

PROJEKTBERICHT

WISSENSCHAFTLICHE STUDIE ZUR ERMITTLUNG VON MESSNETZ-STANDORTEN

Marianne Bügelmayer-Blaschek
Martin Schneider
Tanja Tötzer

Juli 2024

EXECUTIVE SUMMARY

Der Magistrat Linz beschäftigt sich seit einigen Jahren intensiv mit den Themen Klimawandelanpassung und Klimaschutz und wurde vom Linzer Gemeinderat mit dem Aufbau eines meteorologischen Messnetzes beauftragt. Die vorliegende Studie hat zum Hauptziel potenzielle Standorte für dieses Messnetz in Linz zu definieren. Entsprechend dem Klimarisikoassessment des Klimawandelanpassungskonzeptes „Zukunft Linz“ stellt die Hitzebelastung das größte Klimarisiko dar, wodurch der Bedarf an einem Messnetzwerk mit optimal gewählten Messstandorten zur Beobachtung der Hitzeverteilung in der Stadt besteht.

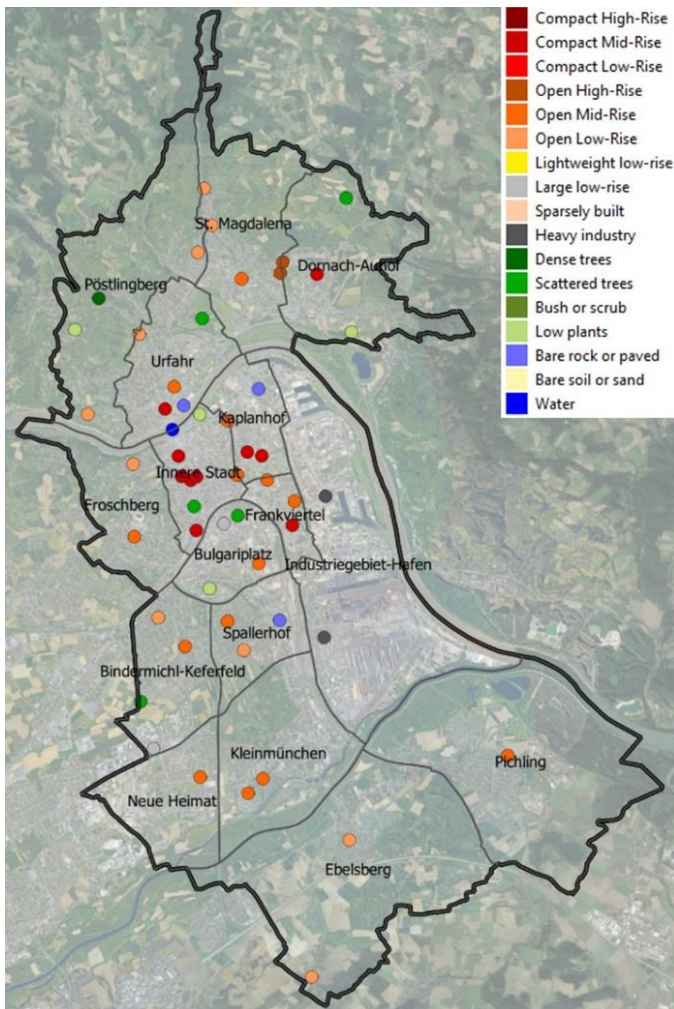


Abbildung 1: Ausgewählte Standorte; Farbgebung entsprechend der Lage in der Local Climate Zone.

Zur Auswahl der optimalen Standorte, wurden folgende Schritte durchgeführt:

- 1) Bestimmung der Local Climate Zones (LCZ)
- 2) Simulation eines repräsentativen Sommertages mit PALM4U
- 3) Definition der Standortkriterien
- 4) Verschneidung der Standortkriterien mit PALM4U Simulationsergebnissen und LCZ
- 5) Verschneidung der passenden Regionen (Schritt 4) mit möglichen Standorten definiert durch die Stadt Linz
- 6) Austausch mit Herstellern von Messgeräten zur Ableitung von Empfehlungen zu möglichen Messgeräten

Die einzelnen Arbeitsschritte ergeben folgende Ergebnisse:

- 1) Charakterisierung der Linzer Stadtregion nach objektiven Bebauungskriterien (LCZ) => Karte der LCZ für Linz vorliegend, welche auch für zukünftige Fragestellungen anwendbar ist.
- 2) Hochaufgelöste (räumlich: 5-10 m, zeitlich: stündlich) Stadtklimadaten zur Analyse des städtischen Mikroklimas an einem autochthonen Sommertag => darauf aufbauend können Aspekte wie die Wirkung von Innenhöfen, oder stark versiegelten Fläche analysiert und kommuniziert werden
- 3) 50 mögliche Standorte für das Messnetz => einerseits liegt die Auswahl möglicher Standorte vor, andererseits stehen die zugrunde liegenden Datensätze dem Magistrat zur Verfügung. Die Methodik wurde (i) in regelmäßiger Absprache erarbeitet und (ii) der vorliegende Endbericht dokumentiert diese, so dass selbstständig zusätzliche Standorte identifiziert werden können.

Zusätzlich wurden Informationen und Empfehlungen zum aktuellen State-of-the-Art der Messtechnik für stadtklimatologische Fragestellungen erhoben. Dabei zeigt sich, dass die Messgenauigkeit der Geräte für die Temperatur von der Verfügbarkeit von Strom (aktive Belüftung zur korrekteren Temperaturmessung) und für die Windparameter in erster Linie vom Preis der Geräte abhängen. Je nach Fragestellung bzw. Verfügbarkeit von Strom

bietet sich die Möglichkeit eine Mischung aus qualitativ höherwertigen Referenzstationen und günstigeren Messstationen zu errichten.

Als nachgelagerte Fragestellung, deren Ergebnisse nicht in die Standortauswahl eingeflossen sind, wurde eine Durchlüftungssimulation mit dem PALM-4U Modell durchgeführt, um aufzuzeigen an welchen Orten es an Tagen mit höheren Windgeschwindigkeiten zu erhöhter Exposition kommt.

Inhaltsverzeichnis

Executive summary	2
1 Hintergrund & Fragestellung	5
2 Methodik	6
2.1 Bestimmung der Local Climate Zones (LCZ) für Linz	6
2.2 Stadtklimamodell PALM-4U	8
2.2.1 Eingangsdaten PALM-4U	9
2.2.2 Set-up der Simulation zur Bestimmung der Standorte (autochthoner Sommertag)	9
2.2.3 Set-up der Durchlüftungssimulation	11
2.3 Definition der Standortkriterien	12
2.4 Verschneidung der Standortkriterien mit PALM-4U Simulations-ergebnissen und LCZ	13
2.5 Verschneidung der passenden Regionen mit möglichen Standorten	14
2.5.1 Definition der Standort-ID	14
3 Ergebnisse Standortauswahl	15
3.1 Bestimmung der Local Climate Zones (LCZ) für Linz	15
3.2 Simulation eines repräsentativen Sommertags mit PALM-4U	17
3.2.1 Vergleich mit Stationsdaten	17
3.2.2 Ergebnisse autochthoner Sommertag	19
3.3 Verschneidung der Standortkriterien mit PALM-4U Simulationsergebnissen und LCZ	20
3.4 Auswahl der Standorte	21
4 Empfehlungen für die Sensorik	24
4.1 Messgenauigkeit	24
4.2 Parameter „Temperatur und Luftfeuchtigkeit“	24
4.3 Parameter „Windgeschwindigkeit und -richtung“	24
4.4 Parameter „Mittlere Strahlungstemperatur“	25
4.5 Multi-Sensing Geräte / Kompaktsensoren	25
4.6 Montage	25
4.7 Energieversorgung	25
4.8 Datenübertragung	25
4.9 Darstellung der Daten, Qualitätskontrolle und Fehlermeldungen	25
5 Ergebnisse Durchlüftungssimulation	26
6 Zusammenfassung	26

1 HINTERGRUND & FRAGESTELLUNG

Der Magistrat Linz beschäftigt sich seit einigen Jahren intensiv mit den Themen Klimawandelanpassung und Klimaschutz, da das Linzer Stadtgebiet stark von Klimaveränderungen betroffen ist (Abbildung 2). Darüber hinaus nimmt sie als drittgrößte Stadt Österreichs, sowie als aktiver Standort für Industrie, eine wichtige Vorreiterrolle ein.

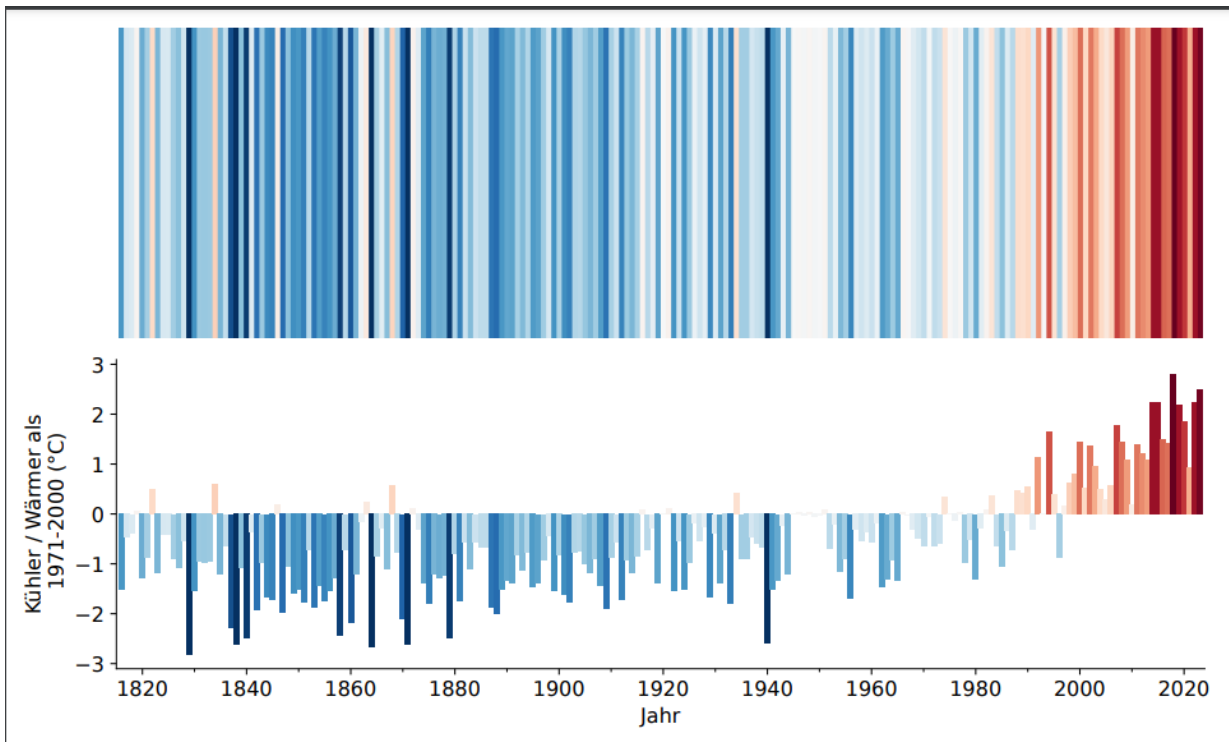


Abbildung 2: Linzer Klimastreifen; die Farben zeigen die Abweichung der Jahresmitteltemperatur vom klimatologischen Mittel (1971-2000, blau kälter, rot wärmer). Quelle: https://www.linz.at/images/files/Klimastreifen_mit_Barplot.pdf

Als Teil einer nachhaltigen Klimapolitik ist es wichtig den aktuellen, lokalen Klimazustand laufend zu erfassen und besonders betroffene Gebiete zu identifizieren. Da die Hitzebelastung entsprechend dem Klimarisikoassessment des Klimawandelanpassungskonzeptes „Zukunft Linz“ aktuell das größte Klimarisiko darstellt, besteht ein großer Bedarf an einem Messnetzwerk mit optimal gewählten Messstandorten, welche relevante mikroklimatische Parameter (v.a. Temperatur) über das gesamte Stadtgebiet gut abbilden.

Für die vorliegende Studie wurden die folgenden zentralen Fragestellungen definiert:

Wo sind die **geeignetsten potenziellen Standorte** für meteorologische Messstationen im Stadtgebiet, um die **Vielfältigkeit des Stadtklimas** repräsentativ messen und **verfügbare Aufstellungsorte** nutzen zu können?

Wie stellt sich das **Stadtklima** an einem **repräsentativen Hitzetag bei autochthoner Wetterlage** in Bezug auf **Lufttemperatur** und **thermische Komfortindizes** dar?

Welche **Messtechnik** könnte eingesetzt werden und wodurch zeichnet sich diese aus?

Unabhängig von der Auswahl der Messnetzstandorte wurde zusätzlich eine **Analyse der Durchlüftungssituation** an einem Tag mit höheren Windgeschwindigkeiten (>4 m/s) durchgeführt. So können anhand einer Durchlüftungssimulation Gebiete mit unterschiedlicher Exposition gegenüber hohen Windgeschwindigkeiten, sowie Bereiche mit geringerer Windanfälligkeit, identifiziert werden.

Zur Beantwortung dieser Fragen und Ermittlung geeigneter Messnetzstandorte als zentrales Ergebnis, führte das AIT eine wissenschaftliche Studie durch, deren Methodik und Ergebnisse im vorliegenden Projektbericht

dokumentiert wurden. Das Ziel der Studie war eine gesamtheitliche Analyse der Standorte für die Messstationen zu erstellen, so dass für einen maximal großen Anteil des Stadtgebiets repräsentative Werte ermittelt werden können.

2 METHODIK

Zur Beantwortung der oben definierten Fragestellungen mit Bezug zu den potenziellen Standorten des Messnetzwerks wurden folgende Schritte durchgeführt, auf die nachfolgend im Detail eingegangen wird:



1. Bestimmung der Local Climate Zones (LCZ) für Linz



2. Simulation eines repräsentativen Sommertages mit PALM-4U



3. Definition der Standortkriterien



4. Verschneidung der Standortkriterien mit den PALM-4U Simulationsergebnissen und den LCZ



5. Verschneidung der passenden Regionen (Schritt 4) mit möglichen Standorten definiert durch die Stadt Linz

2.1 Bestimmung der Local Climate Zones (LCZ) für Linz

Das Konzept der Local Climate Zones wurde 2012 von Stewart und Oke vorgestellt, um ein einheitliches Klassifizierungsschema für lokale „Klimazonen“ zu schaffen. Dieses Schema soll es ermöglichen Studien und deren Dokumentation von Wärmeinseln zu standardisieren und damit vergleichbar zu machen. Insgesamt wurden 17 Zonen identifiziert, welche hauptsächlich auf Eigenschaften der Oberflächenstruktur (z. B. Höhe und Dichte von Gebäuden und Bäumen) und der Oberflächenbedeckung (durchlässig vs. undurchlässig) basieren. Von den 17 Zonen entsprechen 10 unterschiedlichen Bebauungsstrukturen, die restlichen 7 stellen mögliche Landnutzungen ohne Bebauung dar (Abbildung 3). Während in der Literatur eine Unterscheidung der bebauten und unbebauten LCZ durch Zahlen (bebaut) und Buchstaben (unbebaut) verwendet wird, wurde für die Studie die Nummerierung fortgesetzt.

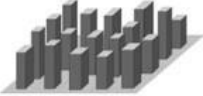


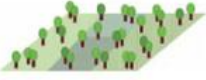








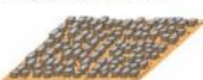




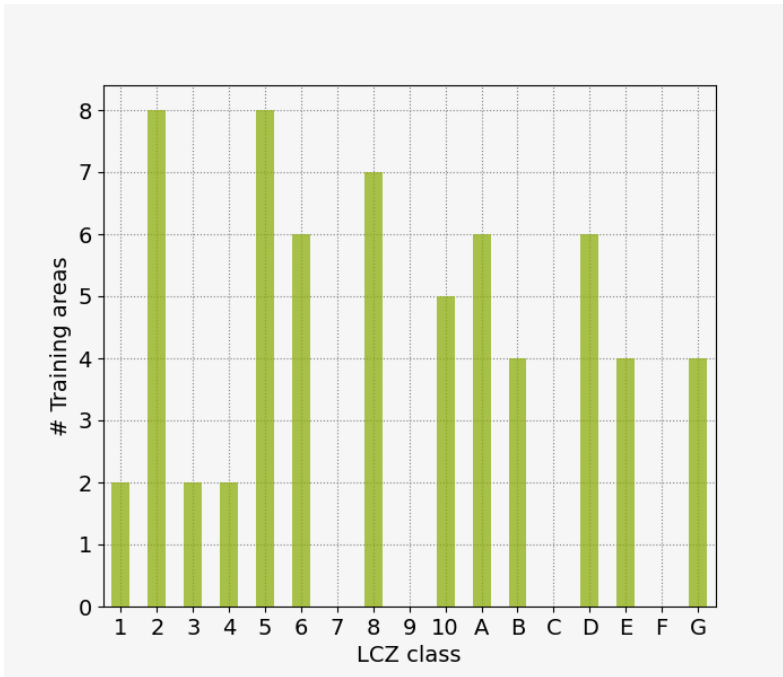
Built types	Definition	Land cover types	Definition
 <p>1. Compact high-rise</p>	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>A. Dense trees</p>	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>2. Compact midrise</p>	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>B. Scattered trees</p>	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
 <p>3. Compact low-rise</p>	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	 <p>C. Bush, scrub</p>	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
 <p>4. Open high-rise</p>	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>D. Low plants</p>	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
 <p>5. Open midrise</p>	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	 <p>E. Bare rock or paved</p>	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
 <p>6. Open low-rise</p>	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	 <p>F. Bare soil or sand</p>	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
 <p>7. Lightweight low-rise</p>	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	 <p>G. Water</p>	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
 <p>8. Large low-rise</p>	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	VARIABLE LAND COVER PROPERTIES	
 <p>9. Sparsely built</p>	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	Variable or ephemeral land cover properties that change significantly with synoptic weather patterns, agricultural practices, and/or seasonal cycles.	
 <p>10. Heavy industry</p>	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	<p>b. bare trees</p> <p>s. snow cover</p> <p>d. dry ground</p> <p>w. wet ground</p>	<p>Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.</p> <p>Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.</p> <p>Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.</p> <p>Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.</p>

Abbildung 3: Übersicht der Local Climate Zones (Stewart und Oke, 2012)

Zur besseren Anwendbarkeit dieses Schemas, wurde 2021 der so genannte LCZ Generator¹ entwickelt, der eine automatisierte Klassifizierung von Städten ermöglicht (Demuzere, 2021). In diesem werden manuell Beispiele für jede LCZ im Stadtgebiet anhand von Satellitenbildern markiert. Diese dienen dem Tool als Trainingsdaten zur Klassifizierung und Übertragung auf das gesamte Stadtgebiet. Durch die Anwendung des LCZ Generators konnte somit eine Kartierung der LCZ für Linz teilautomatisiert vorgenommen werden. Anschließend wurde das Ergebnis vom Magistrat Linz detailliert kontrolliert und fehlerhafte LCZ-Zuordnungen eines Gebiets entsprechend korrigiert.

¹ <https://www.wudapt.org/lcz/lcz-framework/>



Für Linz wurden die benötigten Trainingsdaten vorbereitet und dem LCZ Generator zur Verfügung gestellt. Je nach Klasse, deren Verfügbarkeit und Vielfältigkeit wurden unterschiedlich viele Daten vorgegeben (Abbildung 4). Die LCZ 7, 9 und C kommen im Stadtgebiet nicht vor. Die LCZ F wurde manuell an einem Standort (Reitschule Ebelsberg) nachträglich, kleinräumig ergänzt. Darüber hinaus gibt es den Typ Blockrandbebauung nicht in den LCZ, deshalb wurde der Bebauungstyp compact mid-rise mit Satellitenbildern entsprechend der Blockrandbebauung trainiert, siehe auch 2.1.

Abbildung 4: Anzahl der Trainingsdatensätze pro LCZ Klasse vorgegeben durch das AIT

2.2 Stadtklimamodell PALM-4U

Das Stadtklimamodell PALM-4U wurde im Rahmen der Initiative „Stadtklima im Wandel“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) konzipiert und stellt eine Weiterentwicklung des PALM Modells dar.

PALM ist ein State-of-the-Art Modellierungssystem für atmosphärische und ozeanische Grenzschichtströmungen. Es wurde als turbulenzauflösendes Large-Eddy-Simulationsmodell (LES) entwickelt, das speziell für den Betrieb auf parallelen Computerarchitekturen ausgelegt ist. Inzwischen wurde eine auf den Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANS) basierende Turbulenzschließung hinzugefügt, so dass PALM nicht nur im turbulenzauflösenden Modus (d.h. LES), sondern auch im RANS-Modus laufen kann, in dem das gesamte Turbulenzspektrum parametrisiert ist.

Aufgrund der umfangreichen Erweiterungen des Modells ist PALM nicht mehr nur eine Abkürzung, sondern ein eigenständiger Name. Er beschreibt das PALM-Modellsystem, das aus dem PALM-Modellkern und den PALM-4U-Komponenten (für urbane Anwendungen) besteht. Diese Komponenten werden zusammen mit PALM ausgeliefert und ermöglichen es, das Modell für verschiedene städtische Anwendungen von der Meso- bis zur Mikroskala einzusetzen.

Für urbane Anwendungen bieten die PALM-4U-Komponenten eine Vielzahl von Möglichkeiten und Funktionen zur Beantwortung von Forschungsfragen und zur Bewältigung von Problemen der modernen Stadtplanung im Zusammenhang mit dem städtischen Mikroklima und dem Klimawandel. Dazu gehört vor allem die Darstellung von Gebäuden auf einem kartesischen Gitter mit Rasterabständen bis zu 1 m und darunter. Definitionsgemäß wird PALM-4U ab PALM Version 5.0 ausgeführt, sobald Gebäude im Modellbereich platziert werden und mindestens eine der folgenden PALM-4U Komponenten verwendet wird:

- Energiebilanzlöser für Gebäude- und Pflasterflächen
- Strahlungstransport innerhalb der städtischen Struktur, einschließlich Abschattungseffekten und Mehrfachreflexionen zwischen städtischen Strukturen
- Wandmaterialmodell für den Wärmetransport zwischen Atmosphäre und Gebäude
- Modell für das Innenraumklima zur Vorhersage von Innentemperatur, Energiebedarf und Abwärme
- Ein Multi-Agenten-System für Stadtbewohner:innen, das biometeorologische Studien ermöglicht
- Quasi-automatisches externes Forcing durch COSMO-DE-Modelldaten
- Analysewerkzeuge und direkte Ausgabe biometeorologischer Größen

Die PALM-4U-Komponenten wurden von einem Konsortium von Institutionen im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Förderprogramms "[UC²] - Stadtklima im Wandel" weiterentwickelt. Weitere Informationen sind unter <http://uc2-mosaik.org> verfügbar.

2.2.1 Eingangsdaten PALM-4U

Um die städtische Struktur bestmöglich wiederzugeben, wurden unterschiedliche Datensätze als Eingangsdaten für PALM-4U aufbereitet:

Datensatz	Quelle
Gebäude	Projekt KLIMALINZ ²
Landnutzung	LISA (Land Information System Austria) & Urban Atlas
Geländemodell (DEM)	Copernicus
Bäume	Baumkataster Linz & LISA
Kritische Infrastruktur	Projekt KLIMALINZ

2.2.2 Set-up der Simulation zur Bestimmung der Standorte (autochthoner Sommertag)

In der vorliegenden Studie wurde das Set-up passend für einen Hitzetag gewählt:

- autochthone Wetterlage (Anwendungsfall „Thermischer Komfort“)
 - Wolkenloser Strahlungstag
 - Windschwache Lage (2 m/s, Windrichtung NW)
 - Nächtliche negative Strahlungsbilanz führt zur Entstehung von Kaltluft
- Spin-up: 24 h
- Simulationszeit: 30 h
01.07. 00:00 – 02.07. 06:00
- Auswertungszeit: 24h
01.07. 06:00 – 02.07. 06:00
- Randbedingungen: zyklisch
- 3 Domänen (one-way nesting, Abbildung 5):
 - D01: 30 m (800 x 1500 x 58)
 - D02: 10 m (1400 x 2100 x 102)
 - D03: 5 m (800 x 800 x 80)

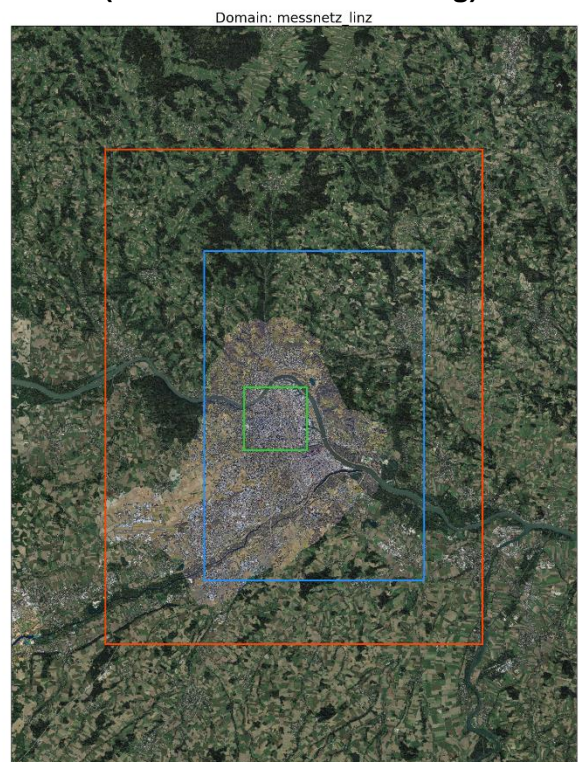


Abbildung 5: Domänen: rot D01, blau D02, grün D03

Die Domänengröße D01 wurde wie dargestellt gewählt, um mögliche Entstehungsgebiete von Kaltluft für das Stadtgebiet Linz vollständig abzudecken. Das Franck- und Innenstadtviertel wurden zusätzlich mit 5 m Auflösung simuliert, um die kleinräumige Struktur besser abzubilden.

Um eine bestmögliche Darstellung der realen Bedingungen zu gewährleisten, wurden die von PALM-4U vorgeschlagenen Rahmenbedingungen (potenzielle Temperatur) etwas angepasst:

² <https://www.ait.ac.at/news-events/single-view/detail/7145?cHash=59345d14ed139ccc0099b2fccd35f760>

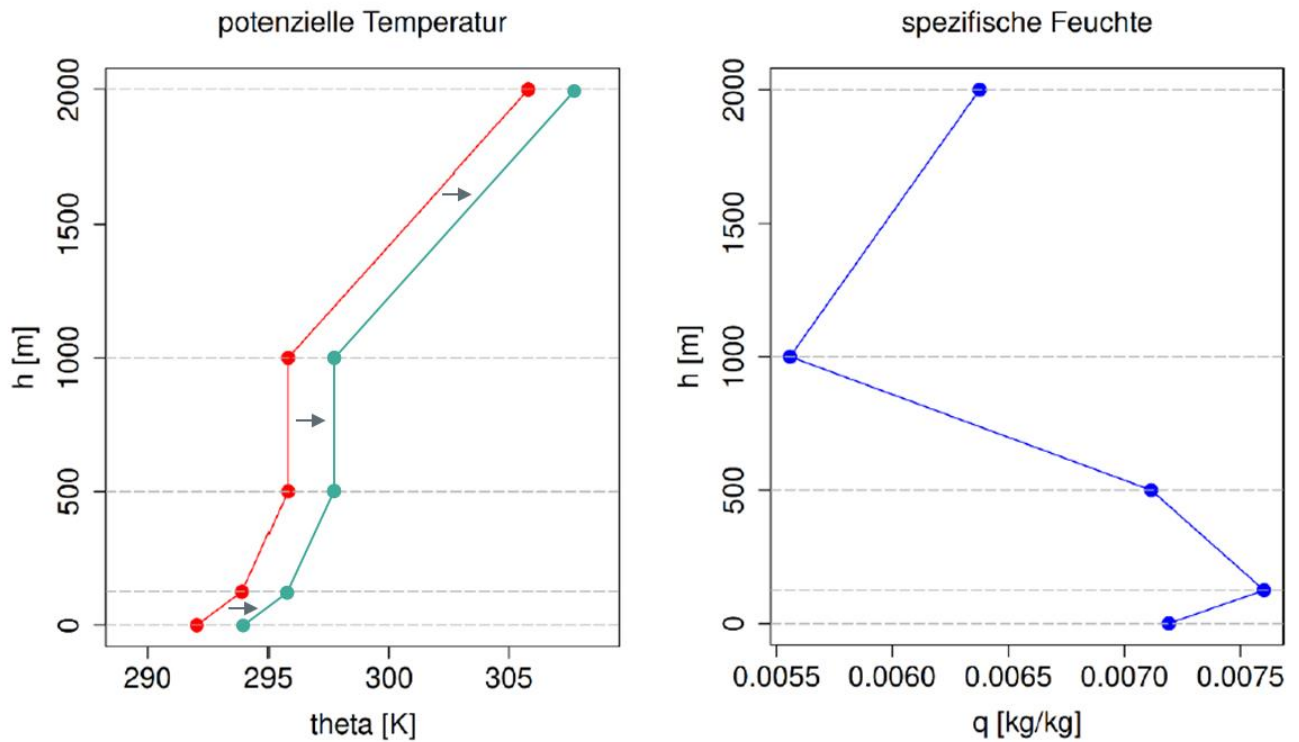


Abbildung 6: Initialprofile der potenziellen Temperatur und spezifischen Feuchte (PALM-4U Anwendungskatalog für die kommunale Praxis, Burmeister et. al, 2023); die empfohlene Temperatur (rot) wurde angepasst (türkis)

In PALM-4U werden die Wassertemperaturen räumlich und zeitlich konstant vorgegeben. Dies ist entsprechend des Simulationszeitraums von einem Tag gerechtfertigt. Die Wassertemperatur der Donau wurde entsprechend der vorliegenden Messdaten im Juli 2023 auf 19 °C gesetzt (Abbildung 7).

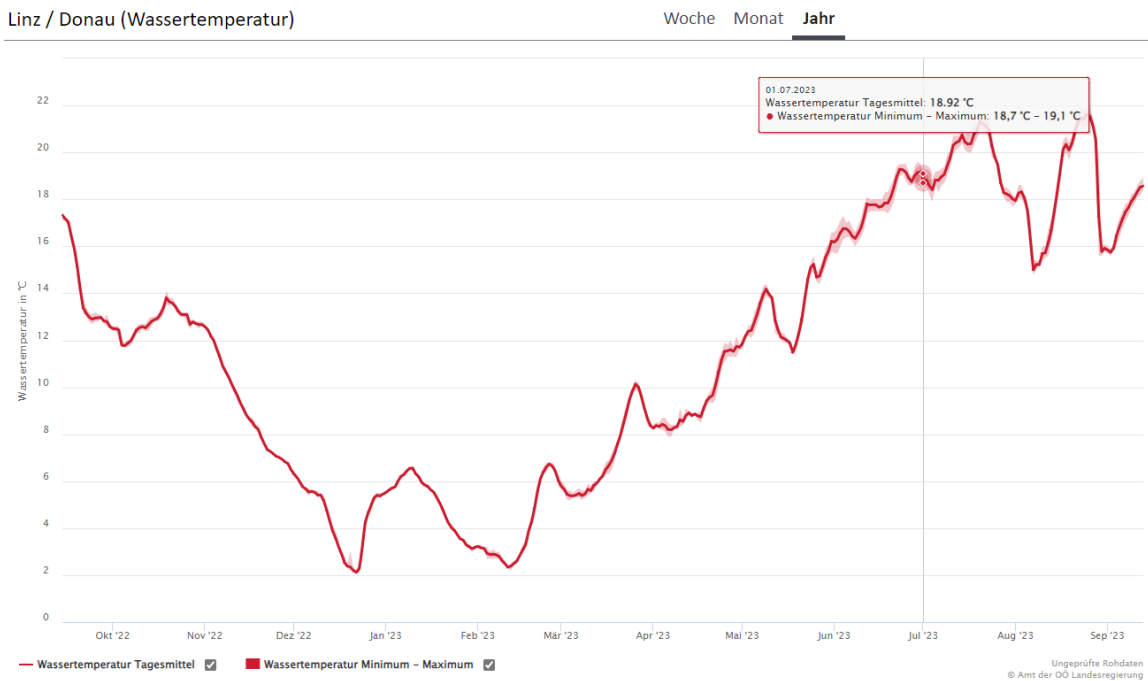


Abbildung 7: Wassertemperatur der Donau (Amt der OÖ Landesregierung, 2023)

2.2.2.1 Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messdaten des Jahres 2023

Für die Simulation des repräsentativen Sommertags bei autochthoner Wetterlage wurden, wie oben beschrieben, zyklische, idealisierte Bedingungen angenommen. Dh. es wurde – im Gegensatz zur Durchlüftungssimulation (2.2.3) – kein bestimmter Tag simuliert. Deshalb wurden für den Vergleich der PALM-4U Ergebnisse alle vorhandenen Stationen des Land Oberösterreichs (4) und der Stadt Linz (6) herangezogen und von diesen die Sommertage in einem Median pro Station zusammengefasst.

Ausgewählte Sommertage, die autochthonen Bedingungen 2023 entsprachen haben waren:

- 09.07.
- 15.07.
- 11.08.
- 12.08.
- 13.08.
- 14.08.
- 15.08.
- 19.08.
- 21.08.
- 22.08.
- 23.08.
- 24.08.

2.2.3 Set-up der Durchlüftungssimulation

Das Ziel der Durchlüftungssimulation ist die lokalen Gegebenheiten im Stadtgebiet bei einer durchschnittlich windigen Wetterlage zu analysieren. Dafür wurden zunächst die verfügbaren Winddaten der Stationen Freinberg (Land OÖ) und Hösrsching (GeoSphere Austria) in Windrosen dargestellt (Abbildung 8). Bei diesen Betrachtungen handelt es sich um durchschnittliche Windgeschwindigkeiten. Windspitzen (Böen) werden nicht gesondert ausgewertet.

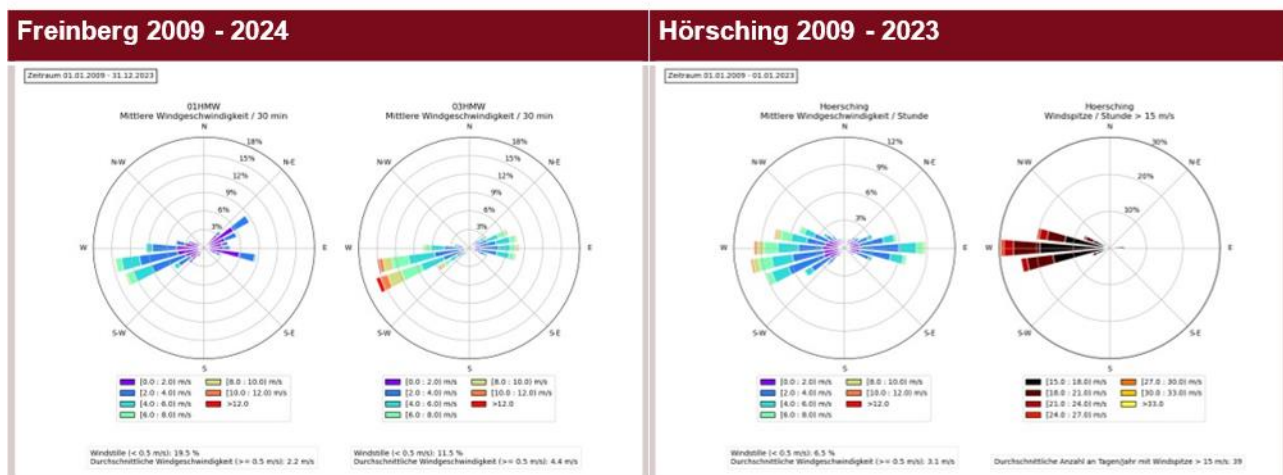


Abbildung 8: Windrosen für die Stationen Freinberg (links) und Hösrsching (rechts) zur Analyse der Hauptwindrichtung bei hohen Windgeschwindigkeiten

Dabei zeigt sich, dass Windgeschwindigkeiten > 4 m/s vor allem bei den Windrichtungen Westsüdwest (Freinberg) bzw. West (Hösrsching) vorkommen.

Um die Windsituation an einem durchschnittlich windigen Tag abzubilden, wurden folgende Bedingungen für die Durchlüftungssimulationen definiert:

- Windgeschwindigkeit > 4 m/s
- Windrichtung: Westsüdwest

In der Durchlüftungssimulation wird PALM-4U nicht mit zyklischen Randbedingungen, sondern durch Klimamodelldaten angetrieben. Dafür wurden die regionalen Klimadaten des COSMO-CLM Modells (Rockel et al., 2008), die auf 1 km Auflösung für Linz aus dem Projekt CLARITY³ vorliegen, nach den definierten Bedingungen analysiert.

Als geeigneter Tag wurde der 12.06.2011 identifiziert, der in COSMO eine konstante Westsüdwest Windrichtung und Windgeschwindigkeiten von ~4-8 m/s in den Modellpunkten von Freinberg und Hörsching aufweist.

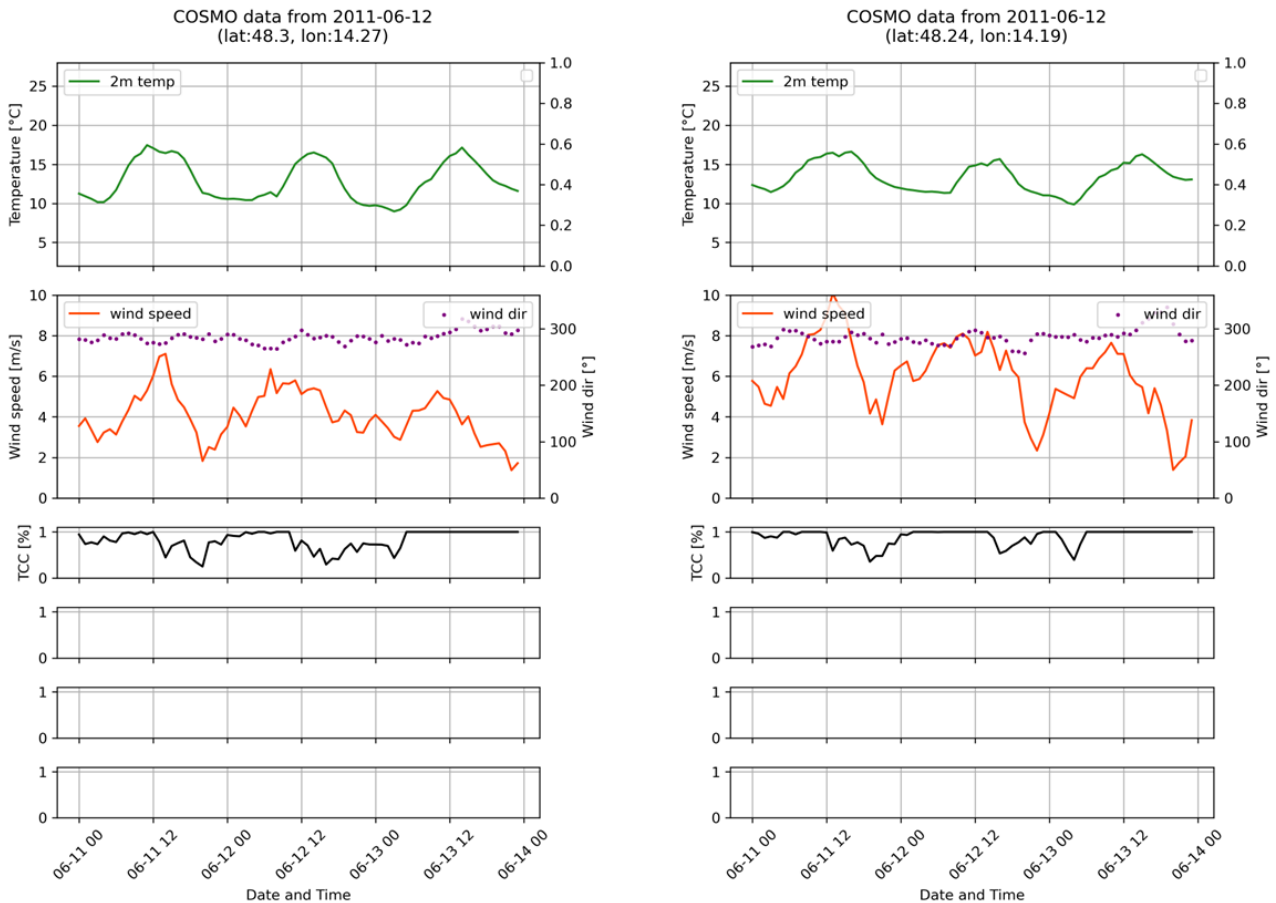


Abbildung 9: Auswertung COSMO Modelldaten an Gitterpunkten für Freinberg (links) und Hörsching (rechts)

Für die Durchlüftungssimulation wurde die Ausdehnung der PALM-4U Domäne im Vergleich zur Simulation der autochthonen Wetterlage angepasst, so dass nur die 10 m Domäne mit einer Erweiterung nach Westen gerechnet wurde. Die größere 30 m Domäne wurde nicht benötigt, da die Randbedingungen aus dem COSMO-CLM stammen. Auch die 5 m Domäne wurde nicht berechnet, da diese ausschließlich für kleinskalige Betrachtungen eines Hitzetags in der Innenstadt beauftragt wurde.

2.3 Definition der Standortkriterien

Das Ziel der Studie war es, Messnetzstandorte zu finden, welche einen guten Überblick über das Stadtklima geben. Die LCZ ermöglichen die Einteilung der Stadt in ähnliche bauliche Nutzungsstrukturen. Darüber hinaus ermöglichen die hochaufgelösten PALM-4U Simulationen eine detaillierte Analyse der mikroklimatischen Zustände, welche auch innerhalb einer LCZ variieren. Gerade diese Unterschiede können von großem Interesse für die Stadt Linz sein und sind deshalb durch das Messnetz abzudecken.

³ <https://cordis.europa.eu/project/id/730355>

Zur Identifikation der mikroklimatologisch unterschiedlichen Bereiche innerhalb einer LCZ wurden deshalb sechs (A-F) Kriterien definiert, die mikroklimatische Aspekte behandeln und ein zusätzliches Kriterium (Z), welches strategisch interessante Orte identifiziert (in Absprache mit dem Magistrat Linz):

Kriterium	Beschreibung
A	Hohes Tagesmaximum und hohes Tagesminimum der Lufttemperatur
B	Hohes Tagesmaximum und niedriges Tagesminimum der Lufttemperatur
C	Niedriges Tagesmaximum der Lufttemperatur
D	Niedriges Tagesminimum der Lufttemperatur
E	Sonniger Standort (mehr als 7 Sonnenstunden am Tag)
F	Schattiger Standort (weniger als 4 Sonnenstunden am Tag)
Z	Strategisch interessanter Standort
...	

Abbildung 10: Kriterien, nach denen die Bereiche innerhalb einer LCZ analysiert wurden, um passende Standorte zu identifizieren

2.4 Verschneidung der Standortkriterien mit PALM-4U Simulationsergebnissen und LCZ

Um hohe bzw. niedrige Tagesmaxima oder -minima zu identifizieren, wurden die Tagesmaxima und -minima der 2 m Lufttemperatur aus PALM-4U für jede LCZ analysiert. Innerhalb jeder LCZ wurden die 25. und 75. Perzentile der Maximum- und Minimumtemperatur definiert. Liegt ein Wert darunter/darüber fällt er in die Kategorie hoch/niedrig. Für die Kriterien E und F wurde die Einstrahlung an einem unbeschatteten Standort zwischen 06:00 und 17:00 als Referenz herangezogen. Für jeden Gitterpunkt wurden jene Stunden als Sonnenstunden klassifiziert, an denen die Einstrahlung in diesem Zeitraum mehr als 75% der möglichen Einstrahlung erreicht. Standorte mit mehr als 7 Sonnenstunden wurden als „sonniger Standort“, Standorte mit weniger als 4 Sonnenstunden pro Tag als „schattiger Standort“ definiert.

Als strategisch interessante Standorte (Kriterium Z) wurden einerseits frequentierte Orte definiert (Hauptplatz, Hauptbahnhof, Urfahrnermarkt, Promenade, Hirschkampplatz, Martin-Luther-Platz, Botanischer Garten, Pöstlingberg, Seilerstätte) und andererseits Orte mit speziellen meteorologischen Bedingungen definiert:

- Kalt- und Frischluftschneisen (entsprechend der Stadtklimaanalyse und der Auswertung der Kaltluftvolumenstromdichte der PALM-4U Simulation)
- „Höhere“ Windgeschwindigkeit bei autochthoner Wetterlage (vorwiegend entlang der Donau)
- Topographisch höher gelegene Orte

2.5 Verschneidung der passenden Regionen mit möglichen Standorten



Abbildung 11: Teilausschnitt der Stadt Linz, weiße Straßen entsprechen möglichen Orten von geeigneten Betonmasten für das Anbringen von Messgeräten

Basierend auf Abschnitt 2.4 wurden Gebiete (Kriterien A-F) bzw. Standorte (Kriterium Z) innerhalb aller vorhandenen LCZ definiert, welche den vorgegebenen Kriterien entsprechen. Allerdings können nicht überall Messgeräte angebracht werden, da diese gewisse Infrastruktur (z.B. Masten, in Abhängigkeit der Messtechnik potenziell auch Stromzufuhr) und eine Montageerlaubnis benötigen.

Zur Bestimmung möglicher Standorte, hat wurde vom Magsitrat Linz eine Datei mit möglichen Standorten von Betonmasten zur Verfügung gestellt, wobei diese nicht genau verortet, sondern nur als Straßen bekannt waren (Abbildung 11).

Zusätzlich zu den Straßen wurden auch Gebäude berücksichtigt, die möglicherweise im Eigentum der Stadt stehen, da an diesen Messgeräten mit geringeren administrativen Aufwänden angebracht werden könnten (z.B. Schulen, Kindergärten, Seniorenwohnheim).

Zur Identifikation möglicher Standorte wurden nun die in 2.4 identifizierten Gebiete mit jenen der möglichen Standorte Abbildung 11 verschnitten. Dazu wurden sogenannte maskierte Karten erstellt, welche nur Bereiche entsprechend Kriterium A-F pro LCZ beinhalteten. Diese wurden dann mit den Standorten in QGIS⁴ verschnitten.

Aus den resultierenden Bereichen wurden manuell die möglichen Standorte ausgewählt, wobei auch Aspekte wie öffentliche Gebäude, vorhandene Parkanlagen etc. miteingeflossen sind.

2.5.1 Definition der Standort-ID

Um sowohl das entsprechende Kriterium als auch die LCZ, und die Stationsnummer innerhalb der LCZ aus der Standort-ID ablesen zu können, wurde sie wie folgt zusammengesetzt:

- Nr. der LCZ
- Kriterien in sequentieller Reihenfolge (Buchstabe wenn es erfüllt wird bzw. „0“ wenn es nicht erfüllt wird)
- Nummer der Station in dieser LCZ

Beispiel:

ID	LCZ	criteriaA	criteriaB	criteriaC	criteriaD	criteriaE	criteriaF	criteriaZ	# Station in LCZ
01A0000F001	01	A	0	0	0	0	F	0	01

⁴ <https://www.qgis.org/de/site/>

3 ERGEBNISSE STANDORTAUSWAHL

3.1 Bestimmung der Local Climate Zones (LCZ) für Linz

Basierend auf den vom AIT vorgegebenen Trainingsdaten, wurde für Linz folgende Karte der LCZ erstellt (Abbildung 12). Dabei ist zu beachten, dass nicht alle LCZ im Linzer Stadtgebiet vorhanden sind. So gibt es z.B. keine Klasse sieben (Lightweight low-rise).

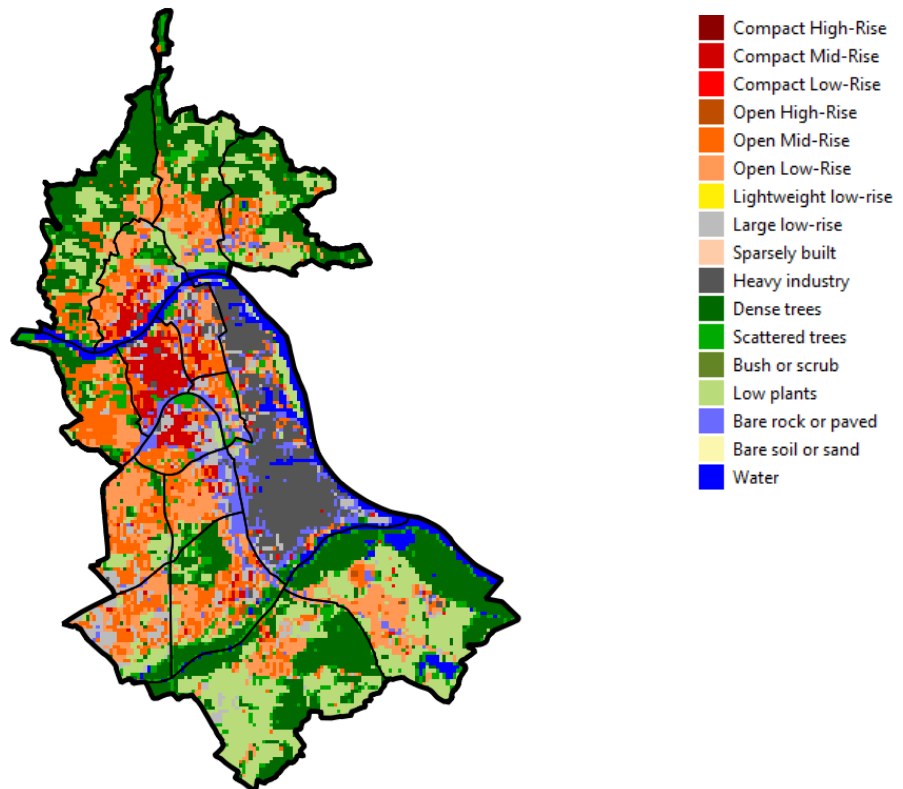


Abbildung 12: automatisch generierte LCZ für Linz⁵

Die automatisch erstellte Karte wurde zunächst vom AIT und im Anschluss zusätzlich vom Magistrat Linz begutachtet und manuell überarbeitet (Abbildung 13). Durch diesen Prozess konnten sowohl offensichtlich falsch zugeordnete LCZ korrigiert, als auch mehrdeutige Fälle individuell betrachtet und zugewiesen werden.

⁵ Schneider, Martin (2023). WUDAPT Level 0 training data for Linz (Austria, Republic of), submitted to the LCZ Generator. This dataset is licensed under CC BY-NC-SA, and more information is available at

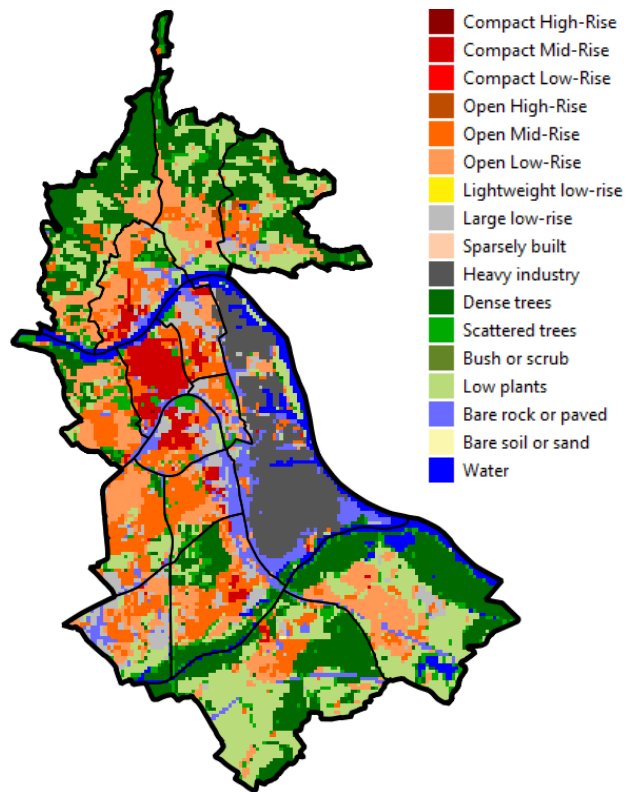


Abbildung 13: Finale LCZ für die Stadt Linz

Basierend auf den definierten LCZ ergeben sich folgende Flächenverteilungen der LCZ (Tabelle 1):

Tabelle 1: Größe der vorhandenen LCZ innerhalb des Linzer Stadtgebiets in m² und ha

LCZ	Bezeichnung	Fläche der LCZ [m ²]	Fläche der LCZ [ha]
01	Compact high-rise	32800	3
02	Compact mid-rise	3578100	358
03	Compact low-rise	32800	3
04	Open high-rise	130400	13
05	Open mid-rise	11393100	1139
06	Open low-rise	14145100	1415
07	Lightweight low-rise	0	0
08	Large low-rise	4783200	478
09	Sparsely built	0	0
10	Heavy industry	6996700	700
11	Dense trees	21156500	2116
12	Scattered trees	5414800	541
13	Bush, scrub	0	0
14	Low plants	17414800	1741
15	Bare rock or paved	5672300	567

16	Bare soil or sand	13600	1
17	Water	5201300	520

Bezogen auf die Bebauungsstruktur (LCZ 01 – 10), sind vor allem open mid-rise (1139 ha) und open low-rise (1415 ha) Gebiete großflächig in Linz vertreten, welche vorwiegend Mehrparteienhäusern in lockerer Bebauung (open mid-rise) und Einfamilienhaussiedlungen (open low-rise) entsprechen. Die Innenstadt ist durch Blockrandbebauung geprägt, die in dieser Form durch keine LCZ repräsentiert ist. Da die automatisierte Zuordnung durch den LCZ-Generator mit Trainingsdaten von Satellitenbildern vorgenommen wurde, konnte der Bebauungstyp compact mid-rise mit der Struktur der Blockrandbebauung trainiert werden. Dementsprechend ist die Bezeichnung compact mid-rise gedanklich durch Blockrandbebauung zu ersetzen. Die vorhandene Industrie innerhalb des Linzer Stadtgebiets nimmt mit knapp 700 ha ebenso einen großen Flächenanteil ein und stellt damit eine sehr große versiegelte Fläche ohne Grünräume dar.

Bei den Landnutzungen ohne Bauungen (LCZ 11- 17) sind vor allem dense trees (11, Waldflächen) und low plants (14, Grasflächen, Landwirtschaft und städtische Grünflächen mit sehr wenig Baumbestand) großflächig vorhanden.

3.2 Simulation eines repräsentativen Sommertags mit PALM-4U

Als ersten Schritt wurde die PALM-4U Simulation mit dem Median der Stationen verglichen, um sicherzustellen, dass der Tagesgang, sowie die unterschiedlichen Temperaturverläufe der Stationen zufriedenstellend durch das Modell abgedeckt sind.

Dafür wurde in PALM-4U jeweils der nächstliegende Gitterpunkt ausgewählt, der der entsprechenden Station bestmöglich entsprach. Dh. es wurde z.B. der Gitterpunkt vor einem Gebäude gewählt, wenn die Station an der Wand angebracht ist, oder der Gitterpunkt des Gebäudes, wenn die Station an der Wand auf Dachhöhe angebracht ist.

3.2.1 Vergleich mit Stationsdaten

Für den Vergleich mit Stationsdaten wurden folgende Stationen des Landes Oberösterreich und der Stadt Linz herangezogen:

Land Oberösterreich:

- Stadtpark
- Römerberg
- Neue Welt
- 24 Turm

Stadt Linz:

- am Gebäude auf Dachhöhe:
 - Rennerschule
 - Ebelsberg
 - Dornach
- am Grund:
 - Hauptplatz
 - Glöcklschule
 - Garnisonsstraße

Der Vergleich zwischen den Modellgitterpunkten (durchgezogene Linie) und den Stationen (strichlierte Linie) zeigt für die Stationen des Land OÖ (Abbildung 14, links):

- Abkühlungsverhalten der Standorte wird im Modell repräsentiert:
 - Zeitpunkt der Abkühlung
 - Verhältnis der Tagesminima zwischen den Stationen
- Verhältnis der Temperaturverläufe am Nachmittag stimmt überein (mit Ausnahme der Station Stadtpark, blau)
- Erwärmung untertags stimmt überein (Differenz bleibt in etwa gleich), hingegen sinkt die Temperatur an den Stationen schneller und stärker als im Modell
- Überwärmung der Station Neue Welt (grün) in den Abendstunden stärker als im Modell vorhanden

Für die Stationen der Stadt Linz (Abbildung 14, rechts):

- Verhältnis der Tagesminima zw. den Stationen (Gebäude auf Dachhöhe vs. Grund) wird im Modell repräsentiert
- Zeitpunkt der Abkühlung ist bei den Stationen rund 1-2 Stunden früher und erfolgt rascher als im Modell
- Intensität des Tagesgangs ist bei Stationen auf Dachhöhe und Modell ähnlich stark ausgeprägt. Stationen am Grund kühlen im Modell nicht so stark aus.
- Station Glöcklschule (grün): Ähnliche Auswirkungen der Strahlungsexposition am Nachmittag
- Überwärmung der Station Garnisonsstraße (gelbt) tritt im Modell nicht auf
- Ausgeprägte Abkühlung der Station Dornach am Abend tritt im Modell nicht auf (erst in der Nacht)

Beim Vergleich mit Stationsdaten ist hervorzuheben, dass die hier dargestellten Stationsdaten aus dem Median der zuvor erwähnten Tage zusammengesetzt sind und somit weder die Stationsdaten noch das Modell einen spezifischen Tag gegenüberstellen. Darüber hinaus bilden die Stationsdaten eine Referenz zur Orientierung, aber nicht die Wahrheit ab. Beispielsweise ist die Station Garnisonsstraße an einer südlich orientierten Betonwand angebracht, was u.a. eine Erklärung für die höheren Temperaturwerte untertags im Vergleich zu den anderen Stationen hinweisen könnte.

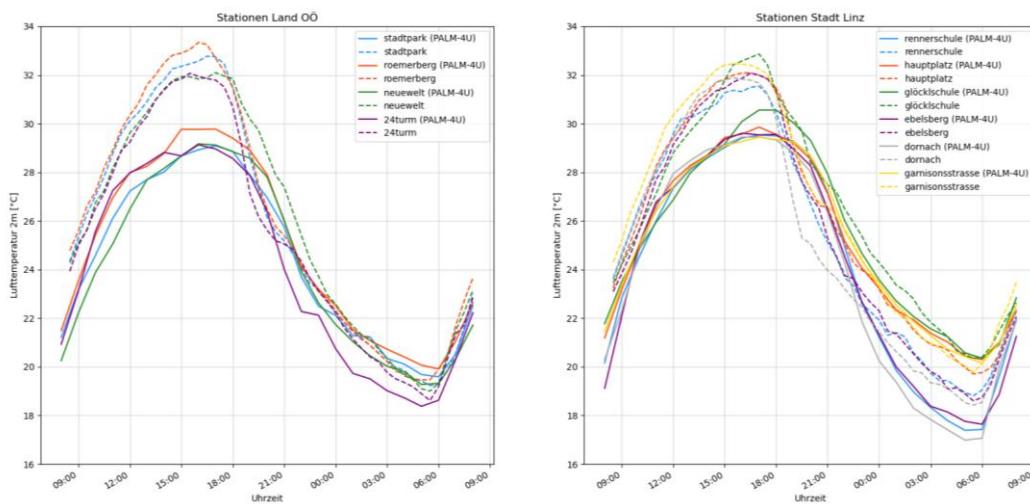
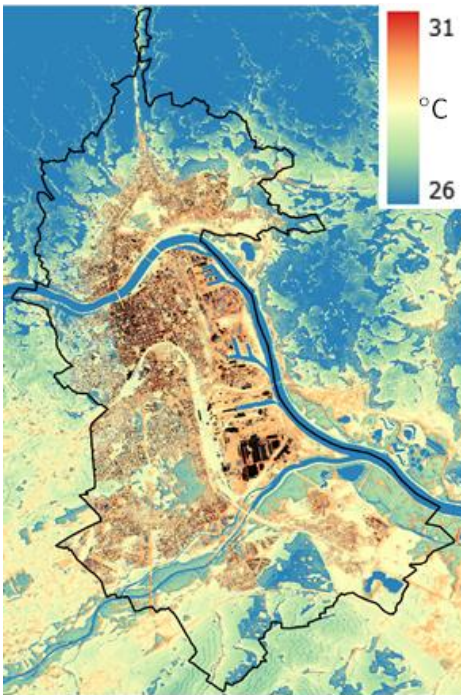


Abbildung 14: Vergleich des Temperaturmedians der autochthonen Sommertage an den Stationen (strichliert) und repräsentativen Modellgitterpunkten (durchgezogene Linie)

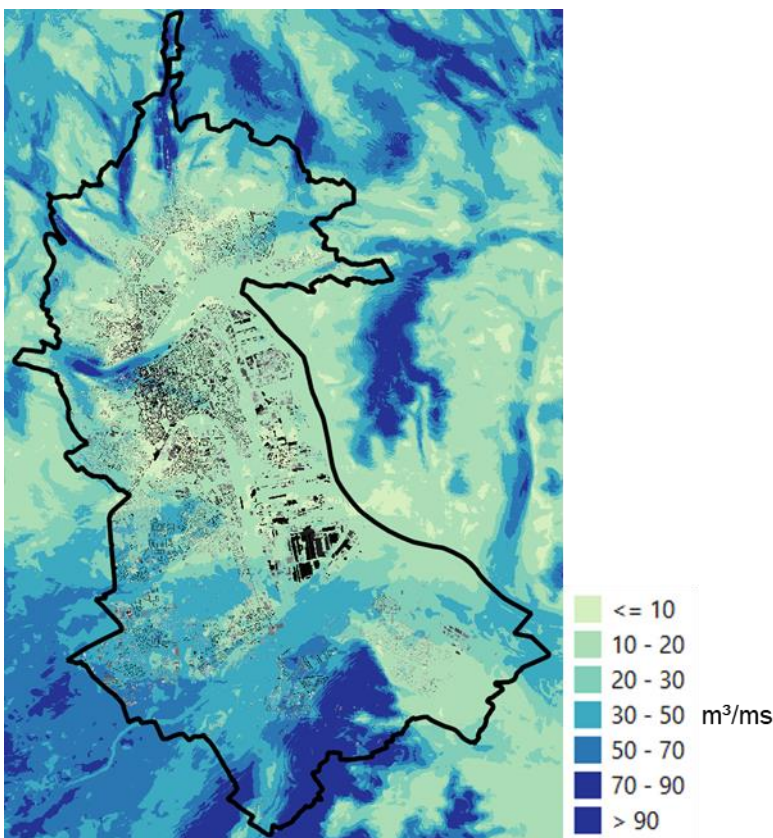
3.2.2 Ergebnisse autochthoner Sommertag



Die hier angeführten Ergebnisse stellen nur einen kleinen Teil der erzeugten Daten oder möglichen Auswertungen dar. Der Output der PALM-4U Simulationen, sowie ein Zusammenfassung in Form eines QGIS Projekts, in dem die Daten ausgewertet wurden, stehen dem Magistrat Linz zur Verfügung.

Die Analyse der maximalen Lufttemperatur auf 2m Höhe in Bereichen ohne Gebäude (Abbildung 15), zeigt deutlich die höheren Temperaturen in den versiegelten Gebieten, sowie z.B. auch Straßen oder Brücken. Darüber hinaus ist, aufgrund der hohen Auflösung von 10 m, z.B. der lokale Abkühlungseffekt grüner Innenhöfe in der Innenstadt sichtbar. Weiters zeigt sich deutlich die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe, verringerter Bebauung und vorhandenen Grünflächen.

Abbildung 15: Tagesmaximum der 2 m Lufttemperatur (Gebäude sind in schwarz dargestellt)



Ein weiterer relevanter Aspekt für den sommerlichen Komfort in der Stadt ist der Kaltlufthaushalt, für welchen eine Vielzahl an Parameter betrachtet werden kann. In PALM-4U wurde als ausgewählter Parameter die Volumenstromdichte bis 50 m Höhe um 04:00 Früh gewählt, da diese darstellt, welches Luftvolumen (m^3) durch ein gedachtes „Tor“ von 1 m Breite und 50 m Höhe pro Sekunde strömt. In den Ergebnissen der PALM-4U Simulation zeigt sich, dass im Norden der Stadt die Kaltluft, die an den nicht bebauten Hängen gebildet wird, über die Gräben (Haselgraben, Gründbergstraße, Dießenleitenweg) in Richtung Stadt strömt. Im Süden sind in Bezug auf Kaltlufthaushalt die Stadteile Ebelsberg, aber auch Neue Heimat, Kleinmünchen und Bindermichel-Keferfeld durch ihre lockere Bebauung und vielen Grünräume begünstigt. Über die Donau wird bei NW Windrichtung, die kühle Luft auch bis ins Zentrum transportiert (Abbildung 16).

Abbildung 16: Volumestromdichte in m^3 / ms zur Darstellung der relevanten Kaltluftflüsse für Linz

Aufgrund der sehr kleinräumigen Struktur und der Dichte der Einwohner:innen, wurden das Franck- und Innenstadtviertel mit einer horizontalen und vertikalen Auflösung von 5 m zusätzlich simuliert. Die Ergebnisse zeigen den Mehrwert der Auflösung anhand des Windfeldes auf. So ist in der 10 m aufgelösten Simulation der Durchgang und damit der Luftaustausch, zwischen Hauptplatz und Landstraße durch Gebäude versperrt, wohingegen in der 5 m aufgelösten Simulation der Durchgang zwischen Hauptplatz und Taubenmarkt durch die Schmidtorstraße repräsentiert ist (Abbildung 17).

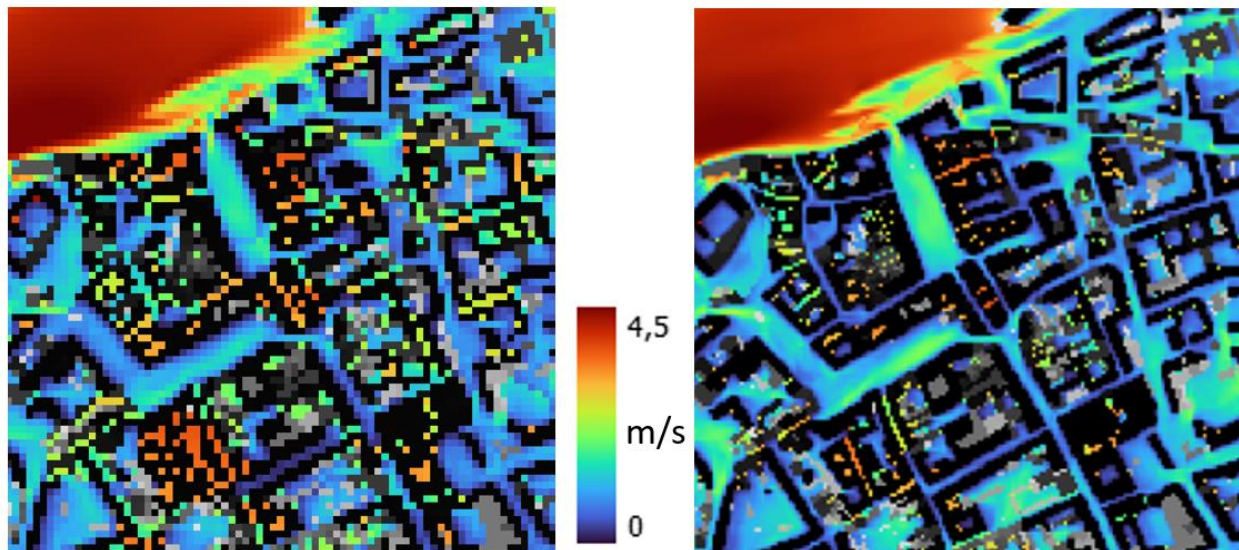


Abbildung 17: Maximale Windgeschwindigkeit (m / s); Ausschnitt rund um den Hauptplatz, um den Effekt der 5 m Simulation (rechts) versus der 10 m Domäne (links) auf das Windfeld darzustellen

3.3 Verschneidung der Standortkriterien mit PALM-4U Simulationsergebnissen und LCZ

Die PALM-4U Ergebnisse wurden anhand der Auswahlkriterien pro LCZ analysiert (2.3), wodurch sich pro LCZ unterschiedliche Schwellwerte für die Kriterien A-D ergeben haben.

Abbildung 18 zeigt die Verteilung der Maximum- und Minimumtemperatur auf Basis der PALM-4U Simulation in den verschiedenen LCZ. Die Nachvollziehbarkeit dieser Ergebnisse (niedrigere Tagesmaxima im Typ „dense trees“, höhere Tagesmaxima im Typ „heavy industry“, uvm.) sind gleichzeitig Nachweis für die richtige Klassifikation der LCZ, als auch der Qualität der PALM-4U Simulation. Würde eine der beiden Vorgehensweisen grobe Fehler aufweisen, wären diese in dieser und vergleichbaren Darstellungen anderer Parameter sichtbar.

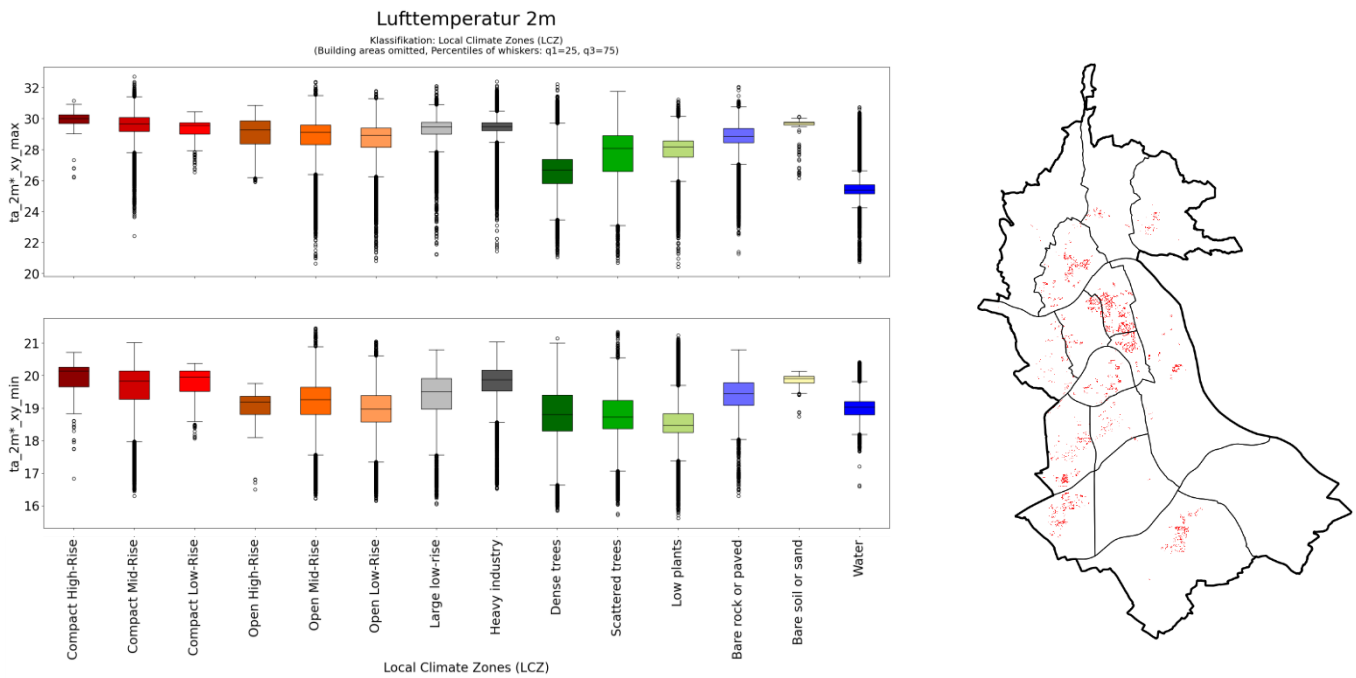


Abbildung 18: Verteilung der Maximum- (oben) und Minimumtemperatur in den verschiedenen LCZ. Die jeweiligen Boxen sind durch das 25. (P25) und 75. (P75) Perzentil abgegrenzt, die Linie innerhalb der Box stellt den Median dar, die an die Box angrenzenden Linien grenzen Ausreißer (Punkte) ab $[P25 - 1,5 * (P75 - P25); P75 + 1,5 * (P75 - P25)]$.

Für das Kriterium hohe Maximum- und Minimumtemperatur in der LCZ open-mid rise ergeben sich einige mögliche Standorte (Abbildung 18). Für diese LCZ beträgt der Schwellwert der Maximumtemperatur (75. Perzentile) 29.6°C und für die Minimumtemperatur (75. Perzentile) 19.6°C. Das bedeutet, dass die rot markierten Bereiche Maximum- und Minimumtemperaturen größer der angeführten Schwellwerte (29.6, 19.6°C) aufweisen.

Dieselben Auswertungen wurden für alle anderen Auswahlkriterien durchgeführt und sind im QGIS Projekt hinterlegt.

3.4 Auswahl der Standorte

Die Karten potenzieller Standorte auf Basis der PALM-4U Simulation, LCZ Zuordnung und der Standortkriterien wurden mit den möglichen Standorten der Stadt Linz kombiniert, um daraus 50 optimale Standorte abzuleiten. Ein Beispiel (Abbildung 19) anhand des Stadtviertels Kaplanhof, der LCZ open mid-rise zeigt die Bereiche im Straßenraum, welche dem Kriterium A (links, gelbe Bereiche) entsprechen, sowie die möglichen Straßenzüge wo Betonmasten (Mitte, weiße Straßenzüge) vorhanden sind und die Verschneidung der beiden Karten (rechts, orangene Straßengebiete).

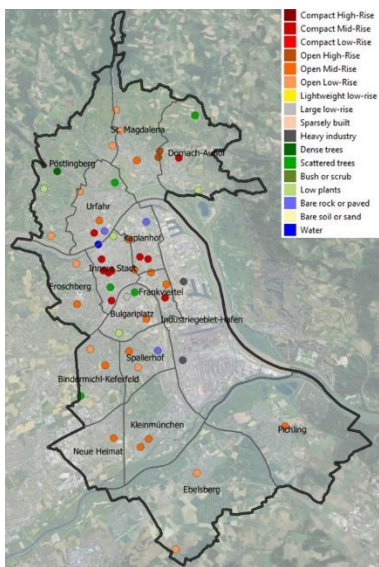
Nach Verschneidung der Karten wurden manuell mögliche Standorte ausgewählt.

Diese wurden entsprechend ihrer LCZ eingefärbt. Die Kriterien jedes Standorts sind im selben Datenlayer anhand ihrer zugewiesenen Attribute und der daraus zusammengesetzten ID zu erkennen (2.5.1).

Die weißen Punkte entsprechen zusätzlichen Standorten, die vorgeschlagen wurden, um eine bessere Abdeckung bzw. interessante Bereiche (z.B. Grünräume) abzubilden.



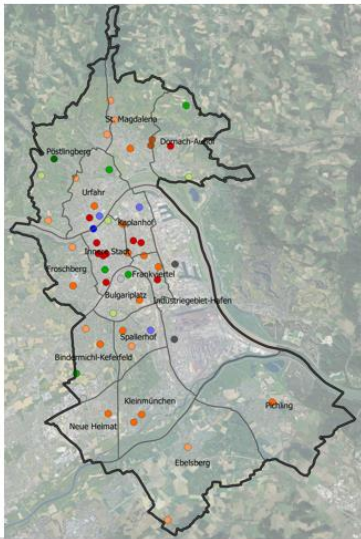
Abbildung 19: Darstellung der Innenstadt mit Bereichen (links), die dem Kriterium A entsprechen, Straßen mit Betonmasten (Mitte) und die Bereiche, wo sowohl Betonmasten, vorhanden, als auch die Kriterien erfüllt sind (rechts)



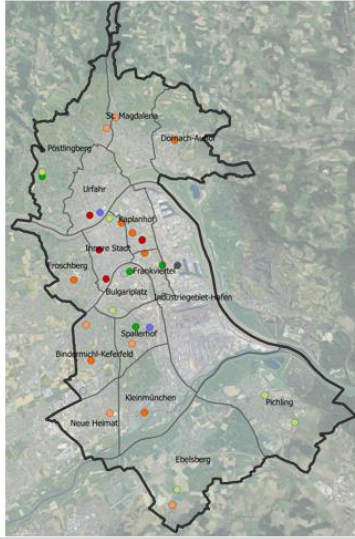
Nach Analyse der tatsächlichen Standorte der Betonmasten (bisher waren nur die Straßen bekannt), sowie möglicher Besitzverhältnisse etc. wurden die initial ausgewählten Standorte vom Magistrat Linz überarbeitet. Mit Stand Juni 2024 wurden zu Abschluss der Studie bereits einige Standorte (nahezu) fixiert („gewählte Standorte“), sowie Alternativstandorte identifiziert. Darüber hinaus bestehen noch ein paar Standorte, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig geklärt sind (Abbildung 21).

Abbildung 20: Vorgeschlagene Standorte für Messgeräte (vor Absprache mit dem Magistrat Linz)

Gewählte Standorte



Alternativstandorte



Standorte unklar

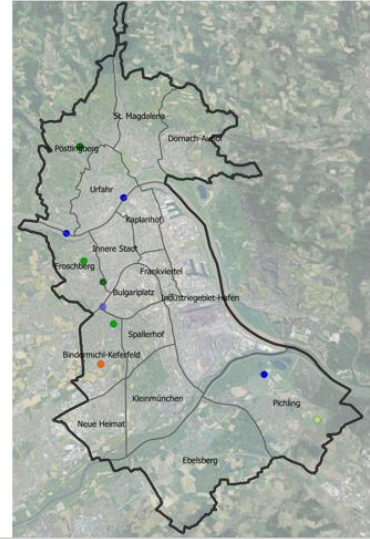


Abbildung 21: Darstellung der gewählten, der alternativen und noch nicht gänzlich geklärten Standorte nach Absprache mit dem Magistrat Linz

Für die gewählten Standorte wurden anhand der PALM-4U Simulationen Zeitreihen der Temperatur erstellt, um diese miteinander vergleichen zu können. Dadurch soll veranschaulicht und gewährleistet werden, dass die initiale Anforderung, die „Vielfältigkeit des Stadtklimas repräsentativ zu messen“ erreicht wird. Der Plot ist als [online](#)⁶ Grafik verfügbar, so dass die unterschiedlichen Stationen ausgewählt und analysiert werden können, und hier exemplarisch dargestellt (Abbildung 22):

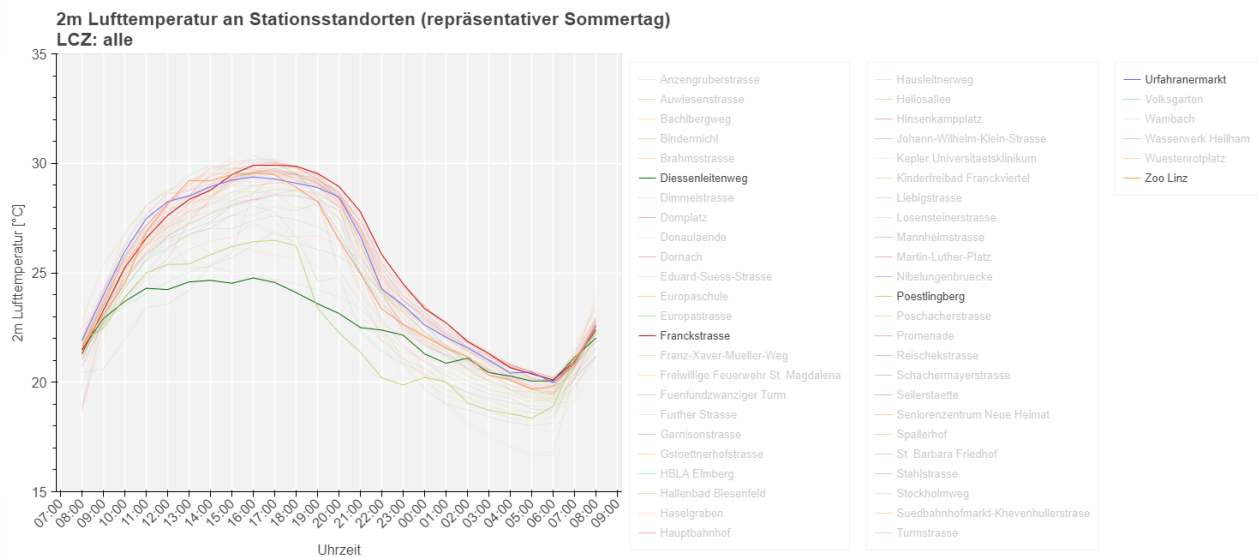


Abbildung 22: Zeitreihe der simulierten (PALM-4U) 2 m Lufttemperatur an den ausgewählten Standorten

6 https://aitonline.sharepoint.com/sites/MessnetzLinz/Shared%20Documents/General/01_Meetings/20240619_Workshop/Grafiken/Tagesverlaufplots/stations_all_lcz_palm_t2m_transparent.html

4 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE SENSORIK

Ein wichtiger zusätzlicher Aspekt der Studie war es die Anforderungen bzw. verfügbare Messtechnik zu analysieren und so den Magistrat Linz beim Anforderungskatalog an die Messgeräte zu unterstützen.

Für den vorliegenden Projektbericht wurden Kontakte zu zwei Anbietern meteorologischer Messtechnik hergestellt und im Zuge von Online-Terminen wichtige Informationen für die Errichtung des geplanten Messnetzes gesammelt. Die Synthese der Gespräche bildet die Grundlage dieser Empfehlungen.

Im Zuge eines Gesprächs wurde diskutiert, dass die voestalpine ein SODAR RASS, Ultraschallanemometer und Temperatur-/Feuchtesensoren betreibt. Ein Erfahrungsaustausch könnte offene Fragen klären und weitere Empfehlungen nach sich ziehen.

4.1 Messgenauigkeit

Die erreichbare Messgenauigkeit der Sensorik ist zum einen eine Frage des Preises und zum anderen eine Frage der verfügbaren Stromversorgung. Höher bepreiste Messgeräte verfügen im Allgemeinen über eine höhere Messgenauigkeit. Diese muss jedoch stets vom Hersteller angegeben werden. Dabei ist insbesondere bei Windmessungen auf die Genauigkeit im Bereich niedriger Windgeschwindigkeit zu achten. Ein Anschluss an das Stromnetz (im Gegensatz zum Akku-/Batteriebetrieb) ermöglicht andere Messtechnik, Belüftung und/oder Heizung der Sensorik, die wiederum zu einer verbesserten Messgenauigkeit führen.

4.2 Parameter „Temperatur und Luftfeuchtigkeit“

Für die Temperatur- und Feuchtemessung empfiehlt es sich in jedem Fall einen Strahlungsschutz zu verwenden. Dieser gehört in der Regel zur Standardausführung und ermöglicht eine passive Belüftung der Sensorik. Um eine exaktere Messung zu erzielen, empfiehlt sich jedoch zusätzlich eine aktive Belüftung. Diese benötigt jedoch aufgrund des erhöhten Energieverbrauchs einen Stromanschluss (Netzbetrieb) und führt in der Anschaffung zu Mehrkosten von rund € 400,- pro Station (zusätzliche Kosten durch den Stromverbrauch sollten auch abgeschätzt werden). Insbesondere an Strahlungstagen bei geringer Windgeschwindigkeit sind (positive) Abweichungen von 2-3 °C zu erwarten. In extremen Fällen können diese auch überschritten werden. In der Nacht hingegen können negative Abweichungen von 0.5-1 °C entstehen. Im Gegensatz zu den beschriebenen potenziellen Problemen an Hitzetagen, können im Winter Schneefälle und folgende tiefe Temperaturen zu fehlerhaften Messungen führen. Durch das Festfrieren des Schnees am Strahlungsschutz kann jegliche Belüftung unterbunden und damit keine sinnvolle Messung mehr durchgeführt werden. Heizsysteme können hier Abhilfe schaffen, die jedoch abermals mit zusätzlichen Kosten und der Notwendigkeit eines Netzbetriebes verbunden wären. Alternativ kann die Lufttemperatur mit der Messung der Windgeschwindigkeit mit Ultraschallanemometern ermöglicht werden, die je nach Modell oftmals auch einen Netzbetrieb erfordern. Für die Luftfeuchtigkeit besteht diese Möglichkeit jedoch nicht. Eine Neukalibrierung der Temperatur- und Feuchtesensoren ist je nach Sensorik in der Regel ca. alle drei Jahre von Nöten.

4.3 Parameter „Windgeschwindigkeit und -richtung“

Für die Messung der Windgeschwindigkeit und -richtung können Schalenkreuz- oder Ultraschallanemometer verwendet werden. Während die Messgenauigkeit der Schalenkreuzanemometer stets durch die Anlaufgeschwindigkeit eingeschränkt ist, diese bei niedrigen Windgeschwindigkeiten größere Ungenauigkeiten aufweisen und regelmäßig gewartet werden müssen, gibt es bei Ultraschallanemometern eine große Bandbreite an Geräten, die meist als wartungsfrei gelten. Während günstigere Sensoren dieser Art (ab ca. € 600,-) ähnliche Schwierigkeiten bei niedrigen Windgeschwindigkeiten aufweisen, haben teurere Geräte (ab ca. € 2.000,-) den Nachteil des höheren Anschaffungspreises. Da die Windmessung an Hitzetagen im urbanen Raum für die Durchlüftung insbesondere bei niedrigen Windgeschwindigkeiten essenziell ist, wird empfohlen in Sensorik zu investieren, die diese Phänomene verlässlich messen kann. Das Risiko, Fehlinterpretationen durch nicht geeignete Geräte zu unterliegen, kann im schlimmsten Fall zu entsprechenden Fehlentscheidungen bei stadtklimatologischen Empfehlungen führen.

Ultraschallanemometer ermöglichen durch die Messung der Schallgeschwindigkeit auch Rückschlüsse auf die Lufttemperatur. Deren Genauigkeit ist unabhängig von Strahlung und Windgeschwindigkeit und liegt in der Regel bei 0.5 oder 1 °C. Bei Ablagerungen von Staub auf den Sensoren können auch (positive) Abweichungen von über 1 °C erreicht werden. Durch die geeignete Auswahl von Ultraschallanemometern und Standorten könnten diese unter Umständen auch als Referenzmessung der Temperatur für nicht belüftete Geräte verwendet werden.

4.4 Parameter „Mittlere Strahlungstemperatur“

Die Messung der Mittleren Strahlungstemperatur erfolgt durch Black Globe Thermometer. Diese können mit anderen Sensoren einer Station kombiniert werden, sind allerdings nicht wartungsfrei und müssen regelmäßig gereinigt werden.

4.5 Multi-Sensing Geräte / Kompaktsensoren

Einige (namhafte) Anbieter von Wetterstationen bieten Sensorkombinationen an, die die Messung mehrerer Parameter ermöglichen. Diese stellen im Rahmen der angegebenen Messgenauigkeit verwendbare Optionen dar. Meist gelten für jeden Parameter die gleichen zuvor beschriebenen Einschränkungen.

4.6 Montage

Die Montage kann je nach Standort mit einem Schraubanker (Wand, Mast) oder einer Klemmvorrichtung (Mast, wenn nicht gebohrt werden darf) erfolgen. Alternativ sind auch mobile Varianten möglich, die temporär aufgestellt werden. Dies ist im Detail mit dem Auftragnehmer zu klären.

4.7 Energieversorgung

Stationen mit geringem Energieverbrauch können mit Batterien bzw. Akkus betrieben werden. Diese müssen in der Regel einmal pro Jahr getauscht werden. Es besteht auch die Möglichkeit einer autarken Energieversorgung durch ein Solarpaneel. Dieses besitzt jedoch den Nachteil der zusätzlichen Wartung und muss die meiste Zeit der Sonne ausgesetzt sein. Darüber hinaus gibt es Erfahrungen des Diebstahls, da Solarpaneele aktuell stark nachgefragt werden und vielseitig Anwendung finden. Für energieintensivere Messtechniken ist ein Netzbetrieb der Station mit entsprechendem Anschluss vor Ort von Nöten. Im Falle der geplanten Klimamessstationen ist dies beispielsweise für aktive Belüftung der Temperatur-/Feuchtesensoren, Heizsysteme oder einige Modelle von Ultraschallanemometern der Fall.

4.8 Datenübertragung

Als Alternative zu klassischen Datenloggern, gelten die Übertragungstechniken LoRaWan und NB-IoT als aktueller Stand der Technik. Soweit bekannt, steht in Linz ein LoRaWan Netz zur Verfügung, das auch für die Übertragung der Daten genutzt werden darf. Insofern die Empfangsqualität ausreichend ist, entstehen keine weiteren Kosten für die Datenübertragung. Bei NB-IoT wird ein Mobilfunkband verwendet (Teil des Mobilfunknetzes). Die Station wird mit einer Global-SIM ausgestattet, die sich in das Mobilfunknetz einwählt und die Daten überträgt. Um den Empfang zu testen ist es ausreichend, wenn eine Textnachricht mit dem Mobiltelefon vom Standort aus versendet werden kann. Durch NB-IoT entstehen somit zusätzliche laufende Kosten für die Übertragungen (rund € 8,- pro Jahr pro Station). Bei beiden Varianten (LoRaWan und NB-IoT) sind keine Datenlogger bei der Station von Nöten. Dieser Vorteil der geringeren Kosten, hat den Nachteil, dass bei Übertragungsproblemen verloren gegangene Daten nicht mehr herstellbar sind.

4.9 Darstellung der Daten, Qualitätskontrolle und Fehlermeldungen

Je nach Anbieter können Daten zunächst auf einem externen Server gespeichert und von dort bezogen und weiterverarbeitet werden. Die Kosten dafür belaufen sich auf rund € 10,- pro Station pro Jahr. Dabei steht meist ein

Portal zur Verfügung, in dem die Daten rudimentär evaluiert und betrachtet werden können. Warnsysteme bei Über-/Unterschreitung eines Schwellwertes, bei starken Änderungen eines Wertes innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes oder bei konstanten Messungen können hinterlegt werden. Für detailliertere Qualitätskontrollen und Darstellung der Daten für die Öffentlichkeit wird geraten, eine zielgerichtetere Variante und Methodik zu beauftragen oder zu entwickeln. Darüber hinaus ist zu empfehlen, Erfordernisse guter Datenqualität bereits durch eine entsprechende Sensorik selbst zu erreichen. Gegebenenfalls können Korrekturen durch Post-Processing der Daten erreicht werden, die jedoch zusätzliche Referenzmessungen, zeitliche und finanzielle Ressourcen, etc. erfordern.

5 ERGEBNISSE DURCHLÜFTUNGSSIMULATION

Wie bereits angeführt, wurde zusätzlich zum autochthonen Sommertag eine Durchlüftungssimulation mit PALM-4U (2.2.3) durchgeführt, deren Ergebnisse nicht in die Standortauswahl miteinfließen. Die Daten (stündlich, 10 m horizontale und vertikale Auflösung) werden dem Magistrat Linz analog der zuvor durchgeführten Simulation als Modelloutput und Auswertung in QGIS zur Verfügung gestellt.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie zeigt den Mehrwert von hochaufgelösten Stadtklimasimulationen auch bei Fragestellungen, die über den thermischen Komfort oder Kaltlufthaushalt hinausgehen. So ermöglicht die Kombination aus einem Klassifizierungsschema (LCZ), hochaufgelösten (5 – 10 m) Temperaturwerten und klare Definition von Kriterien, die durch das Messnetz abgebildet sein müssen, eine (semi-)automatisierte Auswahl von Standorten. Die manuelle Nachbearbeitung an verschiedenen Stellen im Prozess ist essentiell, um lokale Gegebenheiten der möglichen Standorte der Messgeräte entsprechend zu berücksichtigen. Darüber hinaus kann die Analyse nicht strategisch relevante Orte (z.B. Hauptplatz) feststellen.

Durch die Klassifizierung des Linzer Stadtgebiets in Local Climate Zones können nun standardisiert unterschiedliche Gebiete zusammengefasst und verglichen werden. Insgesamt ermöglicht der bereitgestellte Datensatz (24 h, stündlicher Output der Temperatur, Wind- und Strahlungsverhältnisse) eine detaillierte Analyse und Identifikation mikroklimatisch besonders interessanter Orte durch den Magistrat Linz selbst, oder andere Institutionen.

Referenzen

Burmeister, C., Mendzigall, K., Pavlik, D., Krüger, A., Reinbold, A., Schubert-Frisius, M., Teichmann, C., Henning, J., Stadler, S., Winkler, M., Völker, V., Weber, B., Willen, L., Kerschbaumer, A., Niesel, A., Banzhaf, S., and Jäkel, I. (2023). PALM-4U Anwendungskatalog für die kommunale Praxis

Demuzere, M., Kittner, J., Bechtel, B. (2021). LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. *Frontiers in Environmental Science* 9:637455. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455>

Maronga, B., Banzhaf, S., Burmeister, C., Esch, T., Forkel, R., Fröhlich, D., Fuka, V., Gehrke, K. F., Geletič, J., Giersch, S., Gro-nemeier, T., Groß, G., Heldens, W., Hellsten, A., Hoffmann, F., Inagaki, A., Kadasch, E., Kanani-Sühring, F., Ketelsen, K., Khan, B. A., Knigge, C., Knoop, H., Krč, P., Kurppa, M., Maamari, H., Matzarakis, A., Mauder, M., Pallasch, M., Pavlik, D., Pfafferott, J., Resler, J., Rissmann, S., Russo, E., Salim, M., Schrempf, M., Schwenkel, J., Seckmeyer, G., Schubert, S., Sühring, M., von Tils, R., Vollmer, L., Ward, S., Witha, B., Wurps, H., Zeidler, J., and Raasch, S. (2020). Overview of the PALM model system 6.0, *Geosci. Model Dev.*, 13, 1335–1372. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1335-2020>

PALM-4U. PALM-4U components. URL <https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>. retrieved on June, 14th 2024.

Rockel, B., Will, A., & Hense, A. (2008). The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorologische zeitschrift*, 17(4), 347.

Stewart, I. D., and Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93, 12. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH

Giefinggasse 4, 1210 Wien

MARIANNE BÜGELMAYER-BLASCHEK

Senior Scientist

Digital Resilient Cities

Center for Energy

MARTIN SCHNEIDER

Research Engineer

Digital Resilient Cities

Center for Energy

TANJA TÖTZER

Thematic Coordinator

Climate-Resilient Pathways

Center for Energy