

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	Imp_DroP
Langtitel:	Impact of longer Drought Periods on Climate in Greater Vienna: appropriate Mitigation measures
Zitiervorschlag:	Imp_DroP
Programm inkl. Jahr:	ACRP 13th call
Dauer:	01.01.2022 bis 21.12.2024
KoordinatorIn / ProjekteinreicherIn:	Ao. Univ. Prof. Mag. Dr. Philipp Weihs
Kontaktperson Name:	Ao. Univ. Prof. Mag. Dr. Philipp Weihs
Kontaktperson Adresse:	Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel Straße 33, A-1180 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43 1 47654-81424
Kontaktperson E-Mail:	philipp.weihs@boku.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	City of Vienna - Environmental Protection (MA 22) Vienna
Schlagwörter:	
Projektgesamtkosten:	299 551,-- €
Fördersumme:	299 551,-- €
Klimafonds-Nr:	KR20AC0K18165
Erstellt am:	26.03.2025

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Die thermische Belastung während Hitzewellen in städtischen Gebieten ist bekannt für ihre negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Um der Hitze entgegenzuwirken werden mehr Vegetation in die Stadt gebracht sowie versiegelte Flächen entsiegelt. Viele Gründächer und begrünte Fassaden werden jedoch nicht bewässert, was wiederum - bei eventuell längeren oder extremeren zukünftigen sommerlichen Hitzeperioden ohne Niederschlag - zu Trockenstress der Pflanzen führt. Infolgedessen wird die für die Kühlung der Stadt gewünschte Evapotranspiration von Vegetationsflächen reduziert. Während Trockenperioden kann die landwirtschaftliche Umgebung auch tagsüber nicht die volle Kühlwirkung entfalten. Weiters zeigen Simulationen, dass die Umwandlung von Sonnenenergie in Strom durch Photovoltaikanlagen die städtische Wärmeinsel verringern kann, da weniger Energie für die Erwärmung der Luft zur Verfügung steht. Die lokale Energieerzeugung durch Photovoltaik reduziert auch die anthropogene Wärme, die durch den Import von Energie in die Stadt entsteht.

Dieses Projekt zielte darauf ab, das Kühlungspotential von Grünflächen in und um Wien über die Evapotranspiration, den zukünftigen Bewässerungsbedarf von städtischen Grünflächen, den Kühleffekt von PV-Paneelen und die potenzielle anthropogene Wärmereduktion hauptsächlich durch die Elektrifizierung der lokalen Energieerzeugung und des Verkehrs zu quantifizieren.

An vier Messstandorten im Wiener Stadtbereich wurden auf begrünten Dächern automatische Topf-Lysimeter mit einem Aufbau für ein flaches und ein tiefes Bodensubstrat (10 cm bzw. 25 cm) installiert. Die dort gemessenen Daten der Verdunstungsraten wurden zur Kalibrierung des FAO-Modells nach Allen et al. 1998 verwendet, welches für die Simulation der Wasserbilanzkomponenten (u.a. Verdunstungsrate) für ausgewählte Dürreperioden auf Gründächern verwendet wurde. Daten aus einem landwirtschaftlichen Trockenheitsmonitoringmodell (ARIS) wurden verwendet, um die Bodenfeuchte und Verdunstungsraten der umliegenden landwirtschaftlichen Flächen von Wien zu simulieren. Zur Abschätzung der anthropogenen Wärmeströme Wiens wurden Energieverbrauchsdaten (Öl, Gas, Strom und andere) für verschiedene räumliche und zeitliche Skalen zusammengestellt, um die Energieflüsse aus dem Wiener Verkehr, den Dienstleistungen, den privaten Haushalten und der Industrie abzuleiten. Die Daten wurden für definierte Simulationszeiträume bereinigt und als Zeitreihenfunktionen auf Basis der Standardlastprofile entwickelt. Weiters wurden die Eigenschaften und Klimaeffekte, die durch den Einsatz von Photovoltaik auf Dächern entstehen, untersucht. Literaturrecherche und Kommunikation mit Stakeholdern dienten der Aktualisierung und Verfeinerung der Modellparameter. Mittels des gekoppelten WRF-TEB-Modells wurde die thermische Belastung während gegenwärtigen sowie zukünftigen sommerlichen Dürreepisoden berechnet. Mittels dem offline TEB Modell wurde weiters das Mikroklima und die

thermische Belastung im Innenraum, Straßenraum und der mikroklimatische Beitrag zum Stadtklima berechnet und Szenarien verglichen.

Die Analyse der Messungen zeigt, dass der Zustand und die Entwicklung der Dachpflanzen während der Vegetationsperiode eine wichtige Rolle für die Verdunstungsraten spielen. Die durchwurzelte Bodentiefe ist wichtig für die Dauer des Trockenstresses, machte aber keinen großen Unterschied für die maximalen Verdunstungsraten (v.a. bei Nässe und hoher Bodenfeuchte) zwischen den beiden verwendeten Vegetationstypen und Topfarten. Bei niedriger Bodenfeuchte und Trockenstress waren die Verdunstungsraten andererseits stark reduziert, und führten bei der intensiven Begrünung auch zum Absterben der Pflanzen. Daher ist eine unterstützende Bewässerung empfehlenswert, um die Dachpflanzen a) am Leben zu halten (insbes. bei intensiver Begrünung) und b) ein hohes Verdunstungspotenzial auch während Dürre- und Hitzeperioden aufrechtzuerhalten. Bei nicht verfügbarer Bewässerung sollte jedenfalls eine trockenheitsresistente (extensive) Pflanzenmischung verwendet werden, die sich auch ohne Bewässerung nach starker Trockenheit schnell erholt. Insgesamt wurden die trockensten Bedingungen an den Gründachstandorten mit höherer Windbelastung und geringer Beschattung festgestellt, was auf eine höhere Verdunstung und ein höheres Kühlungspotenzial bei ausreichendem Wasserangebot und einem aktiv wachsenden Pflanzendach hinweist.

Die Elektrifizierung von Fahrzeugen kann die anthropogenen Wärmeemissionen um bis zu 75 % reduzieren. An Orten mit hohem Verkehrsaufkommen kann die Lufttemperatur durch die Abwärme von Verbrennungsmotoren um 1-2 K ansteigen. Für die Klimaperiode um 2050 wird im RCP8.5 Emissionsszenario ein Anstieg von 3,76 K für eine 5-tägige Hitzewelle erwartet. Bei derzeit durchschnittlich isolierten Gebäuden können bewässerte Gründächer oder Straßenbäume (ohne Bewässerung) die Innentemperatur des Gebäudes um jeweils mehr als 1 K senken. Zusätzliche Kühlung kann durch Fensterbeschattung und Nachtlüftung erreicht werden. Obwohl Klimaanlage eine schnelle Abkühlung bewirken können, hat jedes Klimasystem seine Kapazitätsgrenzen. Eine Erhöhung des Reflexionsgrades (Albedo) der Dächer reduziert die Dachtemperaturen, den von den Dachflächen ausgehenden fühlbaren Wärmestrom sowie den thermischen Komfort in der Straßenschlucht. Die größte Verbesserung des thermischen Komforts für Fußgänger wird durch das Hinzufügen von Bäumen (-4 °UTCI) oder durch Entsiegelung und Bewässerung (-3 °UTCI) erreicht. Die höchste Verdunstungsrate auf Gründächern kann durch die Bewässerung von begrünten Dächern erreicht werden (bis zu 8 mm/d), wodurch die Dächer wirksam gekühlt werden. Die Verdunstung begrünter Dächern und niedriger Vegetation auf Straßenniveau kann die Verdunstung von Straßenbäumen (v.a. jenen mit eingegrenztem Wurzelraum) übersteigen. Bei maximaler Verdunstung im Großraum Wien inklusive Bewässerung des Marchfeldes, Entsiegelung in Wien und Ausschöpfung des vollen Gründachpotenzials (bewässert) kann die Lufttemperatur Wien im Flächenmittel während einer Hitzeperiode um 0,5 - 1,5 K reduziert werden. Die für eine Bewässerung dieses Ausmaßes notwendigen Wassermengen stehen in kritischer Konkurrenz zu den Trinkwasservorräten der Stadt.

2 Executive Summary

(max. 2 Seiten, Sprache Englisch) Siehe oben.

Thermal stress during heat waves in urban areas is recognized for its devastating effect on human health. A lot of effort to mitigate urban heat was put into planting more vegetation and removing sealed surfaces. However, many green roofs and green areas are not irrigated, which in turn leads – during eventually longer or more extreme future summer heat periods without precipitation – to drought stress of the plants. As a result, evapotranspiration from vegetation surfaces is reduced. Therefore, many non-irrigated green roofs may not reach the expected cooling effect.

During droughts, agricultural surroundings cannot provide full daytime cooling effects as well. Further, simulations show that the conversion of solar energy into electricity by photovoltaic panels may reduce the urban heat island since less energy is available for heating the air. Local energy production by PV also reduces the anthropogenic heat generated because less energy needs to be imported into the city. Taking this factor into account, the cooling effect of PV might be even higher.

This project aims to quantify the cooling potential of green areas within and around Vienna via evapotranspiration and future irrigation needs. Further, the cooling effect of PV panels and the quantification of potential anthropogenic heat reductions mainly by electrification of local energy production and transport is studied.

Four measurement sites are set up on green roofs in different local climate zones of Vienna (compact-midrise rooftop, compact-midrise below rooftop, open mid-rise and large low-rise). For microclimatic measurements, automatic pot lysimeters were installed at these four different green roof sites over the city of Vienna with a setup for a shallow and a deep soil substrate (10 cm and 25 cm, respectively). Besides the local microclimate (especially wind, temperature, air humidity as well as soil wetness within the pots), the mini lysimeters measured quantitatively water loss through evapotranspiration by weighing the pots. The measurement period started in June 2022 and ended by end of 2023, including 2 years of different weather conditions.

This data is used to calibrate the FAO model according to Allen et al. 1998, which simulates the soil moisture for selected drought periods on green roofs. ARIS (Drought monitoring system) data will be used to simulate the soil moisture of the surrounding agricultural areas of Vienna.

To estimate the anthropogenic heat flux of Vienna, energy use data (oil, gas, electricity, and others) are compiled for different spatial and temporal scales to derive the fluxes stemming from Viennese traffic, services, private households, and industry. The anthropogenic heat data was adjusted for the defined simulation periods and developed as time series functions based on the standard load profiles. This was done for the three categories (low residential, high residential, industry). These scenarios include energy use in buildings and traffic.

Further, the properties and climate effects caused by using photovoltaics on roofs are investigated. Literature research and communication with stakeholders are used to update and refine the prospective changes of Viennese building parameters used in the different urban categories of models.

All collected data was used to initialize, run, and validate the coupled WRF-TEB model and simulate the atmospheric condition for present and future summer drought episodes to estimate the expected thermal strain on inhabitants in Vienna. The offline TEB model is used to calculate the indoor temperature, urban canyon microclimate and the microclimatic contribution to the urban climate and to compare scenarios.

Analysis from the measurements reveal that the roof plants condition and development over the growing season play a major part in evapotranspiration rates. The thickness of the rooted soil layer is important for the duration of drought stress but made not much difference for the maximum evapotranspiration rate between the two used vegetation types between the two pot types. It can further be concluded that support irrigation is highly recommended for keeping the roof plants alive and thus maintaining a high evaporation potential over the season. As an alternative, a drought-resistant mix of plants may be used which allows a fast recovery after strong drought also without support irrigation. Overall, the driest conditions were found at the sites with higher wind loads and low shading, indicating higher evapotranspiration and cooling potential in case of enough available water and an active growing plant canopy.

For medium insulated buildings irrigated green roofs or street trees (without irrigation) can bring more than 1 K reduction in building indoor temperature each. Additional cooling can be achieved by window shading, ventilation during outdoor minimum temperatures or bright roofs. Although air conditioning can bring fast cooling, each air conditioning system has its limits of capacity. Additionally, air conditioning increases urban outdoor temperatures and electricity demand. Electrifying vehicles can reduce anthropogenic heat emissions by up to 75%. The greatest improvement of thermal comfort is achieved by the addition of trees at street level (-4 °UTCI) or unsealing and irrigation (-3 °UTCI). The highest levels of evapotranspiration can be achieved by irrigation of green roofs – ranging up to 8 mm/d – thus effectively cooling roof temperatures. Evapotranspiration of green roofs and low vegetation at street level can exceed evapotranspiration levels of street trees. Increase in reflectivity reduces roof temperatures, radiation temperatures, sensible heat flux and even improves thermal comfort in the street canyon. High traffic sites can cause an increase in air temperature by 1-2 K due to the wasted heat of combustion engines.

An increase of 3.76 K for a 5-day heat wave is expected for the climate period centered around 2050 in the RCP8.5 scenario. Using maximum evapotranspiration in the greater Vienna region including irrigation of Marchfeld, unsealing in Vienna and exploiting the full green roof potential (irrigated) air temperatures in the whole area of Vienna can be reduced during a heat wave by 0.5 – 1.5 K on average. This amount of water is in critical competition with the drinking water resources of the city.

3 Hintergrund und Zielsetzung

(max. 2 Seiten) Beschreibung von Ausgangslage, Aufgabenstellung und Zielsetzung.

Ausgangslage

Die thermische Belastung während Hitzewellen in städtischen Gebieten ist bekannt für ihre negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Um die Hitze in den Städten durch Erhöhung der Verdunstungskühlung entgegenzuwirken, werden große Anstrengungen unternommen mehr Vegetation in die Stadt zu bringen sowie versiegelte Flächen zu entsiegeln. Viele Gründächer und begrünte Fassaden werden jedoch nicht bewässert, was wiederum - bei eventuell längeren oder extremeren zukünftigen sommerlichen Hitzeperioden ohne Niederschlag - zu Trockenstress der Pflanzen führt. Infolgedessen wird die für die Kühlung der Stadt gewünschte Evapotranspiration (Gesamtverdunstung) von Vegetationsflächen reduziert. Daher erreichen unbewässerte Gründächer möglicherweise nicht die erwartete Kühlwirkung. Während Trockenperioden kann die landwirtschaftliche Umgebung auch tagsüber nicht die volle Kühlwirkung entfalten. Außerdem zeigen Simulationen, dass die Umwandlung von Sonnenenergie in Strom durch Photovoltaikanlagen die städtische Wärmeinsel verringern kann, da weniger Energie für die Erwärmung der Luft zur Verfügung steht. Die lokale Energieerzeugung durch Photovoltaik reduziert auch die anthropogene Wärme, die durch den Import von Energie in die Stadt entsteht. Unter Berücksichtigung dieses Faktors könnte der Kühleffekt der Photovoltaik sogar noch höher sein.

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Dieses Projekt zielt darauf ab, das Kühlungspotential von Grünflächen in und um Wien über die Evapotranspiration, den zukünftigen Bewässerungsbedarf, den Kühleffekt von PV-Paneelen und die Quantifizierung der potenziellen anthropogenen Wärmereduktion hauptsächlich durch die Elektrifizierung der lokalen Energieerzeugung und des Verkehrs zu quantifizieren.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

(max. 20 Seiten)

4.1 Darstellung des Projektes, der Ziele und der im Rahmen des Projektes durchgeführten Aktivitäten

Das Projekt quantifiziert das Kühlungspotenzial von Grünflächen in und um Wien durch Evapotranspiration und zukünftige Bewässerungsbedarfe. Zusätzlich werden die Kühlungseffekte von PV-Anlagen und die Reduktion anthropogener Wärme durch Elektrifizierung der Energieproduktion und des Verkehrs untersucht. Dazu wurden auf vier Gründächern in Wien (kompakte mittelhohe Bebauung auf/unter Dachniveau, offene Bebauung, großflächige niedere Bebauung) automatische Lysimeter installiert. Sie messen Bodenfeuchte, Verdunstung und Mikroklimadaten (z.B. Wind, Temperatur, Luftfeuchte). Die Messungen liefen von Juni 2022 bis Ende 2023. Mittels dieser Daten wurde das FAO-Modell (Allen et al., 1998) zur Simulation der Bodenfeuchte auf Gründächern in Trockenperioden kalibriert. Daten aus dem GIS-basierten Trockenheitsmonitoringssystem ARIS wurden für die Simulation der Bodenfeuchte im agrarischen Umland verwendet. Für die Berechnung der anthropogenen Wärme wurden Energieverbrauchsdaten (Öl, Gas, Strom) analysiert und in Zeitskalen für Verkehr, Haushalte und Industrie aufgeteilt. Szenarien basieren auf Lastprofilen für unterschiedliche städtische Kategorien. Zusätzlich werden die Effekte von PV-Anlagen untersucht und mit Stakeholdern abgestimmt. Alle Daten fließen in die Validierung und Simulation des gekoppelten WRF-TEB-Modells ein, welches die aktuelle und künftige sommerliche Hitzebelastung berechnet. Mittels dem offline TEB Modell wird weiters das Mikroklima und die thermische Belastung im Innenraum, Straßenraum und der mikroklimatische Beitrag zum Stadtklima berechnet und Szenarien verglichen.

4.2 Darstellung der wesentlichen Arbeitspakete und Aktivitäten.

WP2b Experimentelle Untersuchung: Für die Verwendung in diesem Projekt wurde ein Lysimeteraufbau (Topf-Lysimeter) für Gründächer entwickelt. Drei Bodenfeuchtesensoren wurden in die oberste Schicht der Lysimeter und das umgebende Gründach eingebaut. Nur an der Gartenbauschule wurden bewässerte und natürliche (Regen) bewässerte Topfversuche durchgeführt. Bei den regenbewässerten Topfversuchen ist das Einsetzen von Regen in den Daten deutlich zu erkennen. Ein weiterer Bodenfeuchtesensor wurde in der tieferen Schicht des Intensivbegrünungslysimeters installiert. Ergebnisse zeigen, dass die trockensten Gründächer an den windausgesetzten Standorten zu finden sind, was auf eine höhere potenzielle Evapotranspiration und ein höheres Kühlpotenzial an diesen Standorten hindeutet. Trotz der langen Trockenperiode im Sommer 2022 überlebten fast alle Pflanzen, die für die Dachbedingungen und die maximale Evapotranspiration ohne Pflege und ohne Bewässerung ausgewählt wurden. Jedoch waren die intensiven Dachbegrünungen durch Trockenstressfolgen nach einer Trockenheit länger inaktiv bis sie sich wieder erholt hatten, als die extensive, trockenresistentere Pflanzenmischung.

WP3b Berechnung der Verdunstungskühlung: Die Verdunstung (Evapotranspiration) wurde nach dem Ansatz von Allen et al. 1998 berechnet. INCA Wetterdaten wurden als Eingabevariablen verwendet, da wir keine oder unvollständige in-situ Messdaten für alle ausgewählten Zeitperioden hatten (diese wurden mit verfügbaren gemessenen Temperatur- und Niederschlagswerten verglichen und stimmten sehr gut überein). Die INCA Winddaten wurden in einem weiteren Schritt adaptiert, um die lokalen Windströmungsverhältnisse an den untersuchten Standorten zu berücksichtigen (Regression zwischen gemessenen Winddaten und INCA Winddaten pro Standort).

WP3a Berechnung der anthropogenen Wärme: Die Analyse der Energieflüsse in Wien zeigte, dass die meisten Primärenergieträger importiert werden. 47 PJ Öl (das ist mehr als ein Drittel des gesamten Wiener Endenergieverbrauchs) werden jährlich im Verkehrssektor verbrannt, der aufgrund ineffizienter Energieumwandlung die höchsten Wärmeverluste verursacht. Das absolute Ausmaß, das die thermische Behaglichkeit in Straßenschluchten beeinträchtigt, musste anhand von NOx-Emissionskarten lokalisiert werden.

WP4 Szenarien und Inputdaten: Die Auswahlkriterien für Dürreepisoden wurden definiert als ein zweijähriges Ereignis mit einem kumulierten negativen NPET (Niederschlag - potenzielle Evapotranspiration (PET)), das 5 mm Niederschlag nicht übersteigt. Als Zeitrahmen wurde das Jahr 2050 festgelegt, in dem das Null-Emissions-Ziel Wiens (2040) bereits seit 10 Jahren erreicht sein sollte. Trotz allem Optimismus wurde zum Vergleich auch ein anthropogenes Wärme-Worst-Case-Szenario mit Klimaanlage und fossilem Brennstoffeinsatz entwickelt. Bei den Klimaszenarien wurde neben Dürreepisoden ein Status-quo-Szenario mit keinem Bewässerungsbedarf definiert. Neben einem Szenario mit maximaler Bewässerung wurde auch ein Szenario mit angepasster Bewässerung der Kulturen betrachtet.

WP5 Verbesserung und Validierung des multi-skaligen Klimamodells: Für die Simulation der in WP4 definierten Zeiträume wurde das gekoppelte WRF-TEB-Modell verwendet. WRF-TEB koppelte ein städtisches Landoberflächenmodell (das einschichtige Town Energy Balance Modell) mit einem Wettermodell (Wetterforschungs- und Vorhersagemodell). Diese Kombination ermöglichte die Berechnung des Zustands der Atmosphäre gleichzeitig mit den Wechselwirkungen und Rückkopplungen mit Menschen und Gebäuden zu berechnen. Für die Ausführung des WRF-TEB-Modells verwendeten wir das Mellor-Yamada-Janjic TKE-Schema (planetarisches Grenzschichtschema), RRTMG als langwelliges Strahlungsschema und WSM6 als Mikrophysik-Schema. Das NOAH-Landoberflächenmodell wurde mit modifizierten Corine-Daten als Eingangsdaten verwendet. Außerdem wurden die Eingangsdaten für die Bodenfeuchte mit ARIS-Daten aktualisiert, um die Modellleistung zu verbessern. Ergebnisse der FAO-Methode wurden zur Initialisierung von Gründächern verwendet. Anthropogene Wärmeströme, HVAC, PV und Bewässerungseinstellungen wurden aktualisiert.

WP6 Mikro- und mesoskalige Klimamodellierung: Neben dem WRF-TEB Modell (sh. WP5) wurde für das Projekt die neueste SURFEX-Version (SURFEXv9), welche die neueste TEB-Entwicklung sowie das Boden-Vegetations-Atmosphärenmodell ISBA und andere Module enthält, auf VSC-4 kompiliert, um

im Projekt verwendet zu werden. Dadurch wurden zusätzliche Funktionen freigeschaltet, die eine detailliertere Darstellung des dargestellten Mikroklimas sowie mehr Optionen in den Offlineläufen ermöglichen. Einige davon sind eine neue Beschreibung des menschlichen Verhaltens in Gebäuden (Nachtlüftung) sowie die TEB-Option für Beschattung durch Straßenbäume im Straßencanyon.

WP7 Analyse der Ergebnisse und Schlussfolgerungen: Datenanalyse und Kommunikation mit den Interessengruppen.

4.3 Präsentation der Projektergebnisse.

4.3.1 Beobachtungsperiode

Erkenntnisse aus den Lysimeter Messungen

(1) Messergebnisse

Für die beiden Messjahre von Juni 2022 bis Dezember 2023 zeigt das kalibrierte FAO-Modell an allen Messstandorten im Vergleich zu anderen aktuellen Studien eine gute Übereinstimmung, mit einer leichten Überschätzung bei mittleren Verdunstungsraten in der Simulation (siehe beispielhaft den AKH-Dachstandort, Abb. 1).

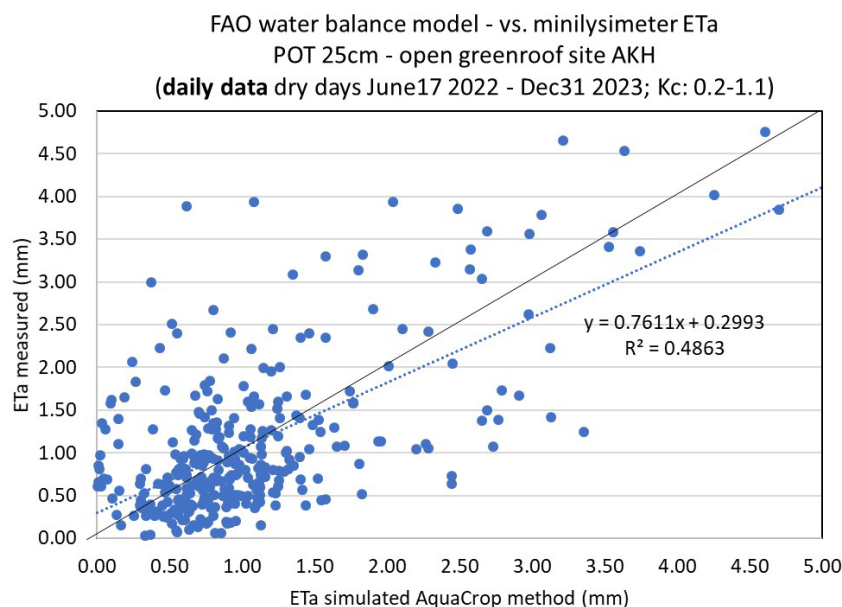


Abbildung 1: Vergleich der täglichen tatsächlichen Evapotranspiration, gemessen mit dem Mini-Lysimeter, vs. simuliert nach der FAO-Methode (kalibriert für die beiden Messjahre und angepasster Kc-Faktor für das intensive Gefäß (25 cm Substratdicke); Gründachstandort, AKH, Wien)

Der identifizierte kritische Faktor für die Kalibrierung des FAO-Modells ist der Pflanzenfaktor (Kc), aufgrund seiner zeitlichen Variabilität auf Gründächern unter regenabhängigen Bedingungen, der gegen den gemessenen Verlauf der tatsächlichen Evapotranspiration angepasst wurde. Der nächste Schritt war die Validierung des Modells an den anderen Standorten unter Verwendung des AKH-

Standorts als Kalibrierungsstandort. Abb. 2 zeigt den Verlauf der Messungen und Simulationen der tatsächlichen Evapotranspiration im zweiten Messjahr 2023.

Wie zu sehen ist, traten mehrere Abweichungen im täglichen Zeitschritt auf, obwohl wir bereits Tage mit Regen entfernt hatten. Diese Abweichungen basieren auf Unsicherheiten, die durch Messlücken sowie durch die Verwendung von Proxy-Daten für Niederschlag, Globalstrahlung und teilweise Wind von einer repräsentativen Geosphere-Wetterstation (Hohe Warte) für die Simulation entstanden. In Abb. 2 für AKH sowie in den Ergebnissen der anderen drei Standorte sehen wir die Unterschiede der gemessenen Evapotranspiration zwischen dem extensiven und dem intensiven Lysimeter-Gefäß. Es zeigt sich, dass die Dicke der Substratschicht wichtig für die Dauer des Dürrestresses bzw. für die gesamte Evapotranspiration. Sie verursacht jedoch keinen großen Unterschied für die maximale Evapotranspirationsrate zwischen den beiden verwendeten Vegetationstypen. Diese Effekte wurden weiter quantifiziert unter Verwendung der kalibrierten Simulation aller 4 Standorte.

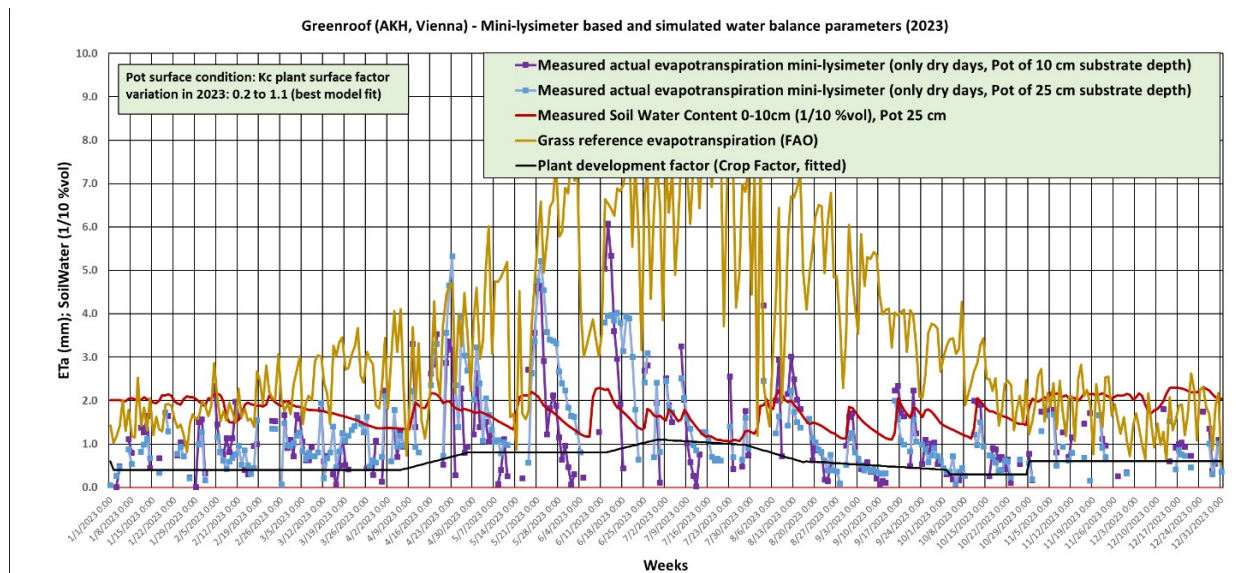


Abbildung 2: Gras-Referenz-Evapotranspiration (simuliert nach FAO-Schema), täglich gemessene tatsächliche Evapotranspiration (für sowohl extensiven als auch intensiven Lysimeter-Topf), gemessener Bodenwassergehalt und angepasster Kulturfaktor für Topf 25 cm (intensiv); Gründachstandort AKH, Wien

Basierend auf dem kalibrierten Gründach-Wasserbilanzmodell (FAO-Modell) berechneten wir die Bodenwasserbilanzkomponenten für jedes Gründach-Standortexperiment für ausgewählte vergangene Jahre für die anderen drei Gründachstandorte. Im Vergleich zu den regenabhängigen Bedingungen zeigen die bewässerten eine 2- bis 3-fache (400 mm vs. >1200 mm) Erhöhung der jährlichen tatsächlichen Evapotranspiration (und des damit verbundenen Kühlpotenzials), abhängig vom Jahr und seinem spezifischen Wettermuster.

(2) Vergleich WRF-TEB mit Messdaten

Die Validierung des WRF-TEB-Modells wurde mit Stationbeobachtungen des Österreichischen Wetterdienstes durchgeführt. Der diurnale Zyklus und die

allgemeine Erwärmung während der Hitzewelle werden vom Modell gut erfasst. Die beste Übereinstimmung zwischen Modell und Beobachtungen wurde in der Umgebung von Wien (Wien-Jubiläumswarte und Groß-Enzersdorf) gefunden, während in den dichter bebauten Gebieten von Wien eine Unterschätzung der Temperatur in Wien-Innere Stadt und eine reduzierte Kühlung während der Nacht, zumindest an einigen Tagen der Hitzewelle, in Wien Hohe Warte zu beobachten sind. Diese Unterschiede könnten teilweise auf die städtischen Straßenschluchteninformationen des Modells und die standardisierten meteorologischen Messungen des Wetterdienstes zurückzuführen sein

Der Vergleich mit den Ergebnissen der FAO Methode (Abb. 3) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung für Evapotranspiration zwischen dem großen bewässerten Topf und dem WRF-TEB Modell (Annahme 100% Intensivbegrünung ideal wasserversorgt).

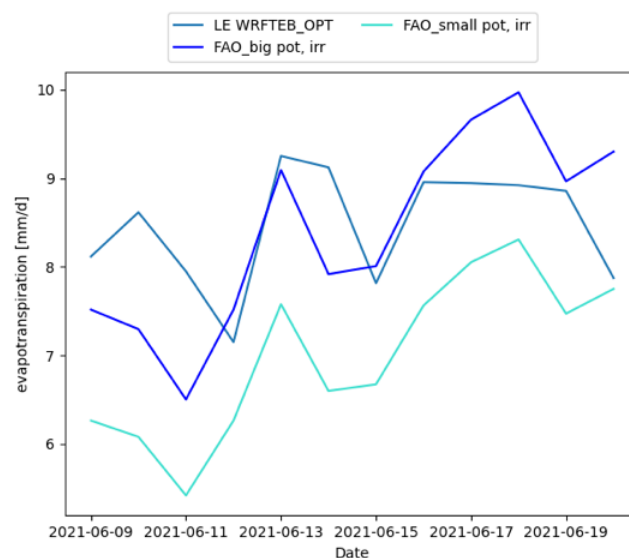


Abbildung 3: Vergleich der Gründach Tages-Verdunstung der FAO Methode (sh WP3a) und WRF-TEB (WP5)

(3) Vergleich mit SURFEX-TEB Modell

In Abbildung 4 wird werden die Ergebnisse der FAO-Methode mit dem SURFEX/TEB Modell (welches mit WRF-TEB angetrieben wurde) verglichen. Es werden Ergebnisse der großen und kleinen Topfmodellentests nach der FAO-Methode (durchgezogene Linien) den Ergebnissen für Gras und Sedumdach aus SURFEX/TEB gegenübergestellt (strichlierte Linien). Alle Varianten werden jeweils mit und ohne Bewässerung dargestellt. Die nicht bewässerten Ergebnisse (rote und gelbe Linien) zeigen eine stark reduzierte tatsächliche Evapotranspiration von etwa 1 mm pro Tag. Im bewässerten Fall (blaue Linien) liegt die tatsächliche Evapotranspiration bei etwa 5 mm für TEB und mehr als 6 mm für die FAO-Methode, wobei die Schwankungen auf Tagesebene beim TEB Modell etwas weniger deutlich ausgeprägt sind. Hier zeigt die tatsächliche Evapotranspiration des Gründachs eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der FAO-Methode für den großen Topf, sowohl in Bezug auf die Größenordnung als auch auf die tägliche Variabilität.

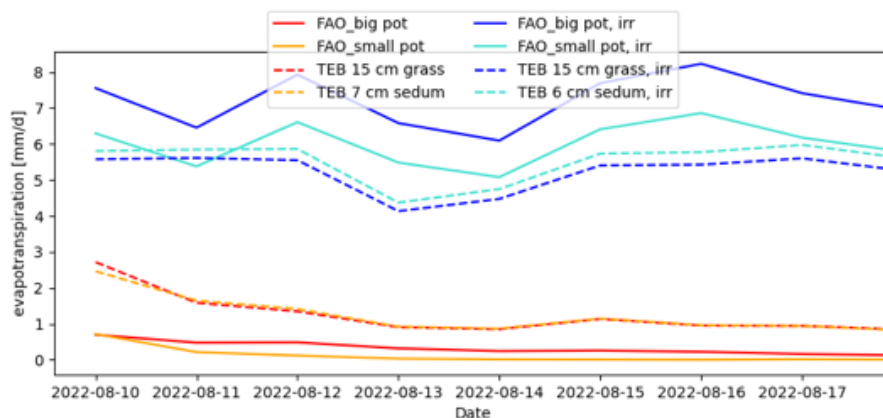


Abbildung 4: Vergleich der Gründach Evapotranspiration Ergebnisse der FAO Methode (sh WP3a) und SURFEX/TEB (WP5)

Quantifizierung von Vegetationsergebnissen und anderen Maßnahmen zur Kühlung

(1) Marchfeld (WRF)

Unter Verwendung des GIS-basierten Agricultural Risk Information System (ARIS) (Eitzinger et al. 2024), welches ein kulturartenspezifisches Dürremonitoring beinhaltet, kann der Bodenwassergehalt auf Gitterebene mit einer Auflösung von 1 km anhand der relativen Bodensättigung (RSS) und der Feldkapazität abgeleitet werden. Die RSS beschreibt die pflanzenverfügbare Bodenwasserentnahme über zwei Bodenschichten (Ober- und Unterboden) für die Hauptkulturen (Mais, Sommergerste, Winterweizen) sowie für Grünland und berücksichtigt die spezifischen Vegetationsperioden der unterschiedlichen Kulturen in der Region um Wien.

Für diese Studie wurden die täglichen RSS für vier Zeiträume berechnet: 15.07.-26.07.2004, 06.08.-17.08.2018, 09.06.-20.06.2021 und 10.08.-20.08.2022. Für Juni wurden die RSS-Werte von Winterweizen verwendet (2021), für Juli und August der durchschnittliche RSS-Wert zwischen der Sommerfrucht Mais und Winterweizen, der ab Mitte Juli als Brache simuliert wurde (2004, 2018, 2022). Um

die tatsächliche Evapotranspiration für die verschiedenen Kulturen als Output zu

WRF Initial Soil Moisture Aug 2022

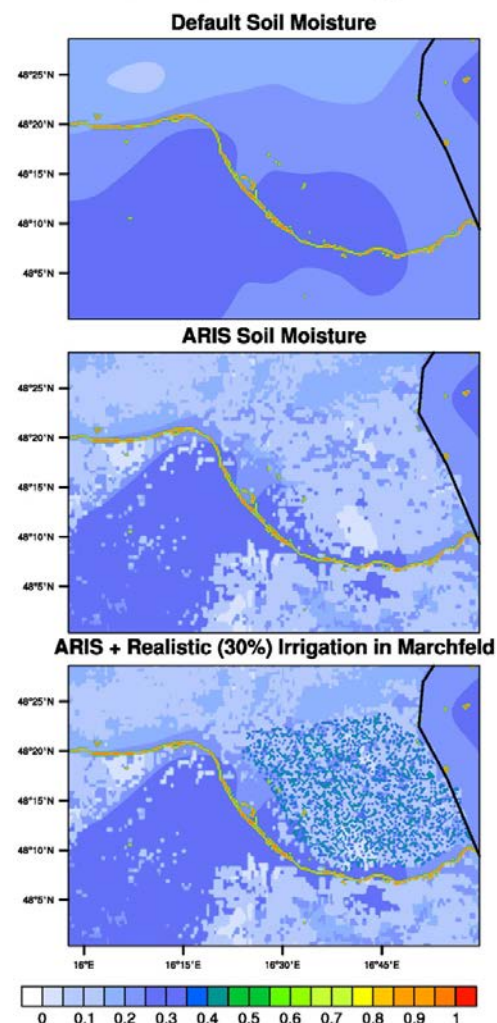


Abbildung 5: Bodenfeuchte [$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$] WRF-TEB am 2022-08-10 (WP3b)

erhalten, wurde das ARIS-Modell umprogrammiert, um Berechnungen für die ausgewählten Zeiträume zu ermöglichen. Die tatsächliche Evapotranspiration wurde anschließend zur Evaluierung des regionalen Klimamodells WRF herangezogen. In Abbildung 5 sieht man, dass die tatsächliche Bodenfeuchte deutlich geringer und auch räumlich viel differenzierter ist als in WRF standardmäßig angenommen. Daher sind die im Projekt gerechneten Ergebnisse deutlich besser als bisherige Berechnungen in diesem Gebiet.

(2) Gebäude (SURFEX/TEB)

Auswirkungen auf den thermische Komfort im Innenraum

Wenn wir über Hitzestress im Sommer sprechen, ist der Hauptparameter, der uns betrifft, die Innentemperatur, da Menschen dort die meiste Zeit verbringen. Daher sollte dieser Wert besonders betrachtet werden. Der Hauptkonkurrent aller energiesparenden und emissionsarmen Kühlmaßnahmen ist die technische Lösung Klimaanlage (sh. D_HVAC in Abb 6). Wie in Abb. 6 zu sehen, sorgt die Klimaanlage für eine effektive Kühlung (in unserer Simulation bis zu 8.2 K Kühlung im Vergleich zu keiner Maßnahme), jedoch nur, bis die Kapazität des Geräts erreicht ist. Darüber hinaus steigen die Innentemperaturen auch in klimatisierten Gebäuden an. Eine weitere effektive Maßnahme ist die Lüftung während der Stunden, in denen die Außentemperatur deutlich kühler als die Innentemperatur ist. Weiße Dächer sind als kostengünstige Maßnahme zu erwähnen. Auch die Beschattung von Fenstern während den Stunden hoher Sonneneinstrahlung ist sehr effizient, um den Innenraum kühl zu halten. Die letzten drei Maßnahmen sind in Abb 6. als ein Szenario zusammengefasst (E_VENSDALB: VENTilation, SHading, ALBedo) um die Möglichkeit aufzuzeigen, wie man ohne Strom- und Wasserverbrauch Kühlung im Innenraum erreichen kann. Im Vergleich zu diesen Maßnahmen, hat der Einsatz von Vegetation (bewässertes Intensivdach: A_GRI, Straßenbäume: C_TREE) einen geringeren, aber dennoch kühlenden Einfluss auf die Innentemperatur (Abb. 6).

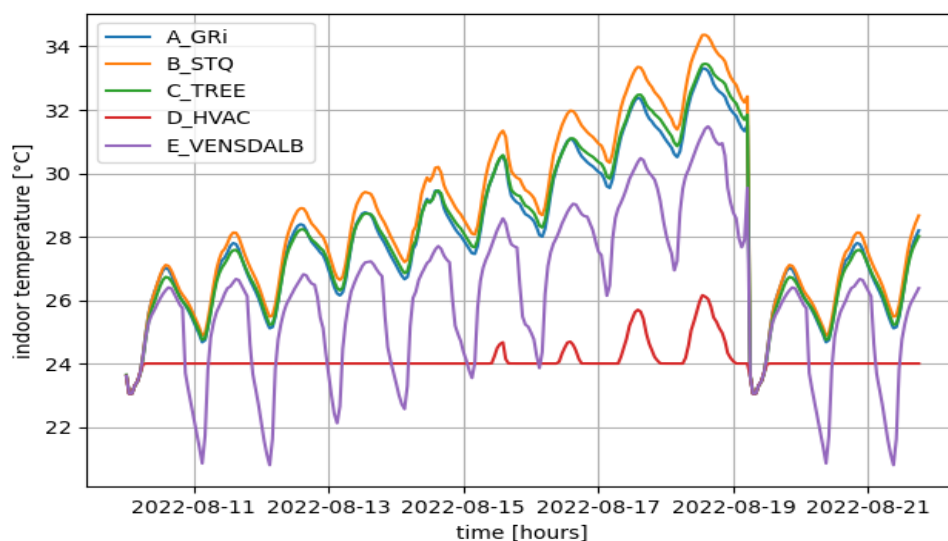


Abbildung 6: Entwicklung der Innenraumtemperatur unter unterschiedlichen Szenarien (bewässerte intensive Gründächer (A_GRI), keine Maßnahme (B_STQ), Straßenbäume (C_TREE), Klimaanlage (D_HVAC), Nachtlüftung, Jalousien und helle Dächer (E_VENSDALB) sh. C6 Methodik) während der Beobachtungsperiode.

Auswirkungen auf das Stadtklima: Beitrag zur mesoskaligen Erwärmung

Um den Beitrag einer Stadtstruktur inklusive der dort verwendeten Maßnahmen zum allgemeinen Hitzestress einer Stadt beiträgt, müssen wir die von dort ausgehenden turbulenten Flüsse – den fühlbaren und latenten Wärmestrom betrachten.

In der Stadtstruktur sind Dächer wesentlicher für das großräumige Stadtklima als der Straßencanyon. Dort implementierte Maßnahmen haben somit zwar weniger Wirkung für Fußgänger, jedoch haben Einfluss auf die Lufttemperatur und Luftfeuchte und damit dem thermischen Komfort größerer Stadtgebiete. Daher wirken Maßnahmen, die das Dach kühl halten wie Erhöhung des Reflexionsgrades (Albedo) der Dächer, Erhöhung der Evapotranspiration oder Montage von Solarpanelen zur Erzeugung von Strom nicht nur kühlend auf das Gebäude und die Innenraumtemperatur, sondern auch kühlend auf das Stadtklima, da weniger Energie zur Erwärmung der Luft über den Dächern zur Verfügung steht. Werden hingegen Klimaanlage am Dach angebracht und auf Dachniveau zusätzliche Wärme abgegeben, verstärkt dies die Erwärmung der urbanen Grenzschicht und somit der gesamten Stadt weiter.

Simulationen in diesem Projekt haben gezeigt, dass die Evapotranspiration von Gründächern ist höher als die von unversiegelten Flächen auf Straßenniveau sein kann. Auch Maßnahmen im Canyon zeigen Wirkung, jedoch zu einem geringeren Außmass als das Dach. Die Szenarien mit niedriger Vegetation auf Straßenniveau (LV) wiesen höhere maximale Verdunstungsraten auf als Straßenbäume (TREE). In allen Fällen waren die bewässerten Varianten (i) effektiver. Die Art des Gründachs (Sedum/Rasen) oder des Baums (dichte/lichte Krone) war dabei zweitrangig.

(3) Straßencanyon (SURFEX/TEB)

Wenn die Innentemperaturen die thermischen Komfortgrenzen überschreiten, wird oft thermische Entlastung in den nahegelegenen städtischen Freiflächen gesucht. Ebenso ist die Lufttemperatur/Luftfeuchte im Straßencanyon für die Wirksamkeit von nächtlicher Lüftung sowie Klimaanlage. Daher präsentieren wir nachfolgend Ergebnisse für eine typische Wiener Straße aus dem Blockrandbebau der Gründerzeit (Nähe Gürtel, AKH).

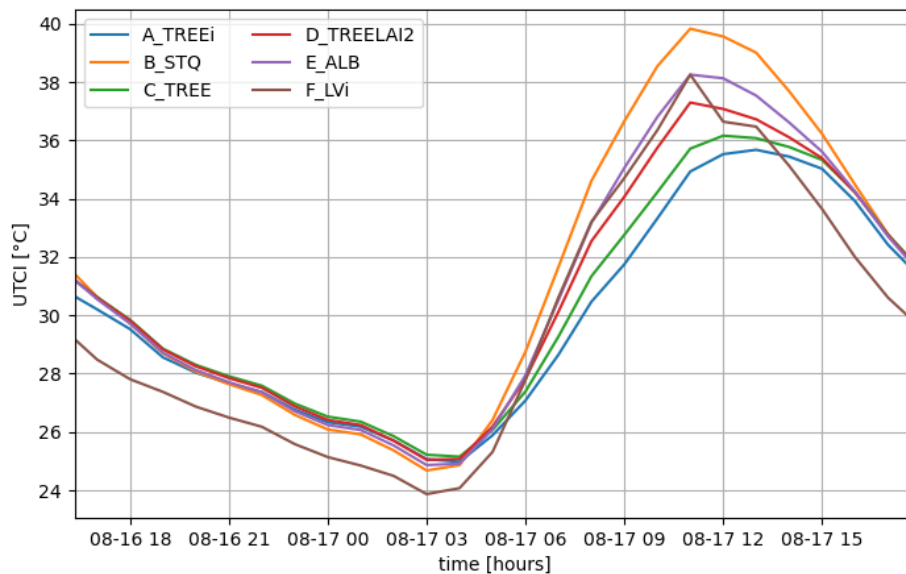


Abbildung 7: Stündliche UTCI Werte im Straßencanyon (16-17.Aug 2022) für unterschiedliche Maßnahmen (Straßenbäume bewässert (A_TREEi), keine Maßnahme (B_STQ), Straßenbäume (C_TREE), lichte Straßenbäume (D_TREE LAI2), helle Dächer (E_ALB), niedrige bewässerte Vegetation im Straßencanyon (F_LVi); sh. C6 Methodik)

Thermischer Komfort im Straßencanyon

Im Außenbereich spielen neben der Lufttemperatur zunehmend die einfallende Solarstrahlung und die Windgeschwindigkeit eine Rolle für den thermischen Komfort von Fußgängern. Deshalb zeigen wir den Universal Thermal Comfort Index (UTCI), der diese Parameter zusätzlich zur Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit berücksichtigt. Hier konnte die stärkste Reduktion durch Baumschatten erreicht werden (sh Abb 7. TREE, TREEi, TREE LAI2). Selbst Bäume mit geringer Blattflächen-Dichte (LAI2) führen zu einer deutlichen Reduzierung des UTCI. Bewässerung (i) kann zusätzliche Kühlung bewirken. Die Bewässerung niedriger Vegetation (LV) in der Schlucht ohne Schatten bietet am Morgen nur geringe, jedoch am Nachmittag und in der Nacht spürbare Kühlung. Während einer Hitzewelle summiert sich der Kühleffekt bewässerter Rasenflächen und macht diese aufgrund ihrer starken nächtlichen Kühlung zur effektivsten Maßnahme. Hierbei ist zu beachten, dass ein dicht bebautes Stadtviertel simuliert wird – in städtischen Bereichen mit breiteren Straßenprofilen, höherer Belüftung und stärkerer Einstrahlung könnte der Schattierungseffekt über längere Zeiträume wirksamer sein. In der simulierten Geometrie wurden die Windgeschwindigkeit durch die Einbeziehung von Bäumen nahezu halbiert. Die wahrgenommene Kühlwirkung durch Evapotranspiration, hängt entscheidend vom Wassergehalt der Luft ab. Bei 25 °C, 30 °C und 35 °C wird diese Schwelle bei etwa 59 %, 45 % und 35 % relativer Luftfeuchtigkeit erreicht. Dies bedeutet, dass bei (unrealistischer) intensiver und vollständiger Bewässerung ganzer Straßenschluchten (LVi) am Vormittag nur wenig Kühlung erreicht werden könnte. Deshalb sollte in engen Stadträumen auf eine gute Belüftung geachtet werden um bei Bewässerung den Kühleffekt zu erhalten. In Abb. 7 ist zusätzlich ein Szenario mit höherem Dach

Albedo (ALB) enthalten. Trotz der räumlichen Distanz wurde eine tagsüber eine Kühlwirkung von über 1.5 °UTCI simuliert.

Anthropogener Wärmefluss

(1) Quantifizierung der Wärmeemission im Großraum Wien

Zunächst wird das Flussdiagramm für die Hauptstadt Österreichs für den August 2015 in Abb. 8 dargestellt. Ein Flussdiagramm ist eine Darstellung des Energiemengenflusses innerhalb eines zu betrachtenden Systems, in diesem Fall Wien, in einem bestimmten Zeitraum, hier der August 2015. Die Daten stammen aus einer Mischung von veröffentlichten Daten von E-Control, Statistik Austria, Wiener Netze und Wien Energie. Das Energiediagramm zeigt, wie viel Energie benötigt wird, um die Stadt Wien zu versorgen, wie diese Energiemenge anschließend umgewandelt oder verteilt wird und in welchen Bereichen sie letztlich verwendet wird. Das Diagramm wird von links nach rechts gelesen. Mehr zur Methodik findet sich in Kapitel C6 Methodik.

Als Ergebnis wird 80% der Wärme auf Fassadenniveau und etwa 20% auf Schornsteinlevel abgegeben. Sowohl die Wärme aus Elektrizität als auch aus Fernwärme findet hauptsächlich auf Fassadenniveau statt. Dies resultiert daraus, dass am Endverbraucher keine großen Verluste mehr auftreten und Fernwärme hauptsächlich für die Warmwasserbereitung und Heizungen genutzt wird. Fernwärme wird daher nur auf Fassadenniveau angenommen, da sie fast ausschließlich in Häusern verwendet wird. Elektrische Energie wird hauptsächlich für den Betrieb elektrischer Geräte und Beleuchtung verwendet. Für den Stromverbrauch wird angenommen, dass 5% auf der Straßenebene entstehen, da Strom natürlich auch für die Straßenbeleuchtung und verschiedene andere Bedürfnisse auf Straßenebene verwendet wird. Zum Beispiel ist dies der Fall beim Laden von Elektroautos. Der Rest, also 95% des Verbrauchs, wird auf Fassadenniveau emittiert.

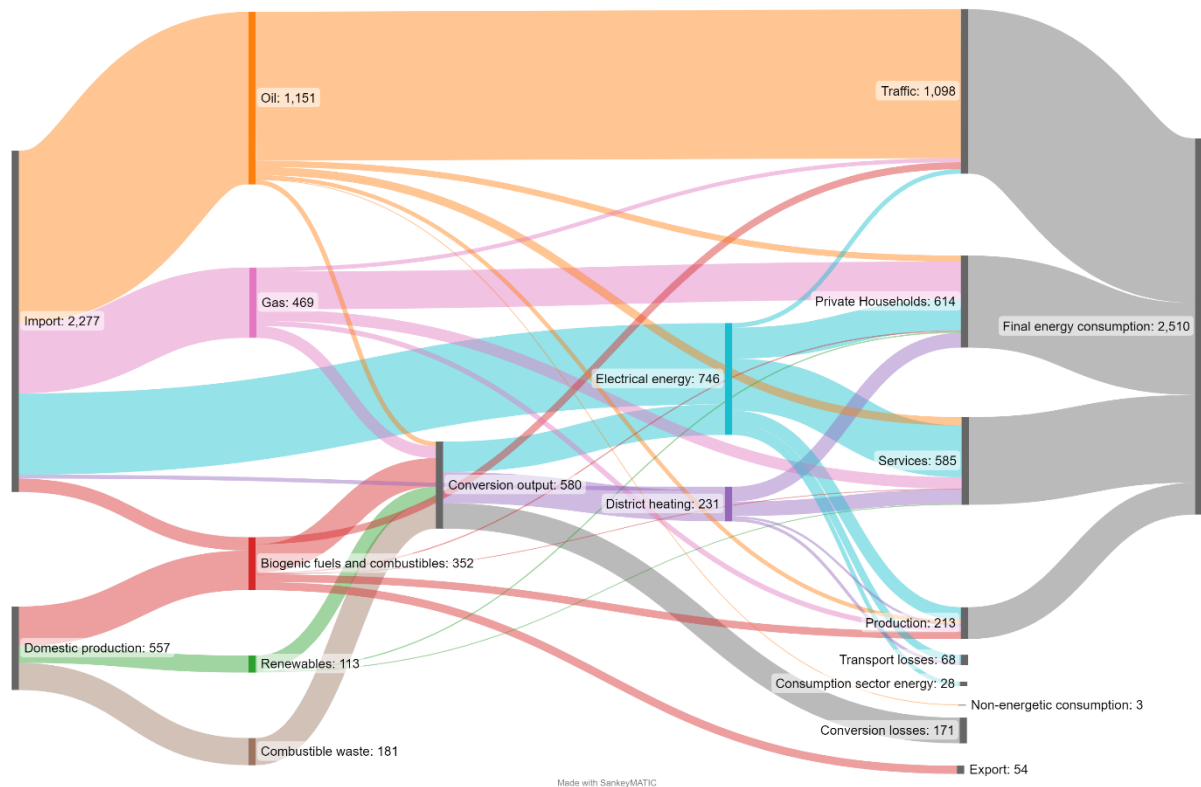


Abbildung 8: Sankey flow chart für Wien im August 2015 in GWh

(2) Abschätzung des Beitrags der lokalen Sonnenenergieproduktion zur Reduzierung der anthropogenen Wärmeemission

Die lokale Sonnenenergieproduktion spielt eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung der anthropogenen Wärmeemissionen. Durch die Erzeugung von Strom vor Ort wird der Bedarf an importierter Energie verringert, was wiederum die mit dem Energieimport verbundenen Wärmeemissionen reduziert. Ein Teil der Sonnenenergie wird direkt in Strom umgewandelt, wodurch die Wärme, die normalerweise durch konventionelle Energiequellen freigesetzt wird, minimiert wird. Netto führt dies dazu, dass weniger Wärme am Standort wirksam wird, was zu einer insgesamt geringeren Wärmebelastung und einer nachhaltigeren Energieversorgung beiträgt.

Darüber hinaus hat die lokale Sonnenenergieproduktion den Vorteil, dass sie die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert, die bei ihrer Verbrennung erhebliche Mengen an Wärme und Treibhausgasen freisetzen. Durch die Nutzung der Sonnenenergie wird die Umweltbelastung reduziert und die lokale Luftqualität verbessert. Zudem trägt die dezentrale Energieproduktion zur Stabilität des Stromnetzes bei und kann in Zeiten hoher Nachfrage oder bei Netzstörungen eine zuverlässige Energiequelle darstellen. Insgesamt fördert die lokale Sonnenenergieproduktion eine umweltfreundlichere und effizientere Energienutzung, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch vorteilhaft ist.

(3) Auswirkung anthropogener Wärmeemission auf thermischem Komfort im Straßencanyon (SURFEX/TEB)

In Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen kann die Wärmeemission durch Verkehr den zehnfachen Wert des Durchschnittes annehmen. Für diesen zusätzliche Wärmeeintrag in den Straßencanyon wurde einer Erhöhung der Lufttemperatur um 1-2 K und einem Anstieg des UTCI um mehr als 2 K im Vergleich zum STQ-Szenario simuliert (Abb. 9 oben). Im Vergleich zu anderen Maßnahmen, die auf die anthropogene Wärmeemission wirken (verbesserte thermische Isolierung, Verwendung von Photovoltaik auf den Dächern) hat die Wärmeemission durch Verkehr mit Abstand die größte Auswirkung auf den thermischen Komfort auf Straßenniveau (Abb. 9 unten).

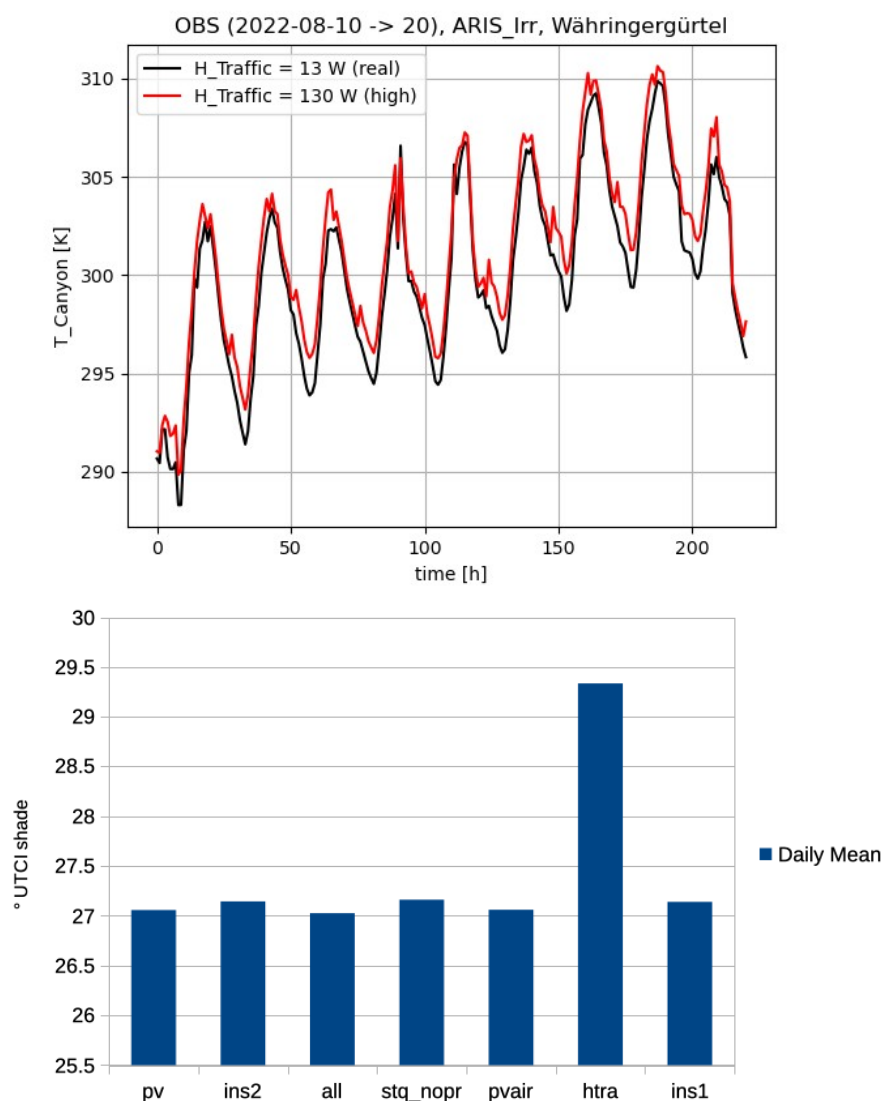


Abbildung 9: (a) stündliche Canyontemperatur (ganze Episode) für Normalsituation ($H_{\text{Traffic}} = 13$; real) und starkem Verkehrsaufkommen ($H_{\text{Traffic}} = 130$ W; high) und (b) mittlerer UTCI für verschiedene anthropogene Wärmeszenarien (WP6) (Keine Maßnahme (stq_nopr), Photovoltaik am Dach (pv), Photovoltaik hinterlüftet (pvair), thermische Sanierung (ins1 + ins2), hohes Verkehrsaufkommen (htra))

4.3.2. Zukunftsszenarien Present / RCP2.6 / 8.5

Quantifizierung von Vegetationsergebnissen

(1) Auswirkungen Bewässerung Marchfelds (WRF-TEB)

Die Ergebnisse der verschiedenen WRF/TEB-Durchläufe heben das Potenzial der unterschiedlichen Anpassungsmaßnahmen hervor. Die Bewässerung des Ackerlandes im Umland von Wien (Marchfeld) zeigt einen deutlichen Kühleffekt von bis zu 3 K während des Tages, jedoch nur an der Bewässerungsstelle. Die Kühleffekte breiten sich etwas in die Stadtgrenzen von Wien aus, jedoch nur in einem Bereich von 1 bis 2 km, und der Kühleffekt nimmt mit der Entfernung zur bewässerten Fläche stark ab (Abbildung 10). Er überquert die Donau nicht. Der Kühleffekt der Bewässerung wird etwas reduziert, wenn der Feuchtigkeitseffekt berücksichtigt wird. In der Nacht verschwindet der Kühlungseffekt der Bewässerung vollständig.

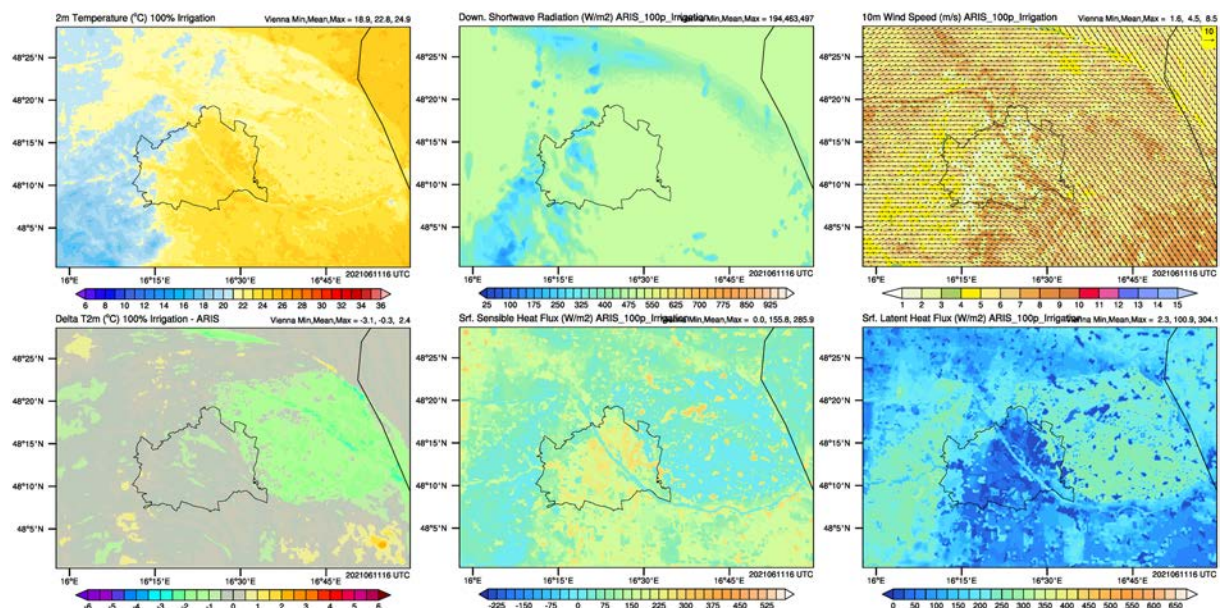


Abbildung 10: Ergebnisse des RCP8.5 Laufs für 100% Bewässerung des Marchfelds (timestep 49 / 11.6.2021 16UTC). (a) absolute 2m Temperatur (b) Globalstrahlung (c) Windgeschwindigkeit (d) 2m Lufttemperaturunterschied zwischen 100%Irr und ARIS (keine Bewässerung) (e) fühlbarer Wärmeffluss (f) latenter Wärmeffluss

(2) Kühlung durch Gründächer und mehr Vegetation in der Stadt

Für die Modellierung der optimierten grünen Infrastruktur (OPT) wurde der Anteil der Gründächer auf 100% gesetzt. Die Flächen im Straßencanyon wurden stark entsiegelt. Weiters wurden 30% der Flächen Marchfeld bewässert (sh. C6 Methodik). Optimierte grüne Infrastruktur entfaltet ihre Wirkung direkt in der Stadt und erreicht eine ähnliche Größenordnung von bis zu 3 K während des Tages (Abb.

11). Es ist jedoch auch ein moderater Kühleffekt von bis zu ~ 1 K während der Nacht zu beobachten. Das bedeutet, dass optimierte grüne Infrastruktur den städtischen Wärmeinsel-Effekt reduzieren kann.

Die Modellexperimente heben auch die Grenzen der Anpassung im Hinblick auf städtische Hitzewellen hervor. Im räumlichen Durchschnitt der gesamten Stadt Wien liegt der maximale Kühleffekt im Bereich von etwa 1 K und tritt nur für einige Stunden während der Mittagszeit auf (Abb. 12). Während der Nacht erreicht die Kühlung nur einen Wert von $\sim 0,5$ K für das gesamte Stadtgebiet. Angesichts der Erwärmungstrends der letzten 40 Jahre von etwa 0,5 K pro Jahrzehnt können alle untersuchten Anpassungsmaßnahmen zusammen nur die Erwärmung eines Jahrzehnts während der Nacht und die Erwärmung von zwei Jahrzehnten während des Tages ausgleichen.

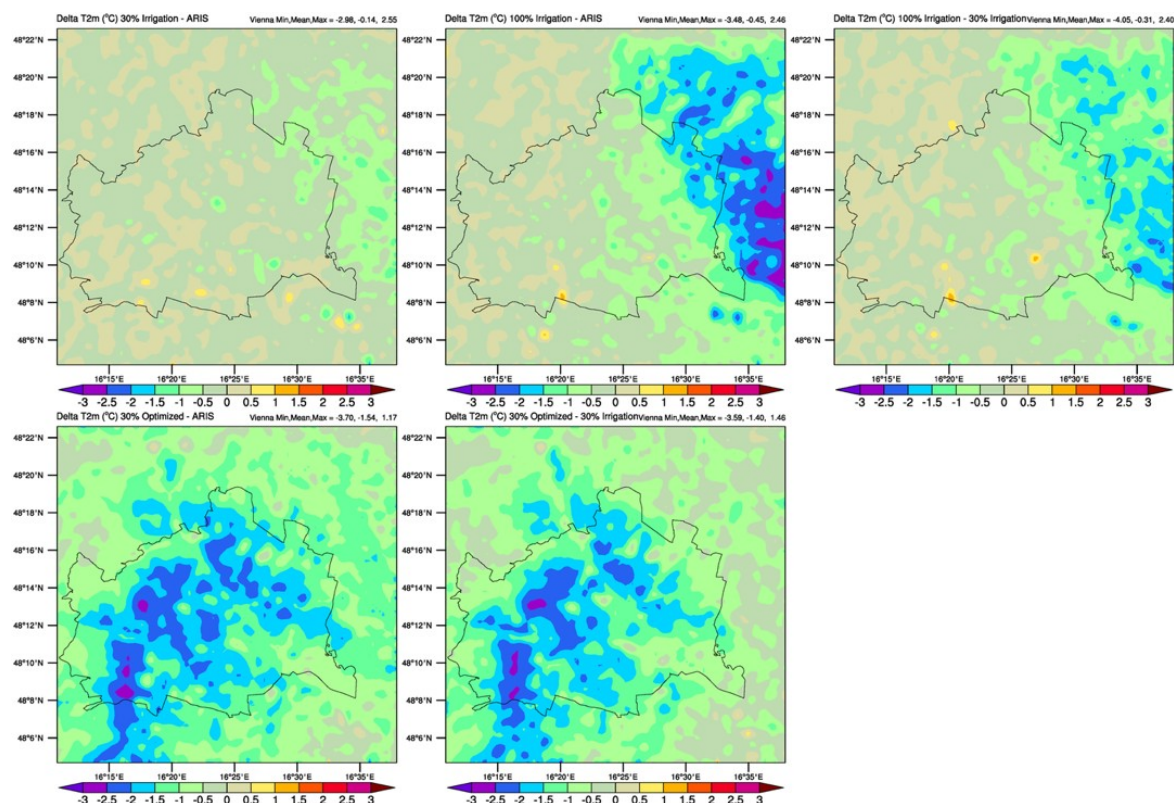


Abbildung 11: Maximale Reduktion der 2m-Lufttemperatur zwischen verschiedenen Bewässerungsszenarien für die RCP8.5-Klimaperiode (timestep 141/15.06.2021 12UTC). Erste Reihe: (a) 30 % Bewässerung Marchfeld (30% Irr– ARIS), (b) 100 % Bewässerung Marchfeld (100% Irr– ARIS), (c) Abkühlung durch Steigerung der Bewässerung des Marchfeld von 30 auf 100% (100% Irr– 30% Irr, zweite Reihe: (d) Kühlwirkung von Dachbegrünung, mehr Vegetation in der Stadt und 30% Bewässerung Marchfeld (OPT – ARIS), (e) Kühlwirkung von Dachbegrünung und mehr Vegetation in der Stadt (OPT – 30% Irr)

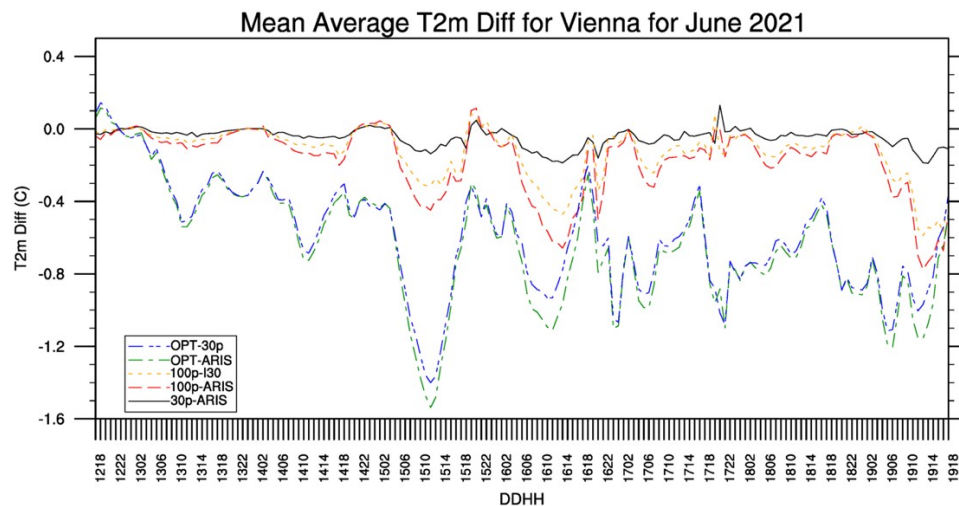


Abbildung 12: Zeitreihendifferenzdiagramm, das den Einfluss folgender Faktoren zeigt: (1) Optimierte grüne Infrastruktur in Wien (OPT-30% Bewässerung), (2) Maximale Kühlwirkung durch Begrünung und Bewässerung in Wien und im Marchfeld (OPT - ARIS), (3) Unterschied zwischen 30% und 100% Bewässerung des Marchfelds (100% Irr – 30% Irr), (4) Effekt einer 100%-igen Bewässerung des Marchfelds (100% - ARIS), (5) Effekt einer 30%-igen Bewässerung des Marchfelds (30% - ARIS)

Anthropogener Wärmefluss

(1) Quantifizierung der zukünftigen Wärmeemission im Großraum Wien

Das hier verwendete Zukunftsszenario ist eine Mischung aus bereits veröffentlichten Szenarien. Drei wesentliche Änderungen der Energiebilanz von August 2015 in Wien wurden vorgenommen: die vollständige Elektrifizierung des Verkehrs, der Ersatz von Gas durch Wärmepumpen und der Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere Photovoltaik. Laut dem Szenario wird der Energieverbrauch im August 2040 auf 2.089 GWh ansteigen (Abb. 13). Dies entspricht einem Wärmeinput von etwa 7 W/m². Im Vergleich zum Energieverbrauch im August 2015 könnte eine Reduktion auf 69% im August 2040 daher möglich sein.

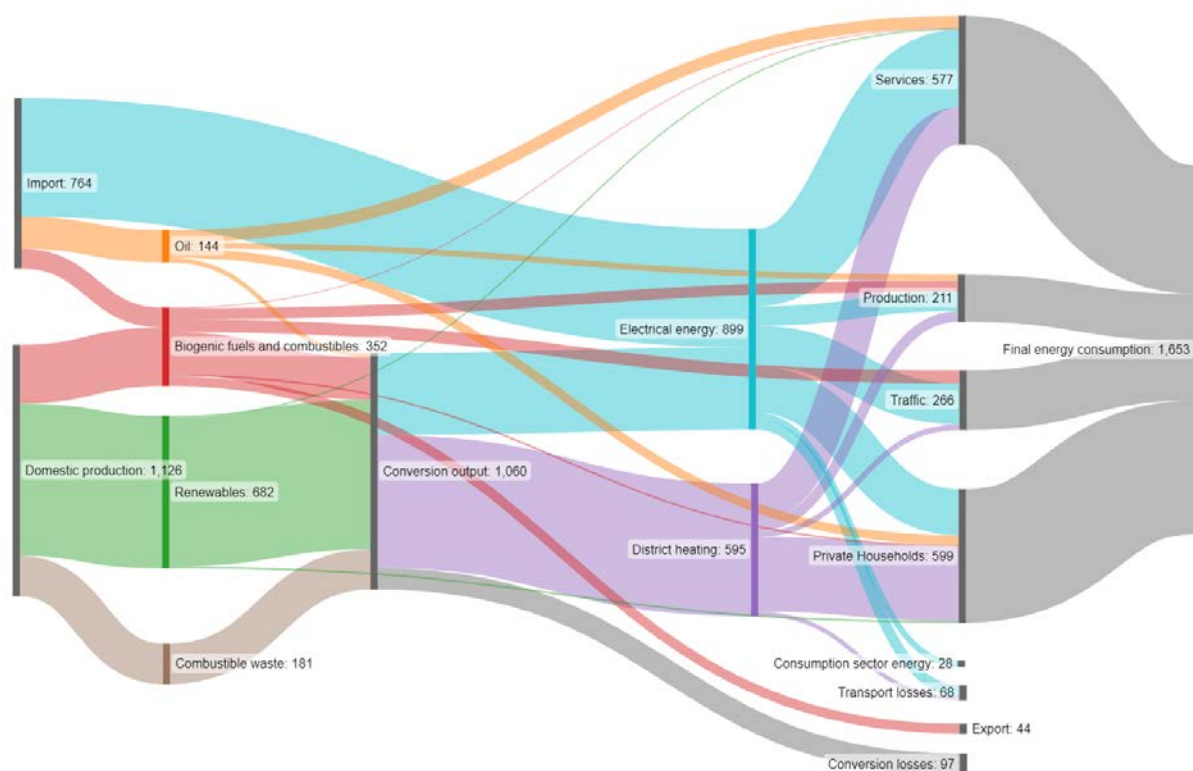


Abbildung 13: Sankey flow chart für Wien im August 2040 in GWh (Pariser Ziele von Stadt Wien umgesetzt - RCP2.6)

Die anthropogenen Wärmeemissionen wurden anschließend aus den Daten, die in WP3a erstellt wurden, unter Verwendung des zugrunde liegenden Kartenmaterials zusammengestellt. Wie bereits beschrieben, wurden Karten für die aktuellen Wärmeemissionen basierend auf den Zukunftsszenarien sowie Szenarien für volle (RCP2.6) und halbe (RCP4.5) Erfüllung der Ziele gemäß dem Klimafahrplan entwickelt (Abb. 14-16).

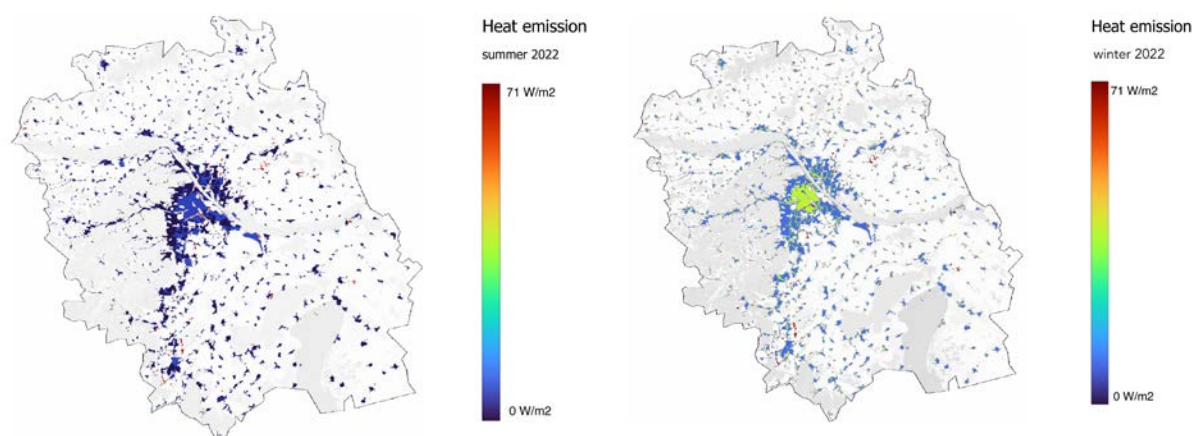


Abbildung 14: Karten Anthropogene Wärme (present day) links: Sommer, rechts: Winter (WP7)

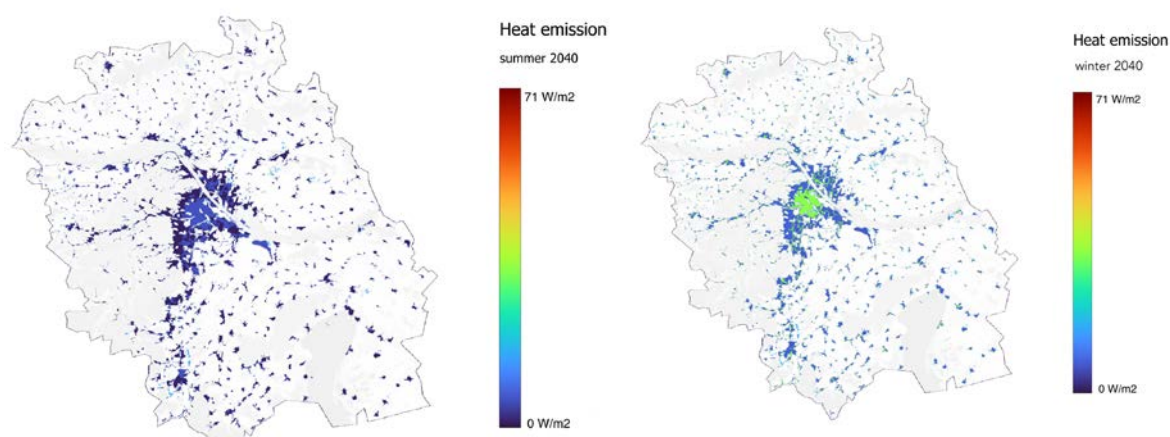


Abbildung 15: Karten Anthropogene Wärme (future scenario: Pariser Ziele werden erreicht – RCP 2,6) links: Sommer, rechts: Winter (WP7)

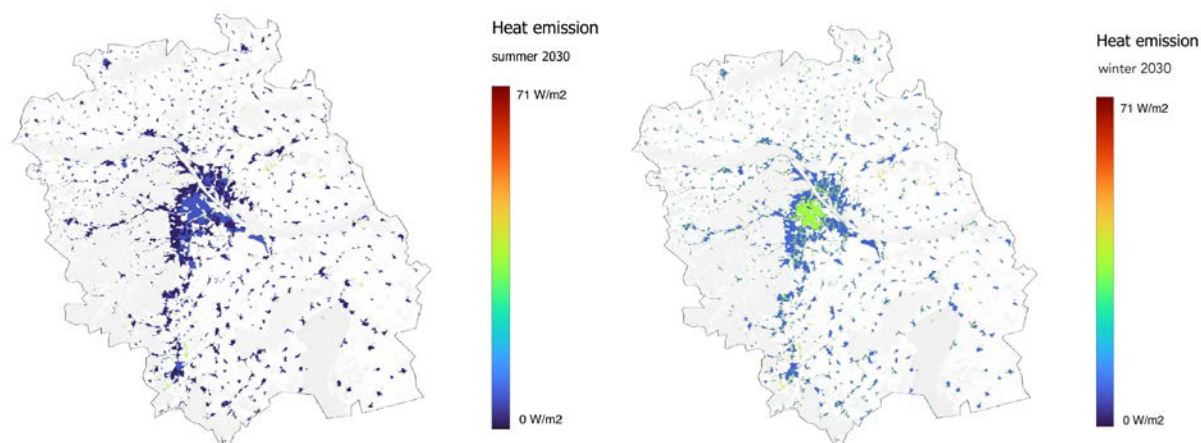


Abbildung 16: Karten Anthropogene Wärme (future scenario: Pariser Ziele werden halb erreicht – RCP 4,5) links: Sommer, rechts: Winter (WP7)

Thermischer Komfort

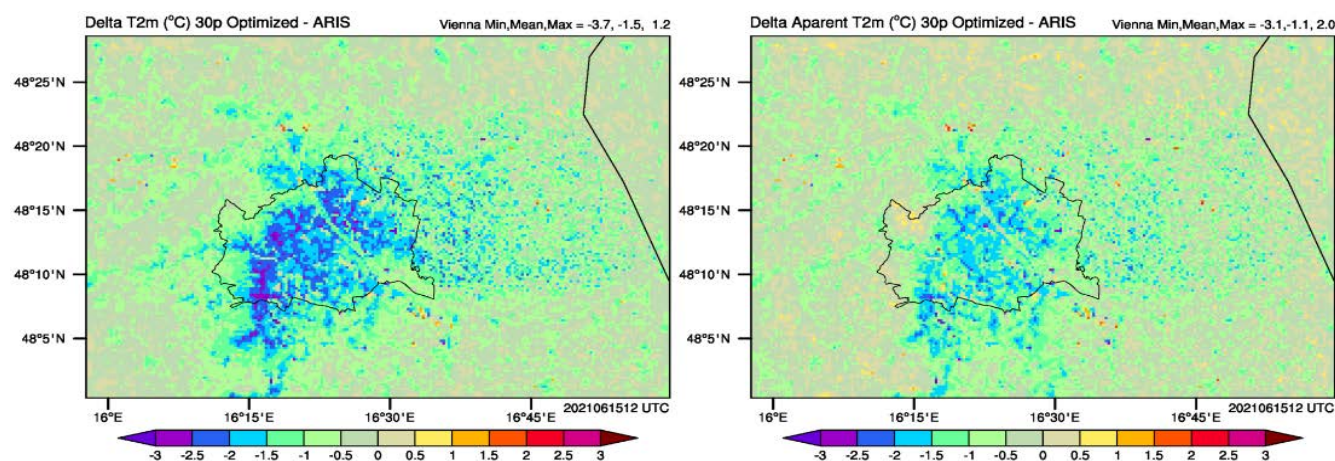


Abbildung 17: Ergebnisse des RCP8.5 Laufs (2021-06-15 12h). Kühlwirkung von Grüner Infrastruktur + 30% Bewässerung Marchfeld. Links: 2m Lufttemperatur (°C). Rechts: Apparent Temperature (°C)

Der Kühleffekt der Bewässerung hat zusätzliche Auswirkungen auf die Luftfeuchtigkeit, die den Kühleffekt reduzieren können. Wir haben die “Apparent Temperature” (Steadman, 1984) verwendet, um diesen Effekt zu quantifizieren. In Abbildung 17 ist der Kühleffekt zwischen optimierter grüner Infrastruktur und realistischer Bewässerung im Vergleich zur Nicht-Bewässerung für die Lufttemperatur (links) und die Apparent Temperature (rechts) dargestellt. Der Kühleffekt wird reduziert. Im räumlichen Durchschnitt über die Stadt Wien beträgt der Kühleffekt für die Lufttemperatur 1,5 K und für die apparente Temperatur 1,1 K. Eine Gesamtübersicht der im Projekt modellierten Kühlwirkungen findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Größenordnungsvergleich der Wirkung einzelner Maßnahmen

		Innenraum- temperatur	T2M Wien	Thermischer Komfort°
		mean/max	mean/max	mean/max
Dächer	Grass, bewässert**, *, *	-0.4/-1.1 K	-1.5 K/max -3 K	-1.1 K Apparent Temp.
	Grass**	-0.1/-0.6 K		0.4/0.0 °UTCI
	Sedum**	0.0/ -0.4 K		0.4/0.1 °UTCI
	Grass/PV**	0.0/ -0.3 K		0.3/-1.3 °UTCI
	Photovoltaik**	-0.9/-1.8 K		0.3/-1.4 °UTCI
	Dachalbedo (helle Dächer)**	-0.5/-1.3 K		-0.1/-1.6 °UTCI
Gebäude	Lüften**	-1.6/-1.3 K		0.4/0.0 °UTCI
	Lüften+Jalousien**	-2.1/-2.2 K		0.3/-0.2 °UTCI
	Lüften+Jalousien+Dachalbedo**	-2.4/-2.9 K		0.2/-0.4 °UTCI
Straße	dichte Bäume, bewässert**	-0.4/-1.1 K		-1/-3.9 °UTCI
	dichte Bäume**	-0.2/-0.9 K		-0.7/-3.5 °UTCI
	lichte Bäume, bewässert **	-0.1/-0.7 K		-0.6/-3.0 °UTCI
	lichte Bäume**	0.0/ -0.6 K		-0.3/-2.6 °UTCI
	Rasen, bewässert**	0.1/-0.4 K		-0.9/-1.9°UTCI
	Rasen	0.2/-0.1 K		-0.2/-0.5 °UTCI
	Elektrifizierung Verkehr**		-1K/-2 K	max -2 °UTCI
Marchfeld	100% Bewässerung*		-1 K	-

*WRF-TEB, **SURFEX/TEB, °aus den mesoskaligen WRF-TEB Ergebnissen wird für den thermischen Komfort die Apparent Temperature (Temperatur/Feuchte Index) als aussagekräftigster Index angegeben. Für den Straßencanyon wird der UTCI, der zusätzlich Strahlung und Wind berücksichtigt verwendet, da dieser zusätzlichen Faktoren wie Beschattung und Durchlüftung, welche besonders im Mikroskaligen aufgrund der reproduzierten komplexen Geometrie stark variieren inkludiert.

4.3.3 Wasserbedarf

Um den gesamten Bewässerungsbedarf für begrünte Dächer und Grünflächen zu schätzen, werden unterschiedliche Verdunstungsraten gemäß den Projektergebnissen mit der potenziellen Bewässerungsfläche multipliziert und mit den verfügbaren Wassermengen verglichen:

- Potenzielle Fläche begrünte Dächer: 1.813 ha (1.068 ha (leichte Neigung) + 745 ha (starke Neigung))
- Grünflächen auf Bodenhöhe: 12.600 ha (Stadt Wien 2025h)
- Trinkwasserversorgung aus Hochquellwasserleitung 1+2 = 375.000 m³/d (während andauernder Dürreperioden kann sowohl die Wasserverfügbarkeit in den Einzugsgebieten der Hochquellwasserleitungen aber auch das Grundwasservorkommen welche die Wasserleitungen aus Moosbrunn und der Lobau speist sinken).

Wenn wir von einer starken Dürre im Sommer ausgehen, bei der alles Wasser, das von den begrünten Dächern verdunstet, aus dem Trinkwasserzufluss stammt (im Durchschnitt werden 375.000 m³ bereitgestellt: aus der 1. Hochquellwasserleitung 173.000 m³, aus der 2. Hochquellwasserleitung 202.000 m³), würde dies bedeuten, dass mindestens 10% bis 1/3 des Volumens nur für die vollständige Bewässerung benötigt werden. Laut den Messungen im Imp_DroP-Programm kann die tägliche Evapotranspiration bis zu 7 mm/d betragen, was 1/3 des Trinkwasserzuflusses bedeuten würde. Auch würde eine Bewässerung von 1 mm/d auf den Grünflächen in Wien 1/3 des Trinkwasserzuflusses erfordern (Tabelle 2).

Tabelle 2: Abschätzung des potenziellen Bewässerungsbedarfs für Gründächer und Grünflächen in Wien (WP7)

	Fläche	Evaporationsrate	verdunstetes Wasservolumen
Gründächer	1 813 ha	2 mm/d	36 260 m ³ /d
		7 mm/d	126 910 m ³ /d
		feuchtes Jahr (2004)*	26 000 m ³ /d
		trockenes heißes Jahr (2022)*	101 000 m ³ /d
Grünflächen	12 600 ha	1 mm/d	126 000 m ³ /d
		5 mm/d	630 000 m ³ /d

*6-monatige optimale Bewässerung (kein Trockenstress, keine Drainage)

Eine Übersicht über die Evapotranspiration und den Bewässerungsbedarf im gesamten Studiengebiet für (1) 100% Bewässerung Marchfeld (2) 30% Bewässerung Marchfeld plus 100% Dachbegrünung und maximale Vegetation im Stadtgebiet während der Hitzewelle 2021 ist in Abbildung 18 dargestellt.

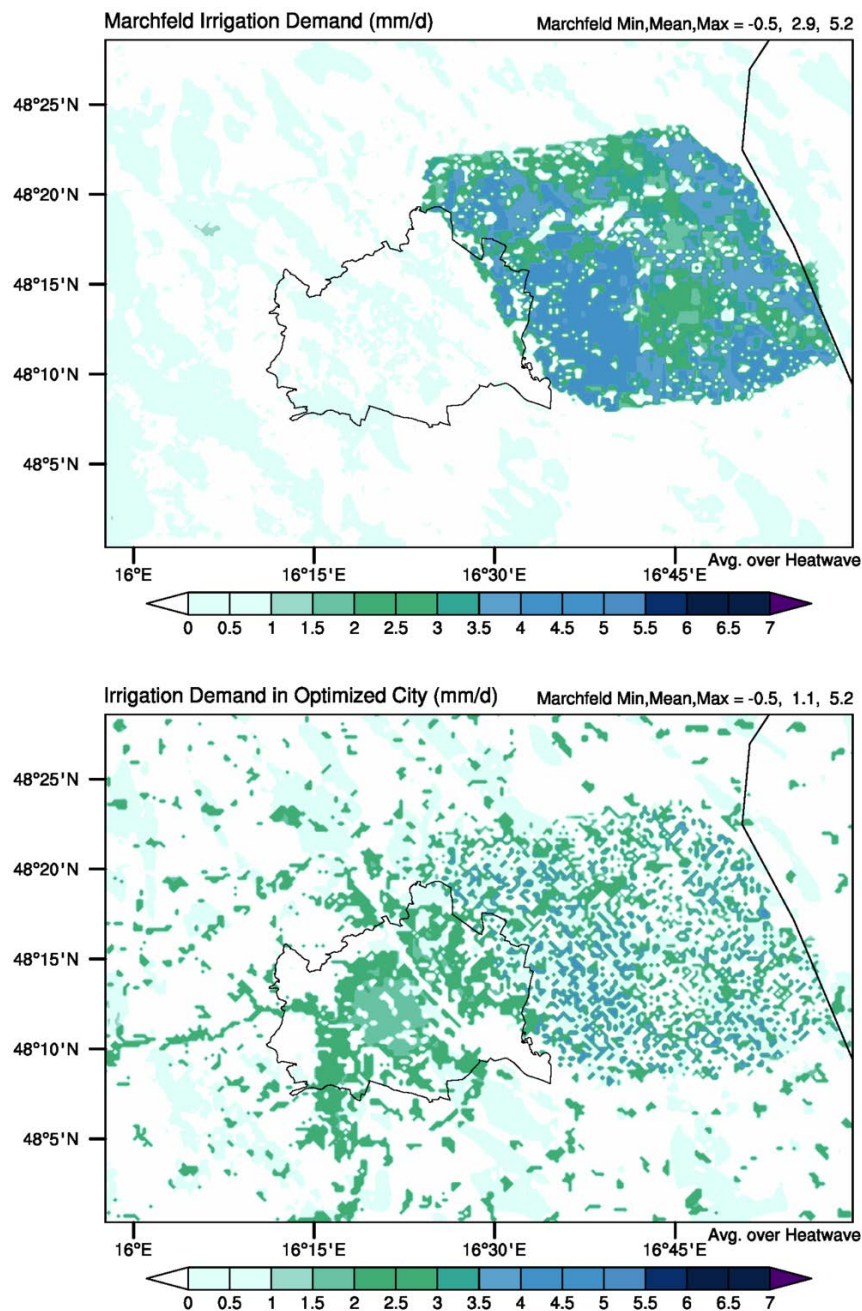


Abbildung 18: Karten des Bewässerungsbedarfes 16.-20.06.2021 (RCP8.5), 5 Tages Mittel, (1) oben: Bewässerungsbedarf für die vollständige Bewässerung des Marchfelds (100% Irr – ARIS) (2) unten: Bewässerungsbedarf für die Bewässerung von 30% der Flächen im Marchfeld sowie flächendeckender Intensivbegrünung im bebauten Gebiet (OPT-ARIS) (WP7)

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

(max. 5 Seiten)

Beschreibung der wesentlichen Projektergebnisse. Welche Schlussfolgerungen können daraus abgeleitet werden, welche Empfehlungen können gegeben werden?

5.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse

Die Analyse der Messungen zeigt, dass der Zustand und die Entwicklung der Dachpflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode einen wesentlichen Einfluss auf die Evapotranspirationsraten haben. Die Dicke der durchwurzelter Bodenschicht ist entscheidend für die Dauer des Trockenstress', beeinflusst jedoch kaum die maximale Evapotranspirationsrate zwischen den beiden verwendeten Vegetationstypen und den zwei Topfarten. Zudem lässt sich schließen, dass eine unterstützende Bewässerung dringend empfohlen wird, um die Dachpflanzen am Leben zu erhalten und ein hohes Verdunstungspotenzial über die Saison hinweg aufrechtzuerhalten. Alternativ könnte eine trockenresistente Pflanzenmischung verwendet werden, die sich nach einer starken Dürre auch ohne Bewässerung schnell erholt. In den Messungen traten die trockensten Bedingungen an Standorten mit höherer Windbelastung und geringer Beschattung auf. Sofern ausreichend Wasser und eine aktive Pflanzendecke vorhanden sind, weisen diese Standorte ein höheres Evapotranspirations- und Kühlungspotenzial auf.

Für das Klimaszenario RCP8.5 wird bis zur Mitte des Jahrhunderts ein Temperaturanstieg von 3,76 K für eine fünftägige Hitzewelle erwartet. Stark befahrene Straßen können die Lufttemperatur um 1-2 K erhöhen, da Verbrennungsmotoren Abwärme freisetzen. Die Elektrifizierung von Fahrzeugen könnte aber die anthropogenen Wärmeemissionen um bis zu 75 % reduzieren. Bei mittelmäßig gedämmten Gebäuden können begrünte und bewässerte Dächer oder Straßenbäume (auch ohne Bewässerung) die Innentemperatur um jeweils mehr als 1 K senken. Zusätzliche Kühlung kann durch Fensterbeschattung, Lüftung während minimaler Außentemperaturen oder helle Dächer erreicht werden. Obwohl Klimaanlage schnelle Kühlung bringen, haben sie begrenzte Kapazitäten und erhöhen zusätzlich die Außentemperaturen sowie den Strombedarf. Eine erhöhte Reflexion (Albedo) senkt die Dachtemperaturen, die Strahlungstemperaturen, den fühlbaren Wärmefluss und verbessert den thermischen Komfort in Straßenschluchten. Die größte Verbesserung des thermischen Komforts wird durch die Pflanzung von Straßenbäumen (-4 °UTCI) oder durch Entsiegelung und Bewässerung (-3 °UTCI) erzielt. Die höchsten Evapotranspirationsraten lassen sich durch die Bewässerung begrünter Dächer erreichen – mit bis zu 8 mm/d – und senken somit effektiv die Dachtemperaturen. Die Evapotranspiration von begrünten Dächern und niedriger Vegetation auf Straßenniveau kann die Verdunstungsrate von Straßenbäumen sogar übertreffen.

Durch die maximale Nutzung des Evapotranspirationspotenzials in der Region Wien, einschließlich der Bewässerung des Marchfelds, der Entsiegelung in Wien und der Nutzung des gesamten Potenzials begrünter und bewässerter Dächer, kann die Lufttemperatur im gesamten Stadtgebiet Wiens im Mittel während einer Hitzeperiode um 0,5 bis 1,5 K gesenkt werden. Diese Wassermenge steht jedoch in kritischer Konkurrenz zu den Trinkwasserressourcen der Stadt.

5.2 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Empfehlungen landwirtschaftliches Management

Ziel der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung im Wiener Umland sollte es sein, nicht zu bewässern, um Wien zu kühlen, sondern zu einer nachhaltigen/ökologischen Landwirtschaft mit wenig oder effizienterer Bewässerung überzugehen.

- o Wasserrückhaltemaßnahmen auf Feldebene (Mulchen, Windschutz, kleine Dämme etc.)
- o Bau von Wasserrückhaltebecken („Zisternen“) oder Rückhaltebecken für Bewässerungswasser.
- o optimierte Bewässerungsmethoden und -planung (z.B. Precision Farming Methoden)
- o Einsatz effektiver Bewässerungstechniken (z. B. Tröpfchenbewässerung in geeigneten Kulturen)
- o Anpassung der Fruchtfolgen
- o Gründüngung zur Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit des Bodens (Wasserrückhalteeffekt für die Wurzelzone der Pflanzen - mehr Wasser für die Transpiration) - die Aussaat anderer Sorten, die den Boden zwischendurch düngen, wird im ökologischen Landbau gefordert) bedeutet zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand (Säen und Bewässerung!) und wird nur dann durchgeführt, wenn es Subventionen oder andere wirtschaftliche Vorteile gibt -> ökonomische Studien werden empfohlen.
- o Mulchen („Mulchen“ - Belassen von Stängeln/Heu auf dem Feld) ist billig, bringt aber nur Kühlung, wenn die Albedo des Bodens sehr niedrig ist, so dass eine Erhöhung der Albedo erreicht wird. Nach der Getreideernte sollte die Bodenbearbeitung in kühlere Perioden verlegt werden (Stroh an der Oberfläche sorgt für eine höhere Albedo auf dunklen Böden wie im Marchfeld).
- o Es gibt nur wenige Düngerpflanzen wie Lupine und Luzerne, die keine Bewässerung benötigen, da sie tiefer wurzeln -> diese sind empfehlenswert.
- o Generell arbeitet der ökologische Landbau mit längeren Vegetationsperioden und weniger tiefem Pflügen -> was gut ist, um die Feuchtigkeit in tieferen Bodenschichten zu halten (und für das Bodenleben).
- o Eine minimale Bodenbearbeitung hält das Wasser besser im Boden als das Pflügen (Wasserrückhalteeffekt).

Empfehlungen bezüglich Gründächer:

Das Projekt hat mittels Messungen und Modellen gezeigt, dass die Kühlwirkung durch großflächige Dachbegrünungen auf das gesamtstädtische Klima sehr hoch ist. Für die gesamte Stadt wären Intensivdachbegrünungen mit Bewässerung jedoch aufgrund des hohen Wasserbedarfs nicht leistbar bzw. würden die Kapazitäten der Wiener Trinkwasserversorgung gesprengt werden. Auch wenn die Begrünungen in Extremsituationen ohne Bewässerung nicht die maximale Leistung erreicht, kühlt sie trotzdem in geringerem Maße. Wir empfehlen daher:

- o Höhere Substratauflagen zur besseren Speicherung / Versorgung / Abflussregulation des Niederschlagswassers.
- o Optimierung des Wasserrückhaltes bei Intensivbegrünungen (Verwendung von Substraten mit hoher Wasserspeicherkapazität, Einbau von Regenwasserspeicherelementen) zur Einsparung von Trinkwasser.
- o Technische Regenwasserspeicherelemente (Retention-Detentionsdachaufbauten mit steuerbaren Abläufen) sind als Ausgleich von Extremereignissen (Dürren/Starkregenereignisse) sehr effektiv.
- o Intensive Dachbegrünung nur bei sichergestellter Bewässerung (Ansonsten Gefahr des Absterbens der Pflanzen). Extensive, stresstolerantere Pflanzenmischungen sorgen für eine permanente Transpirationsleistung auch bei geringen Substratauflagen.
- o Mögliche Grauwassernutzung zur Bewässerung sollte untersucht werden (Forschungsbedarf).
- o Verwendung von hellem Substrat zur Erhöhung der Albedo bei nicht vollständiger Bodenbedeckung
- o Förderung der Artenvielfalt
- o Selektive Bewässerung während Hitzeextremen für Gebäude/Orte mit vulnerablen Bevölkerungsgruppen ("grüne Klimaanlage auf Bedarf")

Empfehlungen bezüglich Begrünung im Straßencanyon:

Aus den Modellierungen wurde die hohe Bedeutung von Beschattung (bestenfalls durch großkronige Bäume) für den thermischen Komfort bei hoher Sonneneinstrahlung im Straßencanyon aufgezeigt. Weiters wird deutlich, dass ausreichend wasserversorgte niedrige Vegetation ebenfalls effektiv zur Kühlung des öffentlichen Raums, besonders in den Abend- und Nachtstunden, beitragen kann. Wir empfehlen daher:

- o Bäume zur Beschattung mit möglichst hohem Überschirmungsgrad einsetzen
- o technische Beschattungselemente, wo keine Baumpflanzungen möglich sind
- o niedrige Vegetation in Kombination mit Baumpflanzungen flächig einsetzen
- o selektive Bewässerung während Hitzeextremen an Hitzehotspots sowie in Straßenräumen mit anfälligen Gruppen ("grüne Klimaanlage auf Bedarf")
- o in engen Stadträumen und Windstille bei extremer Hitze Bedacht von Durchlüftung, um den Kühleffekt zu erhalten.

Empfehlung zur Reduktion von anthropogener Wärmeemission und Elektrifizierung des Verkehrs

Schärfung des öffentlichen Bewusstseins und Diskussion, um die Installation von Klimaanlage ohne angeschlossenes alternatives Energiesystem (Wärmepumpe) zu verhindern.

Sensibilisierung der Öffentlichkeit und Anregung von mehr Messstudien zur Quantifizierung der Kühlung von Photovoltaikanlagen an der Gebäudehülle.

- o Autos mit Verbrennungsmotoren emittieren viel Wärme. Somit ist der Verkehr der Hauptverursacher der anthropogenen Wärmeentwicklung in den Städten. Etwa 75% der anthropogenen Wärmeemissionen können durch die Elektrifizierung des Verkehrs reduziert werden. Darüber sollte in der Öffentlichkeit gesprochen werden, um das Bewusstsein zu schärfen. Weitere Argumente gegen das Auto sind die Umweltverschmutzung und der Umstand, dass viele Privatfahrzeuge viel städtischen Raum beanspruchen, der für die Freizeitgestaltung genutzt werden könnte.
- o Erschwingliche Optionen sind das Leasen von Fahrzeugen oder geteilte Mobilität.
- o Geschwindigkeitsbegrenzungen nur für Verbrennungsfahrzeuge, Steuervorteile (weniger Emissionen)
- o Standard-Klimaanlagen sollten wegen der Abwärme vermieden werden.
- o Photovoltaikzellen auf der Gebäudehülle können zur Kühlung des Gebäudes und der Umgebung beitragen. Je effizienter das Solarmodul ist, desto höher ist sein Kühlungspotenzial, da die eingehende Sonnenenergie in Strom umgewandelt wird und nicht die Stadt aufheizt.
- o Je dunkler das vorhandene Dach ist, desto mehr Kühlung kann durch die Installation effizienter Photovoltaikmodule erreicht werden. Beratung zur räumlichen Nutzung der Sonnenenergie (z. B. Dachalbedo-Karten) kann hilfreich sein.

C) Projektdetails

6 Methodik

(max. 10 Seiten)

Begründung und Darstellung des gewählten Forschungsansatzes.

Vier Messstandorte wurden auf begrünten Dächern in verschiedenen lokalen Klimazonen Wiens eingerichtet (LCZ2: kompakte mittelhohe Bebauung über und unter Dachniveau, LCZ5: offene mittelhohe Bebauung, LCZ8: großflächige niedrige Bebauung). Für die mikroklimatischen Messungen wurden an den vier verschiedenen Gründachstandorten im Stadtgebiet von Wien automatische Topflysimeter mit einem Aufbau für ein flaches und ein tiefes Bodensubstrat (10 cm bzw. 25 cm) installiert. Neben dem lokalen Mikroklima (insbesondere Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Bodenfeuchte in den Töpfen) wurde mit den Mini-Lysimetern auch der Wasserverlust durch Evapotranspiration quantitativ gemessen, indem die Töpfe gewogen wurden. Der Messzeitraum begann im Juni 2022 und endete Ende 2023, sodass zwei Vegetationsperioden mit unterschiedlichen Wetterbedingungen erfasst werden konnten. Diese Daten wurden zur Kalibrierung des FAO-Modells nach Allen et al. 1998 verwendet, welches die Bodenfeuchte für ausgewählte Dürreperioden auf Gründächern simuliert. ARIS (Dürremonitoring System) Daten wurden verwendet, um die Bodenfeuchte der umliegenden landwirtschaftlichen Flächen von Wien zu simulieren.

Zur Abschätzung der anthropogenen Wärmeströme Wiens werden Energieverbrauchsdaten (Öl, Gas, Strom und andere) für verschiedene räumliche und zeitliche Skalen zusammengestellt, um die Flüsse aus dem Wiener Verkehr, den Dienstleistungen, den privaten Haushalten und der Industrie abzuleiten. Die anthropogenen Wärmedaten wurden für die definierten Simulationszeiträume bereinigt und als Zeitreihenfunktionen auf Basis der Standardlastprofile entwickelt. Dies geschah für drei Nutzungskategorien (niedrige Wohnnutzung, hohe Wohnnutzung, Industrie). Diese Szenarien beinhalten die Energienutzung in Gebäuden und im Verkehr. Weiters werden die Eigenschaften und Klimaeffekte, die durch den Einsatz von Photovoltaik auf Dächern entstehen, untersucht.

Literaturrecherche und Kommunikation mit Stakeholdern dienen der Aktualisierung und Verfeinerung der voraussichtlichen Veränderungen der Wiener Gebäudeparameter, die in den verschiedenen Stadtkategorien der Modelle verwendet werden. Alle gesammelten Daten werden verwendet, um das gekoppelte WRF-TEB-Modell zu initialisieren, laufen zu lassen und zu validieren und die atmosphärischen Bedingungen sowie für gegenwärtige und zukünftige sommerliche Dürreepisoden zu simulieren, um die zu erwartende thermische Belastung der Bewohner Wiens abzuschätzen. Das Offline-TEB-Modell wurde für die Modellierung des Mikroklimas in den Straßenschluchten verwendet. Es werden Best- und Worst-Case-Szenarien gerechnet und verglichen.

Beschreibung der Dachmessungen (WP2b):

A. Standort der Versuchsfelder (WP2b)

Im Rahmen des Projekts wurden vier Teststandorte ausgewählt, die über das Stadtgebiet verteilt sind und sich hinsichtlich der Gebäudestruktur unterscheiden. Abbildung 19 zeigt eine Übersichtskarte von Wien, auf der die vier Untersuchungsstandorte markiert sind.

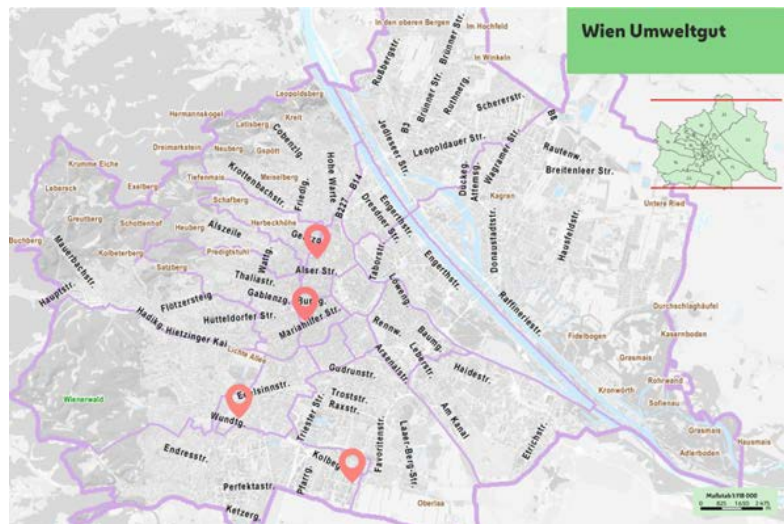


Abbildung 19: Standort der Versuchsstandorte in Wien (Hintergrundkarte: Vienna GIS)

A.1 KAN - GRG7, Kandlgasse, 1070 Wien: Der Versuchsort 1 befindet sich im dicht bebauten 7. Wiener Gemeindebezirk auf dem Gründach des Bundesgymnasiums Kandlgasse GRG7. Im Rahmen des Projekts „GrünPlusSchule@Ballungszentrum“ wurde 2015 ein extensives Gründach auf einer 200 m² großen Dachfläche der Turnhalle angelegt. Das Dach besteht aus einem 2,5 cm dicken Drainagesystem mit Speicherelement, einem Filtervlies und einem Substrat für extensive Begrünung mit einer Dicke von 5 bis 20 cm. Die Bepflanzung erfolgte mit Arten der Trockenrasengesellschaften der pannonischen Flora. Zudem wurden strukturelle Elemente wie Totholz und Steine auf dem Dach integriert.

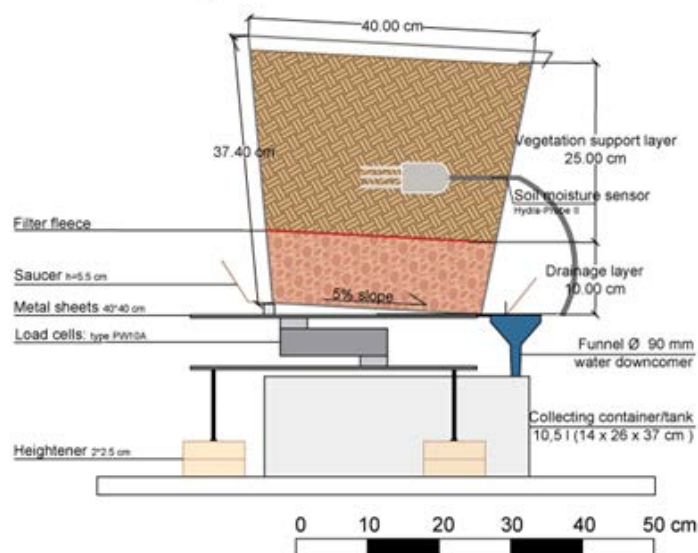
A.2 AKH– Allgemeines Krankenhaus Wien, 1090 Wien: Der Versuchsort 2 befindet sich im 9. Wiener Gemeindebezirk auf einem Gründach des AKH – Allgemeines Krankenhaus Wien. Das Gründach wurde 2014 mit einer HDPE-Wasserspeichermatte und einer 10 cm dicken Substratschicht angelegt. Die Begrünung erfolgte mit einem hohen Anteil an Sedum-Arten. Für den Versuch wurde ein Bereich mit maximalem Abstand zum deutlich höheren Haupttrakt des AKH und zentraler Lage auf dem Gründach ausgewählt. An dieser Stelle wurden ein kleiner Lysimeter für ein intensives und ein zweiter für ein extensives Gründach installiert.

A.3 REWE – Rewe International Lager GmbH, 1230 Wien: Der Versuchsort 3 befindet sich in einer Industriezone im 23. Wiener Gemeindebezirk auf dem Lagergebäude der Firma Rewe International Lager GmbH. Das extensive Gründach des Lagers umfasst etwa 6000 m² und ist mit Sedum-, Kräuter- und Grasarten bepflanzt, die für extensive Gründächer in Wien typisch sind. Die Versuchseinrichtung wurde zentral auf dem Gründach platziert. An diesem Standort wurden ein kleiner Lysimeter für ein intensives und ein zweiter für ein extensives Gründachsystem installiert.

A.4 JAEG - HBLFA Schönbrunn Außenstelle, Jägerhausgasse, 1120 Wien: Der Versuchsort 4 befindet sich im 12. Wiener Gemeindebezirk auf dem Gründach der Außenstelle Jägerhausgasse der HBLFA Schönbrunn. Die Umgebung ist durch eine Mischnutzung aus Wohn- und Gewerbegebieten geprägt. Auf dem Dach befinden sich ein intensives und ein extensives Gründach, wobei die Versuchsanlage auf dem extensiven Gründach installiert wurde. Die Vegetation besteht aus Sedum-, Kräuter- und Grasarten, die für extensive Gründächer in Wien typisch sind. An diesem Standort wurden zwei kleine Lysimeter für intensive und zwei für extensive Gründächer installiert, wobei je ein intensiver und ein extensiver Lysimeter regelmäßig bewässert werden.

B. Experimenteller Aufbau der kleinen Lysimeter zur Untersuchung verschiedener Gründächer

IMP_DROP Setup Intensive green roof (30l) Sectional drawing



IMP_DROP Setup Intensive green roof Ground plan

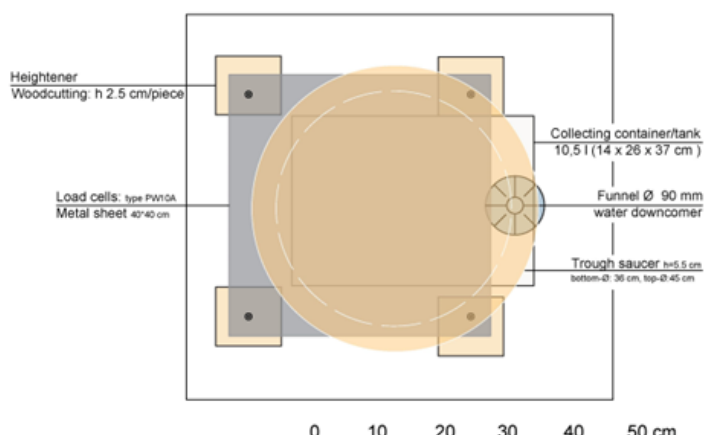


Abbildung 20: Schnittzeichnungen des Versuchsaufbaus des kleinen Lysimeters zur Untersuchung eines intensiven Gründachs (oben) und intensive Versuchseinheit – Grundriss (unten)

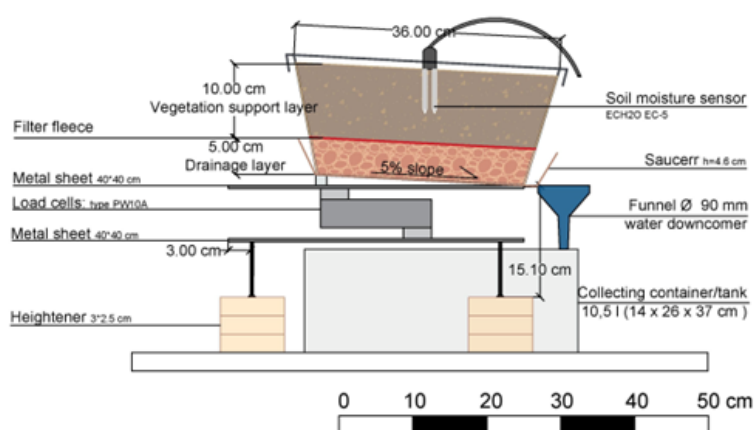
Kleine Lysimetersysteme wurden entwickelt, um die Infiltrationsrate und die Evapotranspiration bei intensiven und extensiven Gründächern zu untersuchen. Die Lysimeter basieren auf Wägezellen mit einer Doppelbiegebalken-Feder, die zwischen zwei Metallplatten angebracht ist. Auf den Metallplatten stehen Tröge mit den Versuchsanordnungen. Wasser, das nicht vom Substrat gehalten wird und durchsickert, wird in Auffangbehältern gesammelt. Zusätzlich sind Bodenfeuchtesensoren im Substrat installiert. Insgesamt wurden 6 extensive und 6 intensive Gründächer als kleine Lysimeter nachgebildet. Im Folgenden wird der Versuchsaufbau der Testvarianten beschrieben.

Aufbau der kleinen Lysimeter mit intensiver Dachbegrünung: Die Begrünung wurde in einem Pflanztopf mit einem Volumen von 30 Litern angelegt. Am Boden des Topfes wurde ein Vlies ausgelegt, um das Auswaschen feiner Substratpartikel zu verhindern. Darauf folgte eine 10 cm dicke Drainageschicht aus Blähton-Granulat, die durch ein Filtervlies von der Vegetationstragschicht getrennt ist. Die 20 cm dicke Vegetationstragschicht besteht

aus einem speziellen Substrat für Pflanztrogsysteme und intensive Gründächer mit einem mineralisch-organischen Anteil von 50/50. Die Drainageschicht, das Substrat und das Filtervlies wurden während der Installation gewogen und das Gewicht dokumentiert. Das Substrat war zum Zeitpunkt der Installation nicht vollständig trocken. Ein TDR-Bodenfeuchtesensor (Modell Stevens HydraProbe) wurde in der Mitte der Vegetationstragschicht installiert, wobei das Kabel durch ein gebohrtes Loch aus dem Tropf geführt wurde. Zur Sonnenisolierung wurde der Topf mit weißem Vlies abgedeckt. Der Tropf steht auf einer Untertasse, wobei das Sickerwasser durch einen Trichter in einen Auffangbehälter geleitet wird. Um sicherzustellen, dass das gesamte Sickerwasser im Auffangbehälter landet und nicht aus der Untertasse verdunstet, wurde die Untertasse einschließlich Trichter und der unteren Hälfte des Tropfes mit weißer Folie abgedeckt und die Abdeckung am Topf befestigt, sodass kein Wasser durch Verdunstung verloren geht. Der Topf weist eine Neigung von 5 % auf. Abbildung 20 zeigt maßstabsgerechte Zeichnungen des kleinen Lysimeters zur Untersuchung eines intensiven Gründachs. Die Tröge mit den intensiven Gründachsystemen wurden mit 5 verschiedenen Arten für trockene und sonnige Standorte bepflanzt (siehe Tabelle 3). Die bewurzelten Pflanzen wurden mit dem Wachstumsmedium eingesetzt. Das Gesamtgewicht der Pflanzen wurde gemessen und dokumentiert.

Aufbau der kleinen Lysimeter mit extensiver Dachbegrünung:

IMP_DROP Setup Extensive green roof (12l) Sectional drawing



IMP_DROP Setup Extensive green roof Ground plan

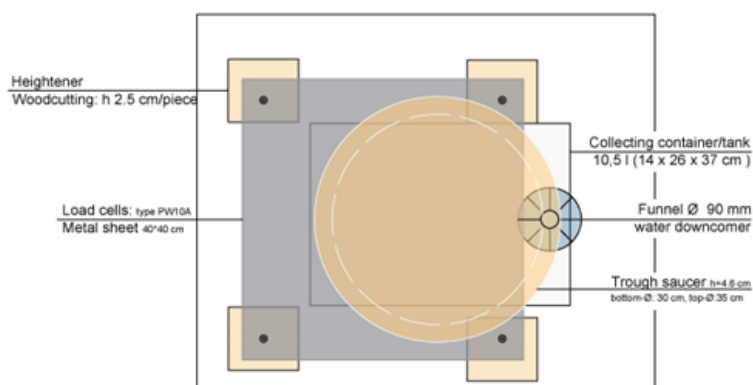


Abbildung 21: Schnittzeichnungen des Versuchsaufbaus des kleinen Lysimeters zur Untersuchung eines extensiven Gründachs (oben) und intensive Versuchseinheit – Grundriss (unten)

Die Begrünung wurde in einem Pflanztrof mit einem Volumen von 12 l angelegt. Am Boden des Trofs wurde ein Vlies ausgelegt, um das Auswaschen feiner Substratpartikel zu verhindern. Darauf folgte eine 5 cm dicke Drainageschicht aus Blähton-Granulat. Die Vegetationstragschicht war durch ein Filtervlies von der Drainageschicht getrennt. Die 10 cm dicke Vegetationsschicht besteht aus einem speziellen Substrat, das für extensive Gründächer geeignet ist. Die Drainageschicht, das Substrat und das Filtervlies wurden während der Installation gewogen und das Gewicht dokumentiert. Das Substrat war zum Zeitpunkt der Installation nicht trocken.

Der Trof wurde mit weißem Vlies für die Solarisolierung abgedeckt. Er steht auf einer Untertasse, durch die das Sickerwasser mithilfe eines Trichters in einen Auffangbehälter abgeleitet wird.

Um sicherzustellen, dass das gesamte Sickerwasser im Auffangbehälter landet und nicht aus der Untertasse verdunstet, wurde die Untertasse einschließlich des Trichters und der unteren Hälfte des Trogs mit einer weißen Folie abgedeckt. Die Abdeckung ist am Trog befestigt, sodass kein Verdunstungswasser verloren geht. Der Trog weist eine Neigung von 5 % auf. Abbildung 21 zeigt maßstabsgerechte Zeichnungen des kleinen Lysimeters zur Untersuchung eines extensiven Gründachs.

Tabelle 3: Pflanzliste für die Lysimeter mit intensiven Gründächern und die Standortanforderungen der Pflanzen

scientific name	german name	habit	frost resistant	habitat demands	soil demands
<i>Hypericum olympicum</i> 'Grandiflorum'	Vielblättriges Johanniskraut	spreading clump	yes	sunny	permable, sandy
<i>Helianthemum nummularium</i>	Sonnenröschen	crawling	hardy	sunny, dry	permable, sandy
<i>Nepeta x faassenii</i>	Katzenminze	bushy	hardy	sunny, dry	permable
<i>Aster dumosus</i> 'Kassel'	Kissenaster	tufted	yes	sunny	normal permable
<i>Geranium macrorrhizum</i> 'Spessart'	Balkan-Strockschanbel	dense bushy	hardy	sunny	permable, undemanding

Tabelle 4: Pflanzliste für die Lysimeter mit extensiven Gründächern und die Standortanforderungen der Pflanzen

scientific name	german name	habit	frost resistant	habitat demands	soil demands
<i>Sedum album</i> 'Coral Carpet'	Mauerpfeffer	flat, wide	hardy	sunny	permable, gravelly
<i>Sedum spurium</i> 'Purpurteppich'	Mauerpfeffer	dense, wide	hardy	sunny	permable, gravelly
<i>Sedum hybridum</i> 'Immergrünchen'	Mauerpfeffer	dense, wide	hardy	sunny	permable, gravelly
<i>Sedum acre</i>	Mauerpfeffer	flat, wide	hardy	sunny	permable, gravelly

Die Töpfe mit dem intensiven Gründachsubstrat wurden mit 5 verschiedenen Arten aus der Gattung *Sedum* bepflanzt (siehe Tabelle 4, Abbildung 22). *Sedum*-Arten sind Sukkulente, die besonders gut für nicht bewässerte Gründächer geeignet sind. Die bewurzelten Pflanzen wurden mit dem Wachstumsmedium eingesetzt. Das Gesamtgewicht der Pflanzen wurde gemessen und dokumentiert.



Abbildung 22: Tröge vor dem Ausbringen auf die Gründächer

C. Installation der experimentellen Einheiten

Zwischen 10. Und 12. Mai 2022 wurden die Töpfe auf die Dächer gebracht und die Messensorik installiert. Abbildung 23 zeigt exemplarisch die Versuchseinheit auf dem Dach des Rewe-Lagers.

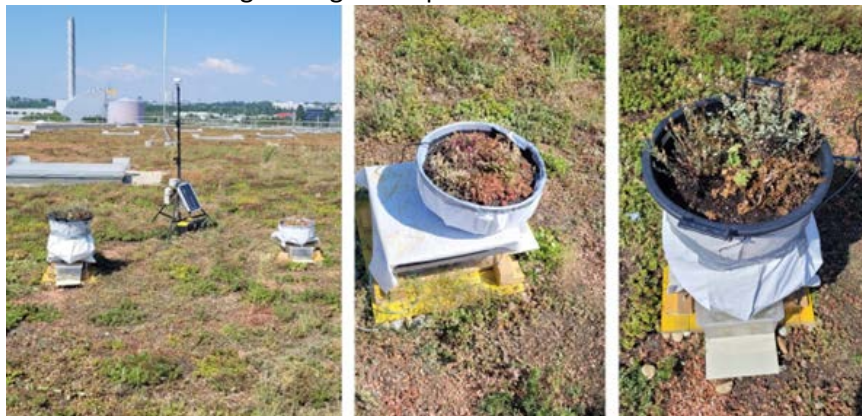


Abbildung 23: Nach der Fertigstellung der Versuchseinheit REWE (Rewe) – abgedeckt mit weißer Folie

Quantifizierung des Anthropogenen Wärmeflusses (WP3a):

Zu Beginn ist jede Primärenergie entweder in freier oder gebundener Form zu finden (Pehnt 2010). Die Farben repräsentieren jeweils eine Energiequelle, die entweder importiert oder lokal in Wien produziert wurde. Jede Energiequelle hat ihre eigene Farbe: Öl ist orange, elektrische Energie blau, Fernwärme lila, Gas ist pink, biogene Brennstoffe und Brennstoffe rot, brennbarer Abfall ist grau und erneuerbare Energien sind grün.

Die importierten und im Inland produzierten Energiequellen sind ganz links dargestellt. Oben links sind die importierten Anteile dargestellt; sie bestehen aus Öl, einem Teil der elektrischen Energie und Fernwärme, Gas und einem Teil der biogenen Brennstoffe und Brennstoffe. Unten links besteht die heimische Produktion aus biogenen Brennstoffen und Brennstoffen, brennbarem Abfall und erneuerbaren Energien.

Elektrische Energie und Fernwärme gehören zur Sekundärenergie. Sie entstehen durch verlustbehaftete Umwandlungsschritte wie Verbrennung und Raffinerien (Pehnt 2010). Im Jahr 2015 bestand der Umwandlungsinput aus Gas, biogenen Brennstoffen und Brennstoffen, brennbarem Abfall und erneuerbaren Energien. Mehr als die Hälfte des importierten Gases wurde umgewandelt, um es in Form von elektrischer Energie und Fernwärme nutzen zu können. Die Effizienz der Gasumwandlung liegt bei etwa 60%. Normalerweise wird Gas entweder in Gasturbinen oder in Gas-Dampfkraftwerken verbrannt (Pehnt 2010). Die Biomasse-Kalorikanlagen sind normalerweise dezentral an Orten installiert, an denen große Mengen Biomasse anfallen. Dabei wird Biomasse in Dampferzeugern verbrannt, mit nachgeschaltetem Dampfturbinenkreislauf, und ist technisch ausgereift. Darüber hinaus ist sie seit Jahrzehnten auf dem Markt (Lechner et al. 2003).

Elektrische Energie kann auch aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden. Das Wasserkraftwerk Freudenau ist der größte Erzeuger erneuerbarer Energie in Wien mit einer Nennleistung von 172 MW und einer Stromproduktion von 1.035 GWh im Jahr 2015 (Verbund 2017).

Im August unterscheidet sich die Verteilung und Nutzung der einzelnen Energiequellen grundlegend von der Verteilung im Jahr 2015. Abb. 5 zeigt die Verteilung der Energiequellen unter Berücksichtigung des Endenergieverbrauchs im August 2015. Was auf den ersten Blick auffällt, ist, dass der Gasverbrauch stark reduziert ist und nun nur noch 16% des gesamten Endenergiebedarfs Wiens

ausmacht. Dies ist jedoch nicht überraschend, da Gas in Wien hauptsächlich für die Heizung verwendet wird, die im Sommer entfällt. Der Hauptanteil, für den Gas im August genutzt wird, ist die Erwärmung von Wasser.

Darüber hinaus kann das Emissionsniveau bestimmt werden. Die Wärme aus Öl wird der Einfachheit halber nur auf der Straßenebene angenommen, da der Verkehr 89% des Ölverbrauchs ausmacht. Das Emissionsniveau für Gasemissionen wird zwischen Fassade und Dach aufgeteilt. Der größte Teil der Abwärme, die für Warmwasser und Heizung erforderlich ist, befindet sich jedoch auf Fassadenniveau. Nur der Verlust, der beim Verbraucher nach oben zirkuliert, wird dem Schornsteinlevel zugeordnet. Daher wird der Verbrennungswirkungsgrad von Gasheizungen benötigt. Er beträgt 80% (Durkin 2006; Qu et al. 2014).

WRF-TEB Modellierung (WP4-6)

In unseren WRF-Simulationen haben wir eine Reihe physikalischer Parametrisierungs-Schemata eingesetzt, um die zentralen atmosphärischen und oberflächennahen Prozesse in den ersten drei Domänen präzise abzubilden. Für die Mikrophysik nutzten wir das WRF Single-Moment 6-Class (WSM6)-Schema, das Eis-, Schnee- und Graupelprozesse berücksichtigt und sich daher für hochauflösende Wettersimulationen eignet. Die Parametrisierung der Kumuluskonvektion wurde in allen Domänen deaktiviert (außer in der 10-km-Domäne, die in der Simulation von 2004 eingeführt wurde), da Konvektion bei hoher Auflösung explizit aufgelöst wird. Für Strahlungsprozesse kamen die RRTMG-Longwellen- und RRTMG-Kurzwellenschemata zum Einsatz, die eine genaue Darstellung des Strahlungstransfers, der Wolkeninteraktionen und der atmosphärischen Erwärmung ermöglichen. Die Physik der planetarischen Grenzschicht (PBL) wurde durch das Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)-Schema modelliert, ein lokales Schließungsschema, das Turbulenzen innerhalb der Grenzschicht berücksichtigt. Die Physik der Oberflächenschicht folgte ebenfalls dem MYJ-Oberflächenschichtschema, um die Konsistenz mit dem PBL-Schema sicherzustellen. Für die Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre wurde das Noah Land Surface Model verwendet, das den Austausch von Energie und Feuchtigkeit zwischen Land und Atmosphäre beschreibt. Schließlich wurde für urbane Prozesse das Town Energy Balance (TEB; Masson 2000)-Schema angewendet, das explizit städtische Wärmeflüsse, Gebäude und anthropogene Wärmeeinwirkungen berücksichtigt. Diese Auswahl an Schemata gewährleistet robuste und physikalisch konsistente Simulationen in unseren Studiengieten.

Für die historische Hitzewellenanalyse wählten wir die Episode vom Juli 2004 aus. Für diese Episode nutzten wir ERA5-Reanalysedaten (Hersbach et al. 2020) anstelle der ECMWF-IFS-Analysedaten, da die Auflösung des IFS zu dieser Zeit (ca. 40 km im Jahr 2004) zu grob war. ERA5 bietet mit einer horizontalen Auflösung von 31 km eine detailliertere Darstellung der atmosphärischen Bedingungen und eignet sich daher besser für die Simulation extremer Wetterereignisse wie Hitzewellen. Zudem führten wir, um einen großen Sprung in der räumlichen Auflösung von 31 km auf 2,7 km zu vermeiden, eine zusätzliche äußere Domäne mit einer 10-km-Auflösung ein. Dies gewährleistet einen sanfteren Downscaling-Übergang (31 km → 10 km → 2,7 km) und verbessert die Modellstabilität und Genauigkeit. Im Gegensatz zu Trockenperioden zeigt die Temperatur während Hitzewellen in den Klimaprojektionen einen deutlich ausgeprägten Anstieg. Die Schwellenwerte für das durchschnittliche tägliche Temperaturmaximum während der Hitzewelle, die identifiziert werden konnten, sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Durchschnittliche maximale Temperatur und Differenz zur Referenz-Hitzewellen-Temperatur für 5-tägige Hitzewellen in Wien basierend auf dem ÖKS15-Ensemble.

Period	Temperature [°C]	Delta [°C]	Historic event
1991-1990	28.14	0.0	21. – 26 Jul. 2004
2050 low impact	30.10	1.96	12. – 17. Aug. 2018
2050 high impact	31.80	3.76	16. – 20. Jun. 2021

Agrarwirtschaftliche Szenarien für das Landmanagement und die Bewässerung wurden entwickelt (siehe Tabelle 6). Die städtischen Parameter für den Status quo und ein optimiertes zukünftiges urbanes Szenario wurden festgelegt.

Tabelle 6: Überblick über alle Bewässerungsszenarien

Default	Default WRF (Noah) Bodenfeuchte, keine Bewässerung
ARIS	Bodenfeuchte des ARIS Model, keine Bewässerung
30% Irr	Bodenfeuchte des ARIS Model, 30% Bewässerung Marchfeld
100% Irr	Bodenfeuchte des ARIS Model, 100% Bewässerung Marchfeld
OPT	Bodenfeuchte des ARIS Model, 30% Bewässerung Marchfeld, 100% Gründach, maximale urbane Vegetation

Vegetationsanteil settings ARIS -> OPT:

TEB_FRAC_GR: 0.071 0.04 0.1 -> 1. 1. 1. (realistic = 0.28 0.19 0.4)

TEB_ZGARDEN: 0.525 0.16 0.54 -> 0.708 0.49 0.708 (see Table below)

Gründächer:

Grüne Dächer im WRF-TEB sind stark parametrisiert, und ihre evaporative Leistung wird unter Verwendung des Bowen-Verhältnisses berechnet. In unserer Simulation ist dieses auf 0,5 eingestellt. Dies ist typisch für Grasland (https://glossary.ametsoc.org/wiki/Bowen_ratio). Daher entspricht dies einer intensiven Begrünung (z. B. mit Gras und Kräutern). Das bedeutet, dass der latente Wärmefluss, der von den begrünten Dächern ausgeht, dann eher einer bewässerten Variante entspricht (weil Grasland im Durchschnitt tiefere Böden hat und mehr Wasser speichert, sodass es das Bowen-Verhältnis länger halten kann). Die Berechnung erfolgt in: ./proxi_SVAT/greenroof.F90. Das verwendete Bowen-Verhältnis GREENROOF_BR wird zusammen mit den anderen Vegetationsparametern (Albedo und Emissivität) in ./proxi_SVAT/proxi_svat_const.F90 definiert.

```
REAL:: VEG_ALB = 0.25 ! Default for grass
REAL:: VEG_EMIS = 0.98 ! Default for grass
REAL:: GARDEN_BR = 0.25
REAL:: GREENROOF_BR = 0.5
```

SURFEX / TEB Modellierung (WP4-6):

Um die Wirksamkeit verschiedener Strategien zur Minderung urbaner Hitze unter sommerlichen Dürrebedingungen zu bewerten, wurden mehrere Simulationen durchgeführt, die jeweils unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen darstellen (sh. Tabelle 7). Diese Szenarien umfassen Variationen der Vegetationsbedeckung, urbane Oberflächenmodifikationen, Belüftungsstrategien, Photovoltaikinstallationen, Klimaanlage, Verbesserungen der Gebäudedämmung und wärmebedingte Emissionen des Verkehrs. Das Basisszenario (S_STQ) repräsentiert die heutige städtische Umgebung mit bestehender Vegetation, während S_NO_TREE ein Szenario ohne jegliche Baumvegetation darstellt. Strategien der grünen Infrastruktur umfassen Gründächer mit verschiedenen Vegetationstypen und Substrattiefen (S_GR, S_GRSUDUM), Straßenbäume (S_TREE,

S_TREELAI2) und unversiegelte Straßen mit Grasbedeckung (S_LV). Die Oberflächenmodifikationen konzentrieren sich auf die Erhöhung der Dach-Albedo (S_ALB), die Integration von Photovoltaikmodulen mit unterschiedlichen Wirkungsgraden und Konfigurationen (S_PV, S_PVAIR, S_PV09, S_PV40, S_GRPV, S_GR1PV) sowie die Verbesserung der Gebäudedämmung (S_INS). Zusätzlich wurden passive Kühlungsmaßnahmen wie Nachtlüftung (S_VEN), Verschattung (S_VENSD) und kombinierte Strategien mit reflektierenden Dächern (S_VENSDALB) getestet. Der Einfluss von aktiver Kühlung durch Klimaanlage (S_HVAC) und der Effekt erhöhter anthropogener Wärmeemissionen durch Verkehr (S_HTR) wurden ebenfalls untersucht. Für Szenarien mit Vegetation wurde eine optimale Bewässerung angenommen, um eine maximale Evapotranspiration sicherzustellen. Die Verkehrsemissionen wurden auf Grundlage tageszeitlicher Muster aus früheren Studien normalisiert. Die Ergebnisse dieser Simulationen liefern wichtige Erkenntnisse zur potenziellen Wirksamkeit verschiedener Minderungsstrategien zur Reduzierung des urbanen Hitzestresses unter extremen Sommerbedingungen.

Tabelle 7: Simulierte Maßnahmen zur Kühlung während sommerlicher Dürreperioden

S_STQ	present day situation and vegetation cover
S_NO_TREE	no measures, no tree cover
S_GR(i)	green roof, grass 15 cm substrate (irrigated)
S_GRSEDUM(i)	green roof, Sedum 6 cm Substrate (irrigated)
S_TREE(i)	street trees, height=12 m, crown width= 10 m, LAI=6 (irrigated)
S_TREELAI2	street trees, height=12 m, crown width= 10 m, LAI=2
S_LV(i)	all road unsealed with grass, irrigated, no trees
S_ALB	roof albedo = 0.6
S_VEN	night ventilation only
S_VENSD	night ventilation and window shading
S_VENSDALB	night ventilation, window shading, white roof (albedo=0.6)
S_PV	100% photovoltaic cover of roof, efficiency=18%, albedo=0.1
S_PVAIR	like PV, but with airgap
S_PV09 90%	photovoltaic, efficiency=18%, Albedo=0.1
S_PV40 100%	photovoltaic, efficiency =40%, Albedo=0.1
S_GRPV 50%	photovoltaic, 50% green roof, gras 15 cm
S_GR1PV	50% photovoltaic, 100% green roof, gras 15 cm
S_HVAC	air condition on, setpoint: 24 °C
S_HTR	sensible + latent energy flux caused by traffic is increased by factor 10
S_INS	thermal insulation increased
S_ALL	combination of PV and INS

Irrigation: Irrigation values are assumed to assure optimal water availability and maximum evapotranspiration.

High traffic: For H_traffic a weekly and hourly normalization was applied and the normalization supplied by Météo-France adapted according to the NOx traffic diurnal cycles published in (Schreier et al., 2020): XPAR_TRAF_DAILY=1.15, 1.15, 1.15, 1.15, 1, 0.7, 0.7; XPAR_TRAF_HOURLY=0.72, 0.47, 0.36, 0.35, 0.41, 0.71, 1.36, 1.56, 1.6, 1.56, 1.41, 1.21, 1.1, 1.06, 1.01, 1.01, 1.05, 1.1, 1.15, 1.15, 1, 0.85, 0.8; the mean background value of 13 W was taken from the results of WP3b.

7 Arbeits- und Zeitplan

(max. 1 Seite)

Kurze Übersichtsdarstellung des Arbeits- und Zeitplans (keine Details).

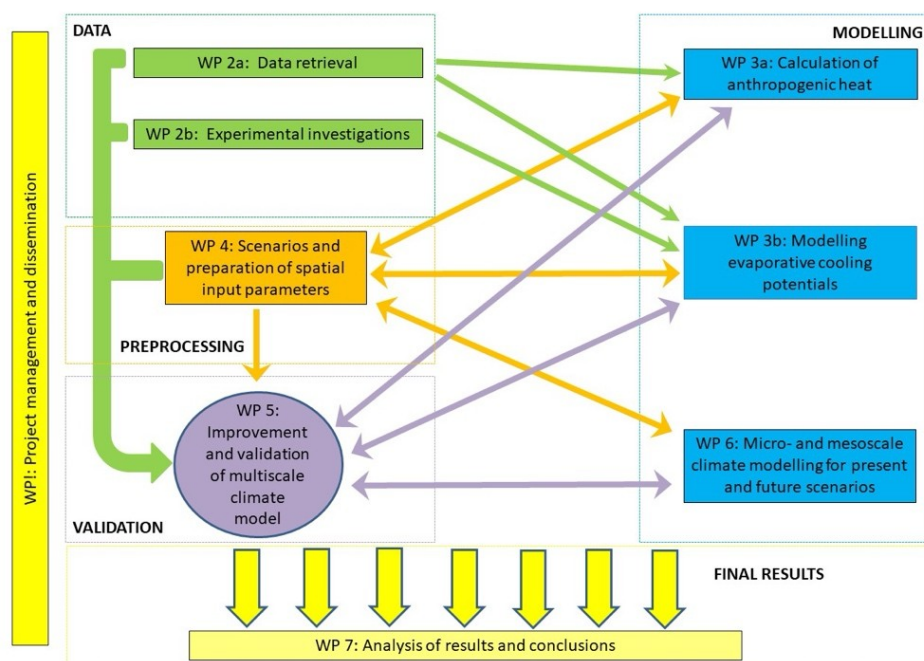


Abbildung 24: Flussdiagramm des Imp_DroP Projektes

Das Flussdiagramm (Abb. 24) und eine Übersicht der abgeschlossenen Arbeitspakete gemäß dem Arbeitsplan des Imp_DroP-Projekts sind in Tab. 8 dargestellt.

Tabelle 8. Arbeitspakete (WP) laut Arbeitsplan des Imp_DroP Projektes

	2022				2023				2024			
WP1												
WP2a												
WP2b												
WP3a												
WP3b												
WP4												
WP5												
WP6												
WP7												

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Tabellarische Angabe von wissenschaftlichen Publikationen, die aus dem Projekt entstanden sind, sowie sonstiger relevanter Disseminierungsaktivitäten.

Präsentationen:

- Weihs, P., Trimmel, H., Gützer, C., Sadriu, M., Eitzinger, S., Thaler, S., Mursch-Radlgruber, E., Formayer, H., Perny, K., Pröll, T., Wöss, D., Hofer, A., Rauch, HP., Hörbinger, S., Szocska, D., Preiss, J., Wittkowski, M., Masson, V., Schoetter, R., Schmidt, T. (2023) Impact of longer Drought Periods on Climate in Greater Vienna: appropriate Mitigation measures (Imp_DroP). In: 23. Österreichischer Klimatag – Ressourcen im Wandel, 11-13 April 2023, Montanuniversität Leoben, Austria.
- Thaler, S; Eitzinger, J; Formayer, H; Gützer, C; Hofer, A; Hörbinger, S; Masson, V; Mursch-Radlgruber, E; Perny, K; Preiss, J; Pröll, T; Rauch, HP; Sadriu, M; Schmidt, S; Schoetter, R; Szocska, D; Trimmel, H; Wittkowski, M; Wöß, D; Weihs, P (2023): Evaporative cooling potential from green roofs in Vienna. CA20108 FAIRNESS: Fair Network of micrometeorological measurements: Conference on micrometeorological measurements. Urban microclimate monitoring and agricultural meteorology for climate change, Roma, Italy, 19.09.2023-21.09.2023.

Kommende Präsentationen:

- Weihs, P., Trimmel, H., Thaler, S., Eitzinger, J., Hörbinger, S, Rauch, J. P., Preiss, J., Wöss, D., Pröll, T., Formayer, H., Nadeem, I., Wittkowsky, M., Schoetter, R., Masson, V., Mirebeau, A., Lemonsu, A (2025) Impact of longer Drought Periods on Climate in Greater Vienna. EGU 2025, Vienna, Austria, 27.4.2025-2.5.2025.
- Thaler, S., Eitzinger, J., Gützer, C., Hörbinger, S., Rauch, J. P., Trimmel, H., Weihs, P. (2025) The potential for evaporative cooling from Vienna's green roofs. EGU 2025, Vienna, Austria, 27.4.2025-2.5.2025.

Poster:

- Thaler, S., Eitzinger, J., Formayer, H., Gützer, C., Hofer, A., Hörbinger, S., Masson, V., Mursch-Radlgruber, E., et al. (2023). Cooling potential of green spaces in the Vienna metropolitan area during extended periods of drought. In: EMS Annual Meeting 2023, 3-8 September 2023, Bratislava, Slovakia.
- Eitzinger, J; Thaler, S; Formayer, H; Gützer, C; Hofer, A; Hörbinger, S; Masson, V; Mursch-Radlgruber, E; Perny, K; Preiss, J; Pröll, T; Rauch, JP; Sadriu, M; Schmidt, S; Schoetter, R; Szocska, D; Trimmel, H; Wittkowski, M; Wöß, D; Weihs, P (2023). The cooling potential of green spaces in and around Vienna during prolonged dry periods. In: 9th Meeting of the Austrian Meteorological Society 2023. Period: 11.05.2023 - 12.05.2023 Location: Innsbruck, Austria. Organizer: University of Innsbruck
- Trimmel, H., Eker, S., Swamy, D., Tan, R. and Niamir, L.: Synergistic nature of sustainable development solutions centred on heat stress in the urban system. EGU 2025, Vienna, Austria, 27.4.2025-2.5.2025.

Paper:

- Thaler S, Eitzinger J, Fischer M, Kubu G, Marin D, Orsag M, Trnka M, Vecchiotti F, Vreugdenhil M, Wagner W (2025) Benchmarking of topsoil moisture estimation methods based on a field study. The Journal of Agricultural Science:1-17. doi:10.1017/S0021859625000036

Master thesis:

Hofer A. An estimation of the anthropogenic heat flux in Vienna for a high-temperature season and a future scenario [Internet] [Master / Diploma Thesis]. [Austria]: BOKU - Universität für Bodenkultur Wien; 2023. Available from: <http://permalink.obvsg.at/bok/AC16811353>

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.