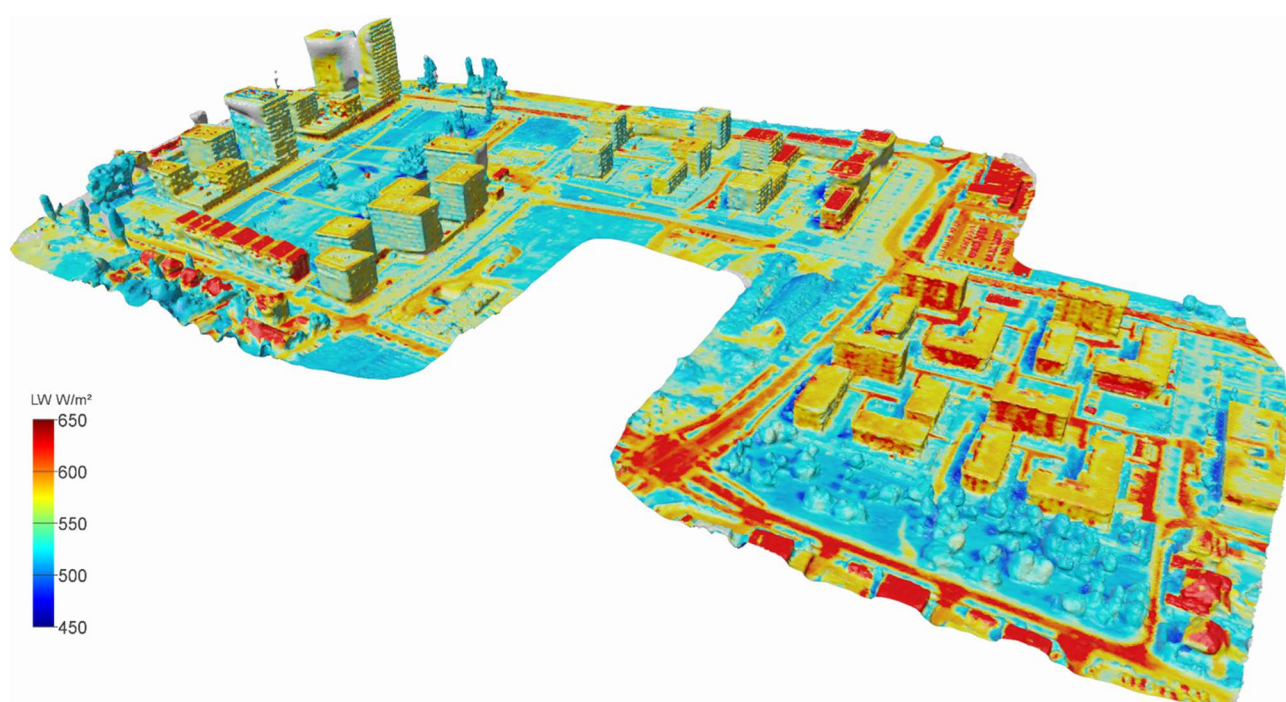


Abbildung 18 Gesamtansicht Auswertebereich Reininghauspark, Jochen-Rindt-Platz, Wetzelsdorfer Straße Wärmestrahlung (Hitzebefliegung)

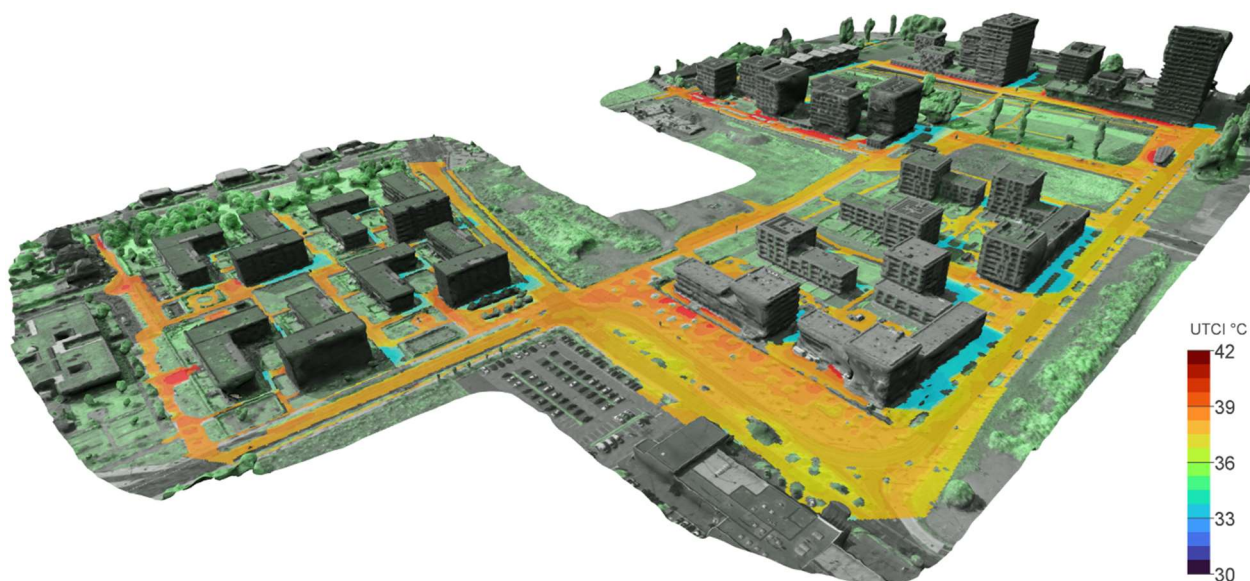


Abbildung 19 Gesamtansicht Auswertebereich Reininghauspark, Jochen-Rindt-Platz, Wetzelsdorfer Straße empfundene Temperatur (Hitzebefliegung)

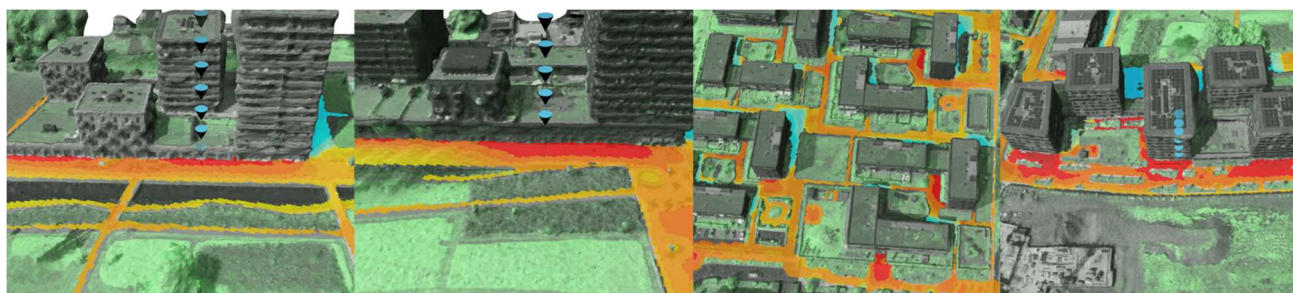


Abbildung 20 Einige identifizierte Hotspots

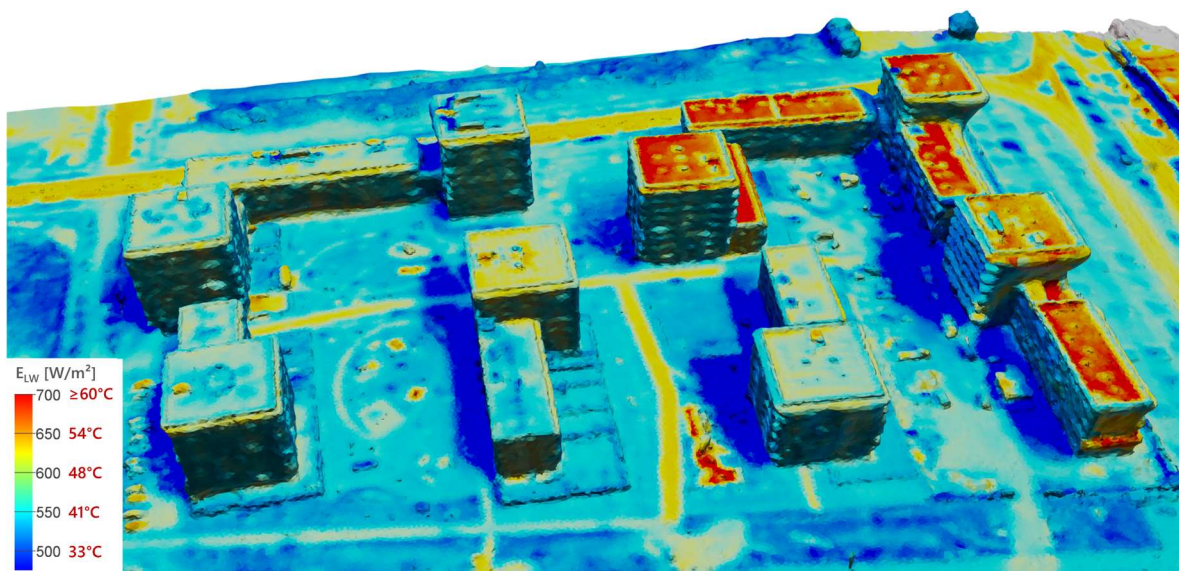


Abbildung 21 Vergleich Dachbegrünung - Wärmeabstrahlung Hitzebefliegung

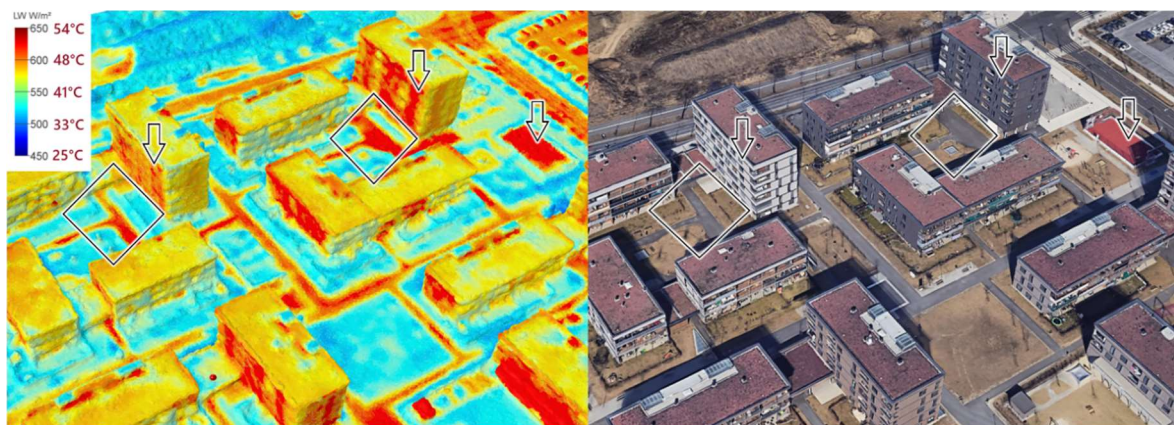


Abbildung 22 Analyse Tageserwärmung und Materialwahl

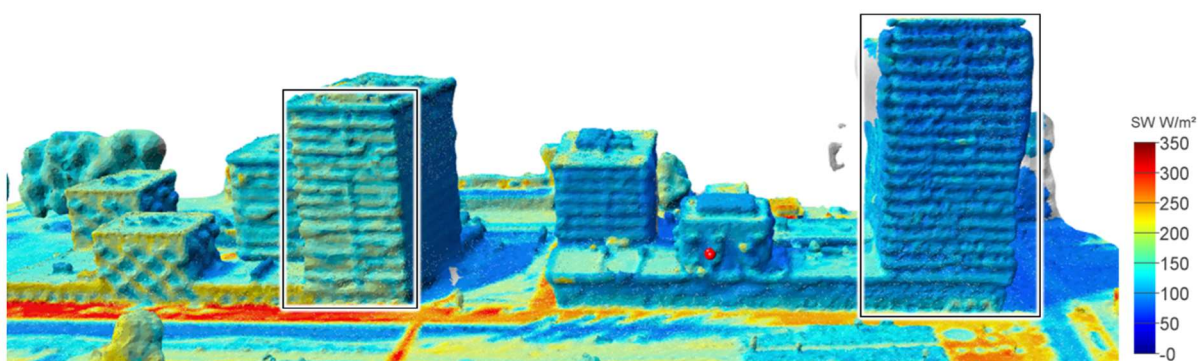


Abbildung 23 Analyse Albedo (solarer Reflexionsgrad) der Fassaden

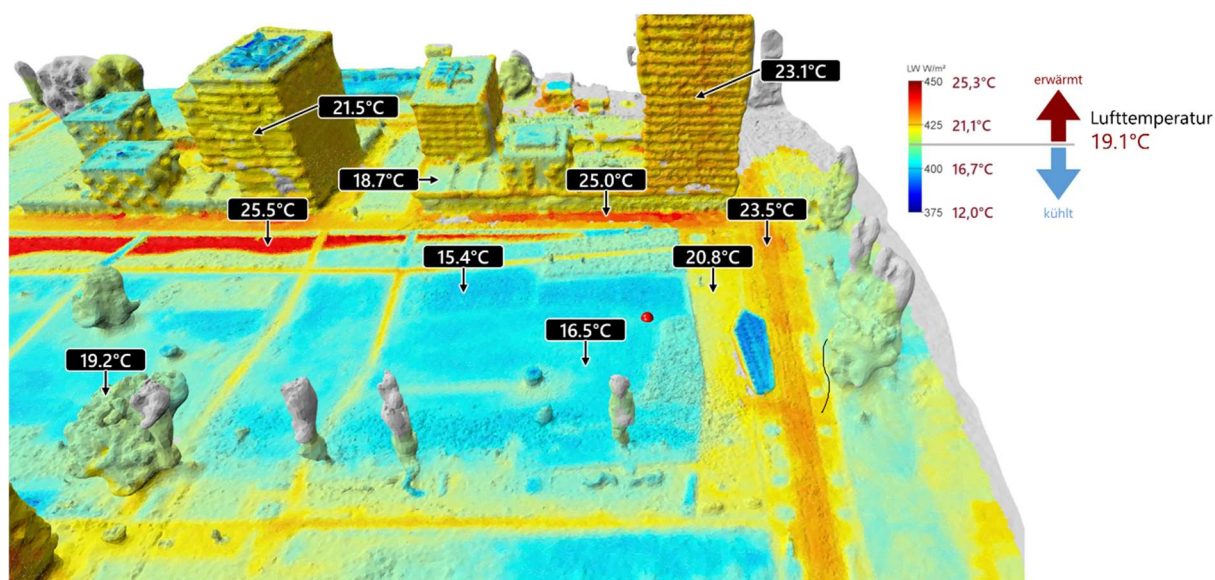


Abbildung 24 Analyse nächtliche Abkühlung. Strahlungstemperaturen der unterschiedlichen Oberflächen bei Sonnenaufgang – Auswertegbiet Nord

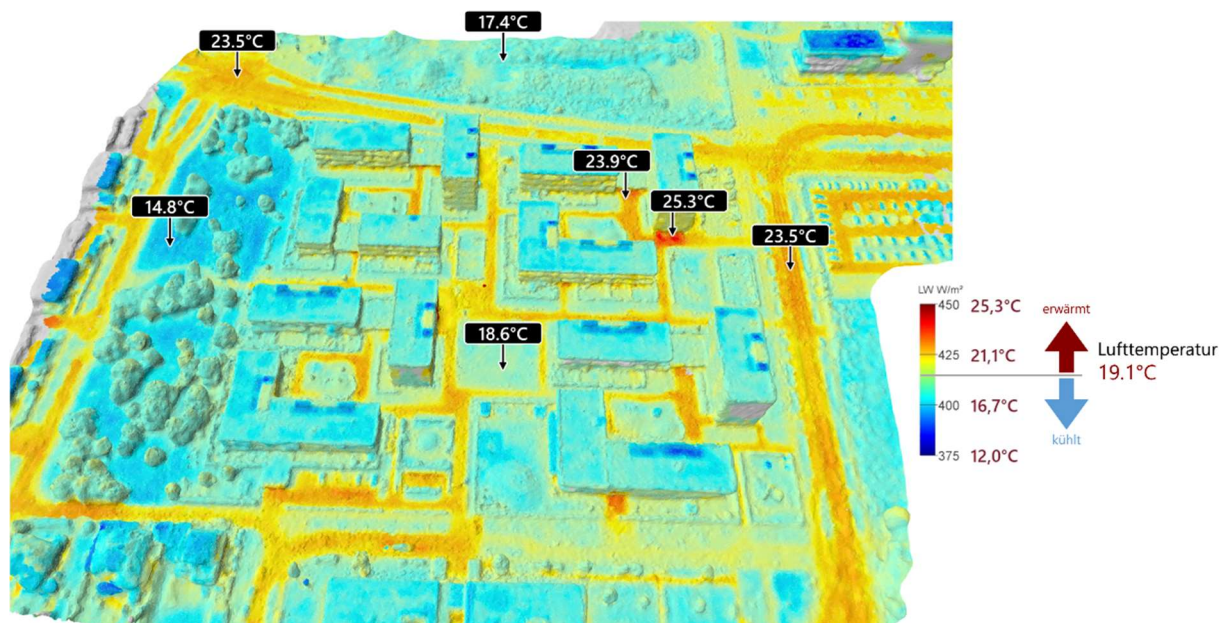


Abbildung 25 Analyse nächtliche Abkühlung. Strahlungstemperaturen der unterschiedlichen Oberflächen bei Sonnenaufgang – Auswertebereich Süd