

Regionalklimaanalyse

für den Raum

(West-)Oberösterreich

Auftraggeber

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Umweltschutz
Goethestraße 86
4021 Linz

Regionalstelle Salzburg und Oberösterreich und Klima-Dienstleistung
Claudia Riedl, Wolfgang Senoner, Matthias Göbel, Maja Zuvella-Aloise,
Sandro Oswald, Robert Goler

Salzburg, am 20.04.2023
Zahl: 22-000335

Inhalt

Inhalt	3
1. Aufgabenstellung.....	5
2. Grundlagen.....	6
2.1. Gebietsausschnitt und räumliche Auflösung.....	6
2.2. Höhenmodell.....	6
2.3. Landnutzungs- und Gebäudedaten	7
2.3.1. <i>Daten vom Land Oberösterreich</i>	8
2.3.2. <i>Daten von nationalen und europäischen Datenquellen</i>	10
2.3.3. <i>Berechnung weiterer wichtiger Parameter</i>	12
2.3.4. <i>Die aktuelle MUKLIMO_3 Version 2020 - GUAMO</i>	13
2.4. Koordinatensystem	15
2.5. MUKLIMO_3.....	16
2.6. KLAM_21	17
3. Themenkarten	19
3.1. Temperaturen aus MUKLIMO_3.....	19
3.1.1. <i>Die Lufttemperatur um 4, Uhr, 14 Uhr und 22 Uhr MESZ</i>	19
3.1.2. <i>Die gefühlte Temperatur um 4 Uhr, 14 Uhr und 22 Uhr MESZ</i>	26
3.2. Kaltluftabfluss aus KLAM_21	33
4. Klimafunktionskarten	35
4.1. Überwärmung.....	35
4.2. Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete	38
5. Literatur	41

1. Aufgabenstellung

Die Abteilung Umweltschutz des Landes Oberösterreichs beauftragte die ZAMG (heute GeoSphere Austria) eine Regionalklimaanalyse für die Hitzebelastung und die Kaltluftproduktion in einer wolkenlosen Sommernacht für den Raum (West-)Oberösterreich zu erstellen. Die Klimaanalyse basiert auf den Ergebnissen der vorherigen Studien für den Zentralraum Oberösterreich. Die gleichen Methoden wurden auch in dieser Studie verwendet. Die Hitzebelastung wurde mit dem dynamischen Stadtklimamodell MUKLIMO_3 für einen ca. 73 km x 45 km Ausschnitt, der den Großteil der westlichen Region in Oberösterreich mit den Städten Gmunden, Vöcklabruck, Braunau und Ried im Innkreis abdeckt, berechnet. Die räumliche Auflösung beträgt 100 m x 100 m. Das Kaltluftströmungsfeld konnte mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 in einer Auflösung von 50 m x 50 m für das gesamte Bundesland berechnet werden.

Beschrieben und behandelt werden Phänomene und Inhalte, die der räumlichen Auflösung von 100 m x 100 m (bzw. 50 m x 50 m) und dem Gebiet (West-)Oberösterreich entsprechen. Die Aussagen sind daher nicht im Detail vergleichbar mit mikroskaligen Klimaanalysen oder Umweltprojekten, die aufgrund einer deutlich höheren Auflösung (mind. Faktor 10) einen größeren Detailreichtum zeigen können. Die Analysen sind begrenzt auf einzelne Tage mit der typischen Wettersituation während einer Hitzewelle und entsprechen nicht einer langjährigen klimatologischen Auswertung.

Als Basis für die Analyse dienen die Landnutzung, Analysekarten des Kaltluftströmungsfeldes sowie thermische und bioklimatische Bedingungen basierend auf Modellsimulationen.

Die Grundlagendaten für die Landnutzungs klassifizierung wie Laserscandaten für Gebäude- und Vegetationshöhen, Baumkataster und Landnutzungsdaten wurden der GeoSphere Austria vom Auftraggeber zu Verfügung gestellt und mit frei verfügbaren Daten auf nationaler und europäischer Ebene weiter ergänzt.

Mittels des Modells MUKLIMO_3 (3D Mikroskaliges Urbanes KlimaModell des Deutschen Wetterdiensts) wurden Themenkarten wie Temperaturfelder und gefühlte Temperaturen zu verschiedenen Uhrzeiten an einem wolkenlosen, heißen Sommertag und die nächtliche Abkühlung in einer wolkenlosen Tropennacht simuliert.

Mittels des Kaltluftabflussmodells KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes wurden Themenkarten wie Kaltfluthöhe, Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen in einer wolkenlosen und windschwachen Sommernacht erstellt.

Die Themenkarten werden exemplarisch als Bilder in diesem Bericht für den Gesamtausschnitt und die Städte Gmunden, Vöcklabruck und Ried im Innkreis gezeigt. Für die Städte Attnang-Puchheim, Grieskirchen, Ried im Innkreis, Schwanenstadt und Vöcklabruck wurden Klimafunktionskarten erstellt, die die Überwärmung tagsüber und die nächtlichen Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete zeigen.

Die berechneten Daten zu den thermischen und bioklimatischen Bedingungen sowie dem Kaltluftabfluss wurden dem Auftraggeber in einem gängigen GIS-Format zur Verfügung gestellt.

2. Grundlagen

2.1. Gebietsausschnitt und räumliche Auflösung

Für die Regionalklimaanalyse für den Raum West-Oberösterreich wurde ein 72.8 km x 44.5 km großer Gebietsausschnitt mit den Städten Braunau am Inn, Ried im Innkreis, Vöcklabruck und Gmunden gewählt, der in Abbildung 1 zu sehen ist. Die horizontale Auflösung der Analysen beträgt 100 m x 100 m. Details zur Landnutzung werden in Kapitel 2.3 beschrieben. Das Modell KLAM_21 konnte mit einer horizontalen Auflösung von 50 m x 50 m für ganz Oberösterreich betrieben werden, weil es weniger Rechnerleistung benötigt als MUKLIMO_3.

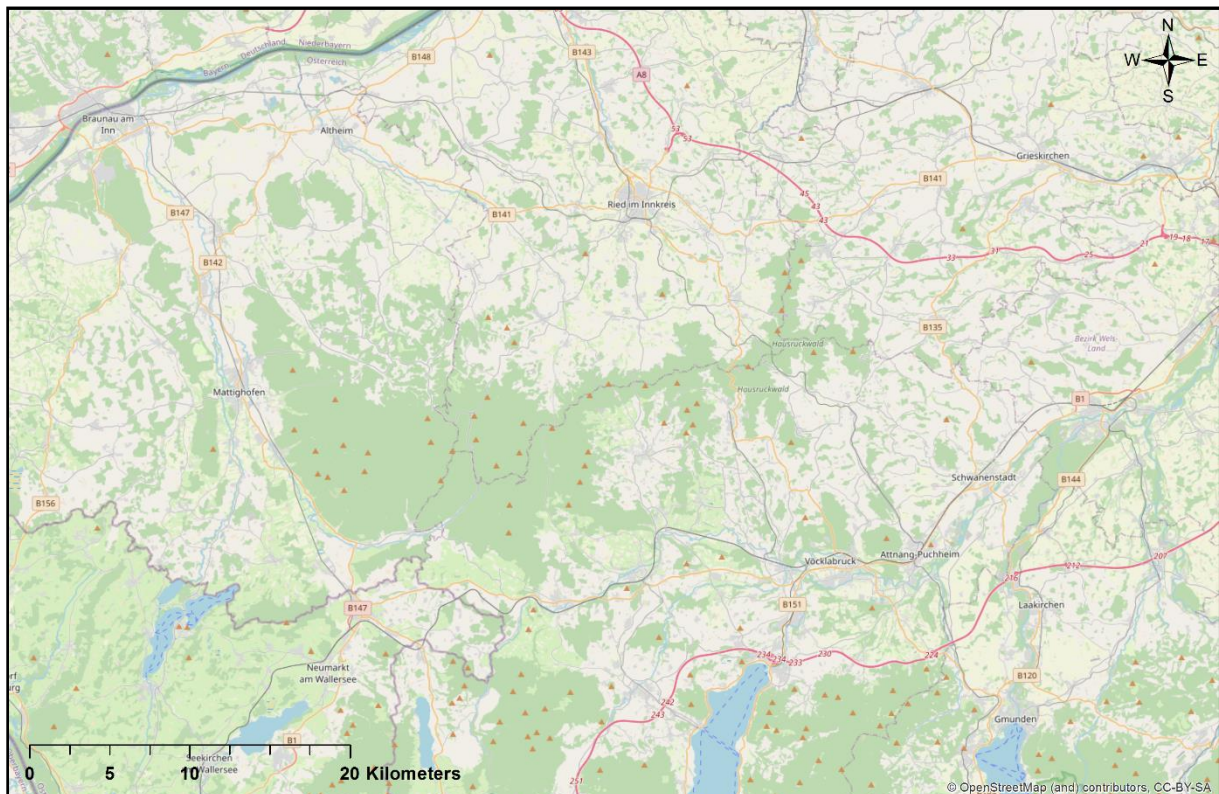


Abbildung 1: Der Raum West-Oberösterreich mit den Städten Braunau am Inn, Ried im Innkreis, Vöcklabruck und Gmunden.

2.2. Höhenmodell

Abbildung 2 zeigt die Geländehöhe für den westlichen oberösterreichischen Raum. Die Informationen aus dem Höhenmodell sind für KLAM_21 und MUKLIMO_3 wesentliche Eingangsparameter. Das Höhenmodell liegt in einer Auflösung von 25 Metern vor.

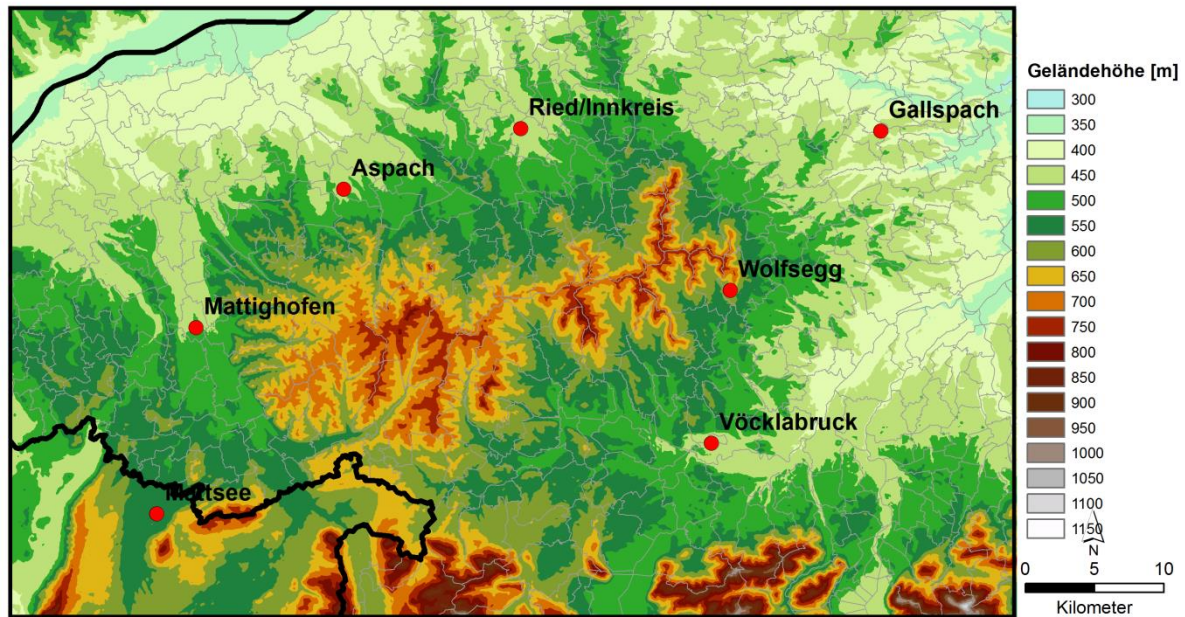


Abbildung 2: Karte der Muklimo_3 Modelldomäne mit der Geländehöhe über dem Meeresspiegel (in m) und den Positionen der sieben ZAMG Messstationen (Aspach, Ried im Innkreis, Gallspach, Wolfsegg, Mattighofen, Vöcklabruck und Mattsee).

2.3. Landnutzungs- und Gebäudedaten

Landnutzung (Wohnung oder Gewerbe, Transport oder Landwirtschaft) und Landbedeckung (Gebäude, Bäume, niedrige Vegetation) spielen bei der Entwicklung des lokalen Klimas eine bedeutende Rolle. Sie beeinflussen durch die Absorption von Strahlung, die Reduktion der Windgeschwindigkeit, die Verdunstungsrate und den Feuchtezustand am Boden wesentlich die Energiebilanz am Boden. Diese Prozesse werden im Stadtklimamodell MUKLIMO_3 berücksichtigt und können auf Basis der vorhandenen Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten simuliert werden. Auch für KLAM_21 ist die Landnutzung wesentlich. Abbildung 3 zeigt die im KLAM_21 verwendete Landnutzung mit insgesamt 8 Klassen.

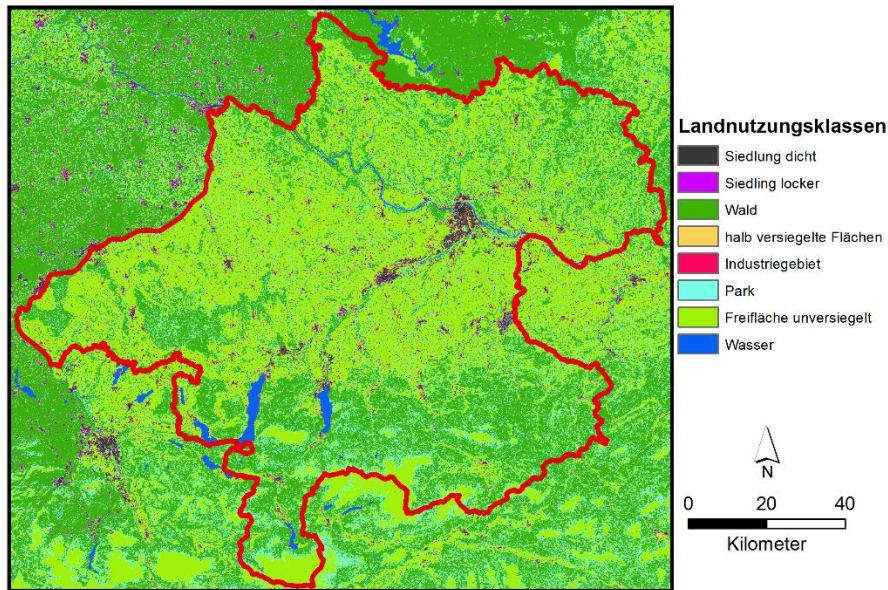


Abbildung 3: Landnutzungsklassen im KLAM_21 für ganz Oberösterreich (Die Grenzen des Bundeslandes sind rot markiert.)

2.3.1. Daten vom Land Oberösterreich

Vom Land Oberösterreich wurden zu Projektbeginn ergänzende Datensätze übermittelt. Diese umfassen Gebäudepolygone (Abbildung 4), die über die Grundfläche und den Umfang einzelner Gebäude innerhalb des Untersuchungsgebiets informieren. Die zugehörige Gebäudehöhe wurde über den zugesandten Raster der Höhen (5 m Auflösung) berechnet. Dabei wurde der Mittelwert pro Gebäudepolygon ermittelt. Zur Veranschaulichung der Gebäudehöhen sind für die Stadt Ried im Innkreis die Gebäudepolygone und deren Höhen in Abbildung 5 farblich dargestellt.

Des Weiteren wurden Rasterdaten von der Vegetationshöhe und Oberflächendaten in 5 m Auflösung übermittelt. Mit der Vegetationshöhe konnte man die mittleren Werte pro CORINE Klasse (siehe 2.3.2) berechnen. Das zusätzlich übermittelte digitale Oberflächenmodell (DOM) wurde daher nicht benötigt.

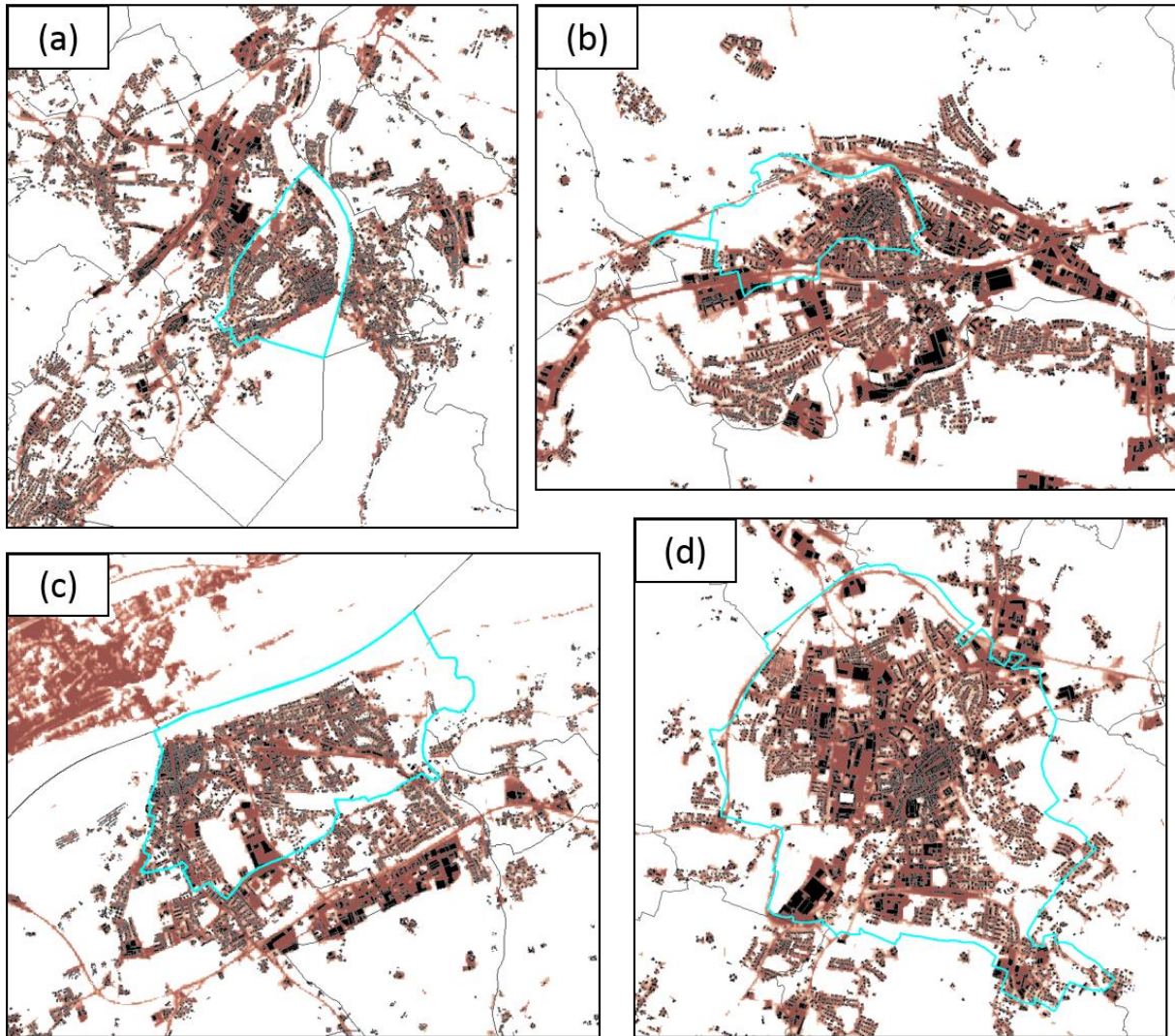


Abbildung 4: Gebäudepolygone (schwarz) für die Städte (a) Gmunden, (b) Vöcklabruck, (c) Braunau am Inn und (d) Ried im Innkreis. Die Grenzen der Stadtbezirke sind in Türkis eingezeichnet. Im Hintergrund wird der Versiegelungsgrad angezeigt (rot-transparent).

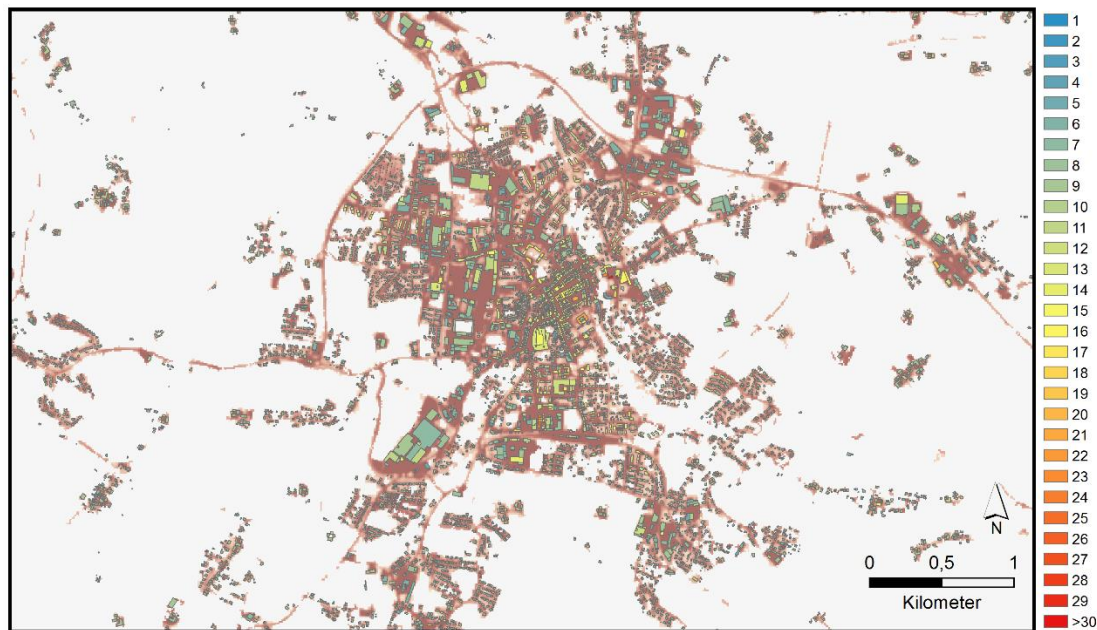


Abbildung 5: Ausschnitt von Ried im Innkreis, wobei die Gebäudepolygone mit der jeweiligen Höhe [m] dargestellt sind. Im Hintergrund ist der Versiegelungsgrad dargestellt (rot-transparent).

2.3.2. Daten von nationalen und europäischen Datenquellen

Da der verwendete Simulationsausschnitt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 3) auch Teile von Salzburg und Deutschland beinhaltet, wurden weitere nationale und europäische Datenquellen für die vorliegende Studie herangezogen.

Das von der Europäischen Umweltagentur initiierte Copernicus Land Monitoring Service-Portal bietet detaillierte Informationen zur Landbedeckung und zur Landnutzung für fast ganz Europa in Form der CORINE Landbedeckung an (Europäische Union, 2018). Dieser Datensatz wurde unter Verwendung von Satellitenbildern im Jahr 2018 erstellt und ist seitdem frei verfügbar (siehe Abbildung 6).

Mit der CORINE Landnutzungsclassifizierung können gewisse Bereiche einer Stadt in diverse Klassen eingeteilt und mit dem Flächenzonenplan verschnitten werden. Das bedeutet, dass Gebäude, Vegetation und Straßen prozentuell pro Klasse berechnet werden und somit die städtischen Eigenschaften beschreiben.

Um diese Eigenschaften zu definieren, wurde auf die weiteren Daten vom Copernicus Portal zurückgegriffen. Dabei kamen der Versiegelungsgrad (10 m) und die Baumdichte (10 m) zum Einsatz (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). Beide Datensätze wurden 2018 generiert und validiert. Somit handelt es sich um einen aktuelleren Input als bei der letzten Oberösterreich-Studie, wo das Land Information System Austria von 2016 verwendet wurde.

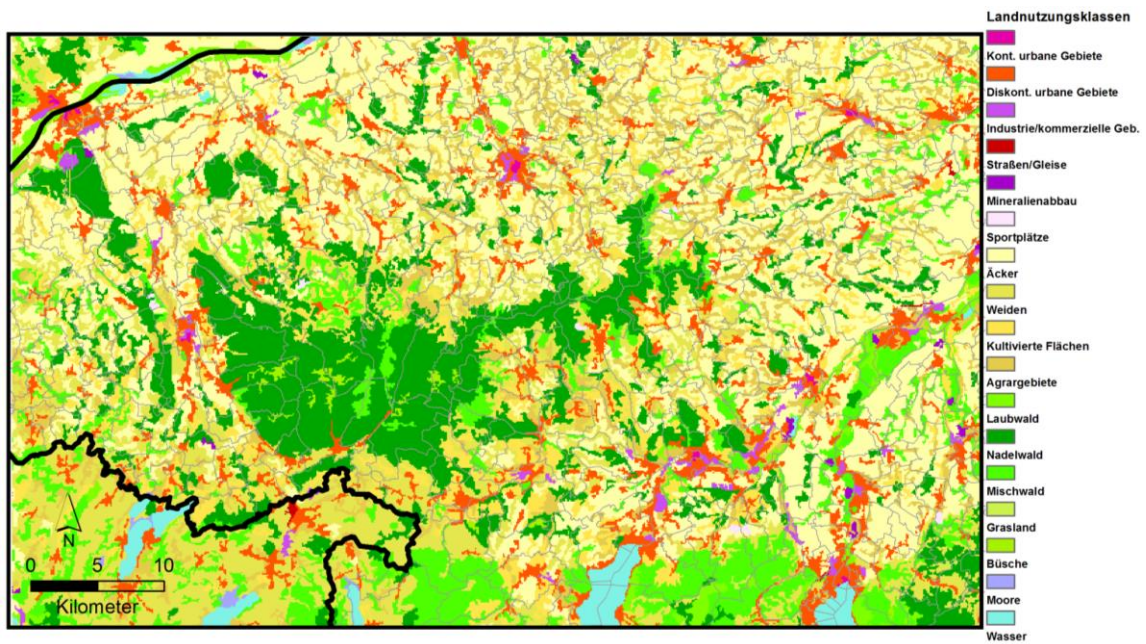


Abbildung 6: Darstellung von CORINE 2018 mit insgesamt 17 Landnutzungsclassen.

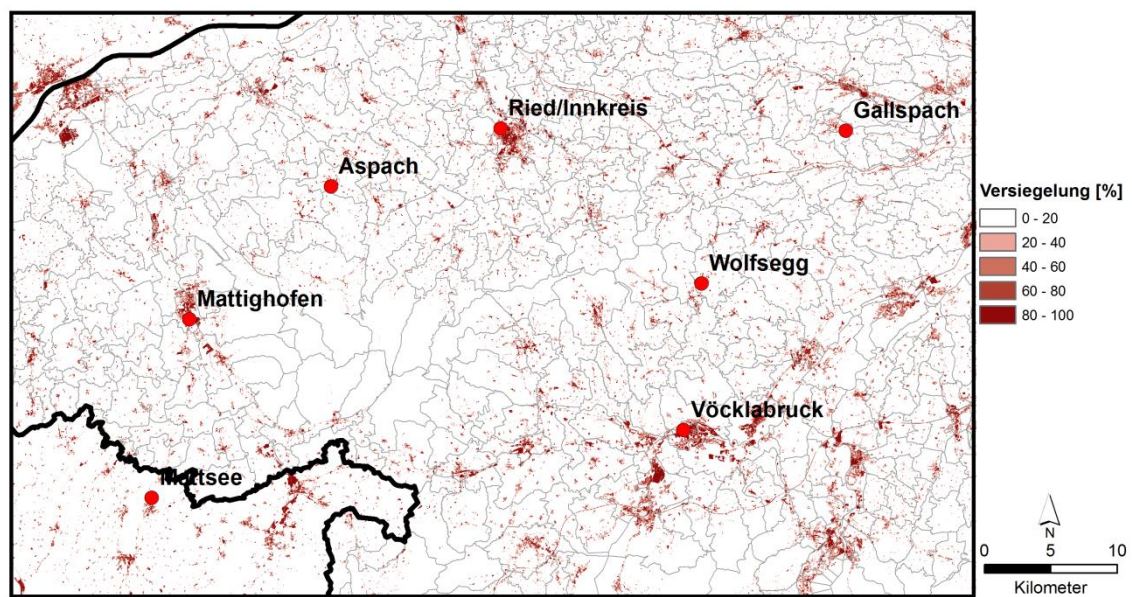


Abbildung 7: Versiegelungsgrad von 2018 (10 m) für den Modellausschnitt vom Copernicus Portal.

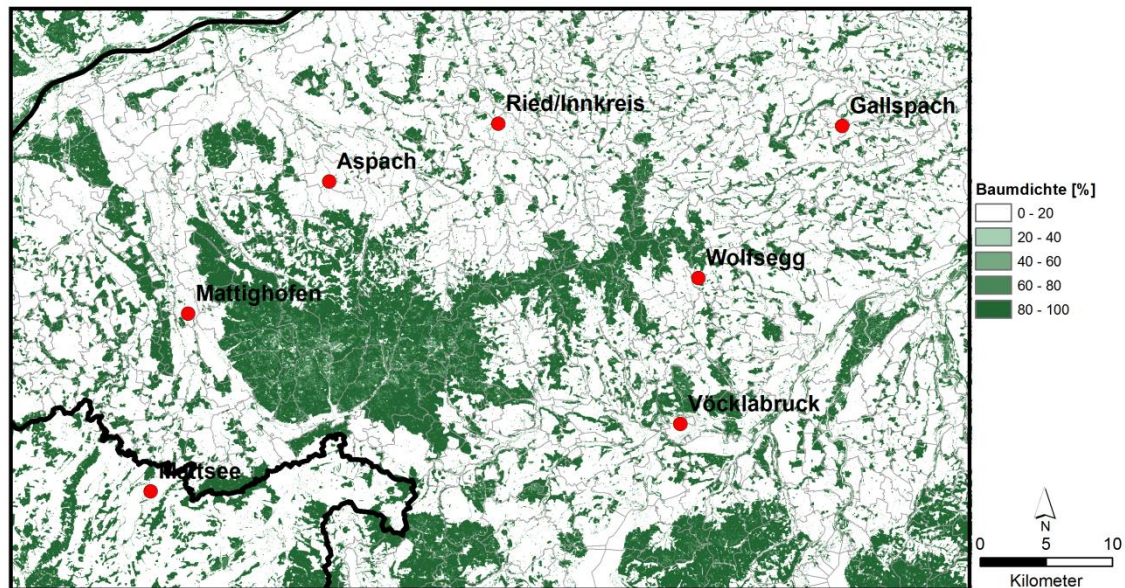


Abbildung 8: Baumdichte von 2018 (10 m) für den Modellausschnitt vom Copernicus Portal.

2.3.3. Berechnung weiterer wichtiger Parameter

Die Gebäudegeometrie, wie Gebäudehöhe und Gebäudedichte, spielt eine wichtige Rolle in der Energiebilanz in bebauten Gebieten, zum Beispiel bei Beschattungseffekten und nächtlicher Abkühlung. Daher gibt es gewisse Parameter im MUKLIMO_3, die die Gebäudegeometrie beschreiben und damit die Verhältnisse zwischen Gebäuden und Straßenraum berücksichtigen. Einer davon ist der sogenannte Wall Area Index (WAI), der das Verhältnis zwischen der Fassade und der Grundfläche eines Gebäudes beschreibt. Je höher ein Gebäude ist, desto höher ist der WAI. Schmale Hochhäuser haben einen hohen WAI (>3). Gewerbehallen, die 6 bis 8 Meter hoch sind, haben einen niedrigen bis mittleren WAI (1-3). Der WAI spielt in mehreren physikalischen und mikroklimatischen Prozessen eine große Rolle. So werden aus WAI und Gebäudedichte Beschattungseffekte tagsüber, Reibungseffekte der Windströmung an Wänden und die nächtliche Abkühlung berechnet. Zum Beispiel wird nachts bei dichter Bebauung und einem hohen WAI ein hoher Anteil an langwelliger Strahlung (Wärmestrahlung) von den Gebäuden abgegeben und es kommt zu einer Mehrfachreflexion zwischen den Gebäuden. Dadurch wird die nächtliche Gesamtabstrahlung der Stadt in Richtung Horizont oder Himmel verringert, was zu höheren Lufttemperaturen und somit zu mehr Tropennächten führt.

Abbildung 9 zeigt den pro Gitterzelle gemittelten WAI für einen Ausschnitt vom Rieder Stadtkern. Schmale, hohe Gebäude wie zum Beispiel in der Schillerstraße haben einen hohen WAI (2,5 – 4,5) und größere Bauten wie die Weberzeile einen niedrigen WAI (0,5 – 1,5).

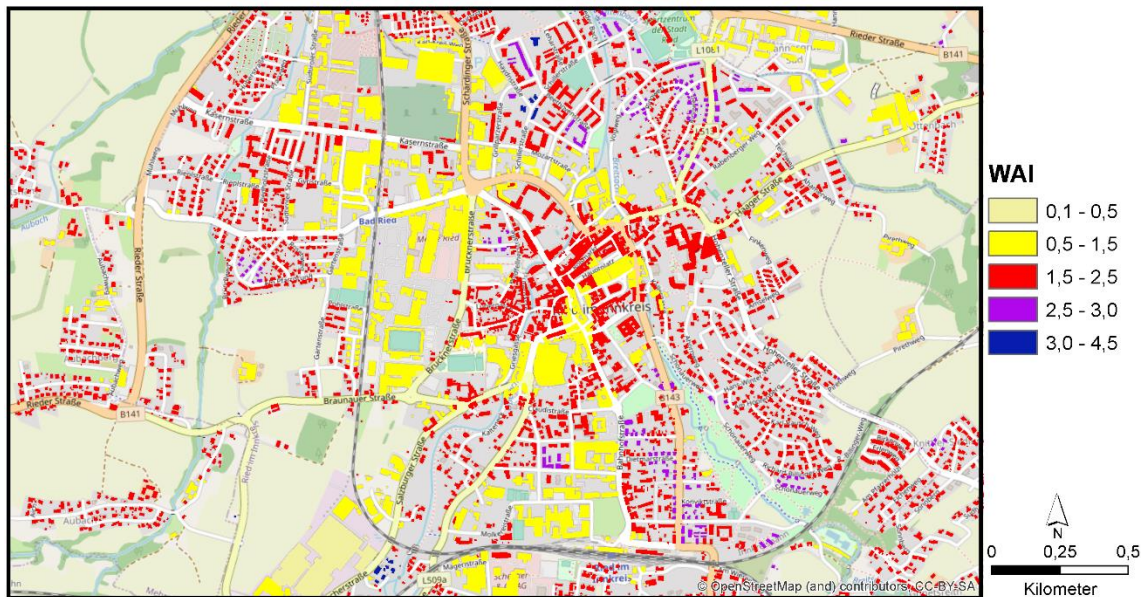


Abbildung 9: Wall Area Index (WAI) für die Rieder Innenstadt. Während große (umfangbezogen) Gebäude/Hallen einen eher niedrigeren WAI aufweisen, haben kleine aber hohe Gebäude eher einen hohen WAI. Im Hintergrund ist die Open Street Map dargestellt.

2.3.4. Die aktuelle MUKLIMO_3 Version 2020 - GUAMO

Das Projekt „Nutzung des GMES Urban Atlas für die Stadtklimamodellierung“ (GUAMO), initiiert vom deutschen Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gemeinsam mit dem Copernicus Land Monitoring Service, führte zur Generierung genauer Stadtstrukturen und damit zur besseren Bestimmung der Klimaindizes.

Dabei werden jeder Zelle spezifische Eigenschaften zugewiesen, statt eine Klassifizierung in die zuvor beschriebenen Landnutzungsklassen (Abschnitt 2.3.3) vorzunehmen. Konkret werden an jedem Gitterpunkt die mittlere Gebäudehöhe (Abbildung 10), der WAI und der Baum-, Gebäude und Versiegelungsanteil (Gebäude plus Straßen/Gehsteige) berechnet. Dafür wurden die zur Verfügung gestellten Gebäudepolygone (Abbildung 4), Versiegelungsgrad (Abbildung 7), Baumdichte (Abbildung 8) und die CORINE Landnutzung (Abbildung 6) verwendet. Letzteres wird dennoch weiterhin benötigt, da die Anteile der niedrigen Vegetation (z.B. Wiesen) und des Schotters weiterhin als Mittel für die jeweilige Klasse berechnet werden.

Dies sind nun die finalisierten Eingangsdaten welche für die Simulation mit MUKLIMO_3 (Kapitel 2.5 und 3.1) verwendet wurden.

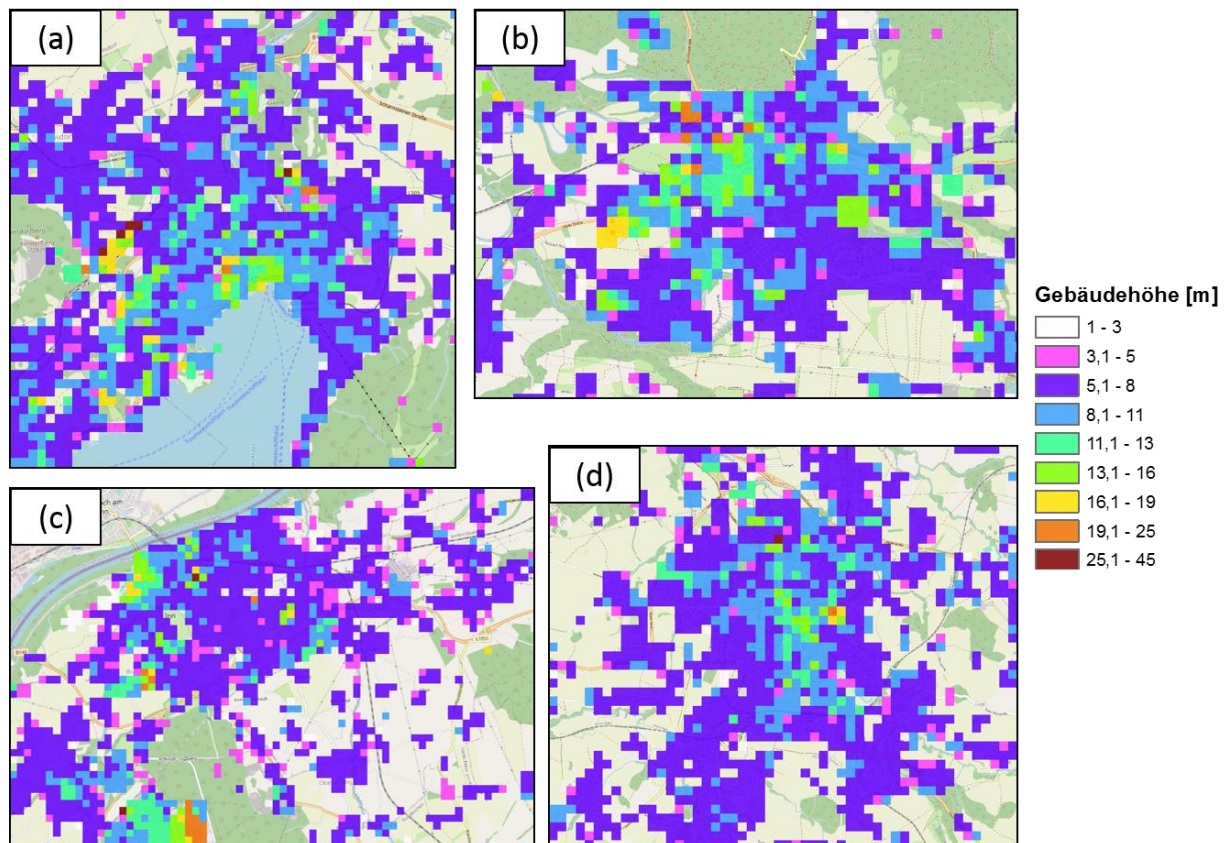


Abbildung 10: Berechnete Gebäudehöhen [m] im 100 m mal 100 m Raster für die Städte (a) Gmunden, (b) Vöcklabruck, (c) Braunau am Inn und (d) Ried im Innkreis. Diese Werte wurden in der aktuellen MUKLIMO_3 Version 2020 für die vorliegende Studie als ASCII Daten verwendet. Im Hintergrund ist die Open Street Map dargestellt.

Wie bereits erwähnt sind in dieser Studie Bereiche außerhalb von Österreich bzw. von Oberösterreich vorhanden und müssen dementsprechend landnutzungsspezifisch charakterisiert werden. Im Zuge von GUAMO werden nicht nur die Werte pro Gitterzelle berechnet, sondern auch die mittleren Werte pro CORINE LU Klasse. Diese Mittelwerte dienen dann als Input für Bereiche wo keine Rasterdaten vorhanden sind. D.h. CORINE Klassen werden auch auf 100 m interpoliert und der für die Simulation gebrauchte Wert wird von der folgenden Tabelle 1 entnommen.

Tabelle 1: Gemittelte Werte pro CORINE Klasse für den Anteil der Gebäude (*vg*), den Wandflächenindex (*wai*), die Gebäudehöhe (*h*), den Versiegelungsgrad (*vs*), den Anteil der Bäume (*sigbm*) und der Wiesen (*sigma*). Anm.: Die Summe von *vg*, *vs* und *sigma* muss nicht Eins ergeben, da der Rest als durchlässiger, unbepflanzter Boden (z.B. Sand) simuliert wird.

Typ	<i>vg</i>	<i>wai</i>	<i>h</i>	<i>vs</i>	<i>sigbm</i>	<i>sigma</i>	Bezeichnung
111	0.29	1.77	10.06	0.42	0.00	0.21	Kont. Urbane Gebiete
112	0.11	1.84	7.07	0.15	0.00	0.56	Diskont. Urbane Gebiete
121	0.19	1.25	8.63	0.42	0.00	0.29	Industrie
122	0.03	2.35	12.89	0.48	0.00	0.37	Straße/Gleise
131	0.02	2.20	7.71	0.05	0.00	0.74	Mineralienabbau
142	0.00	0.00	0.00	0.02	0.14	0.69	Sportplatz
211	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.81	Äcker
231	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.87	Weiden
242	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.85	Kultivierte Flächen
243	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.87	Agrargebiete
311	0.00	0.00	0.00	0.01	0.65	0.50	Laubwald
312	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.50	Nadelwald
313	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.50	Mischwald
321	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.70	Grasland

2.4. Koordinatensystem

Da die Landnutzungsdaten in Koordinatensystem ETRS89-extended / LAEA Europe (EPSG:3035) vorliegen, wurden die Eingangsdaten für MUKLIMO_3 Simulationen in dieser Projektion vorbereitet. Dem Auftraggeber werden die Themenkarten in gängigen GIS Formaten im Koordinatensystem vom Land Oberösterreich EPSG:31255 (Abbildung 11) übermittelt.

Projected Coordinate System:	MGI_Austria_GK_Central
Projection:	Transverse_Mercator
False_Easting:	0,00000000
False_Northing:	-5000000,00000000
Central_Meridian:	13,33333333
Scale_Factor:	1,00000000
Latitude_Of_Origin:	0,00000000
Linear Unit:	Meter

Abbildung 11: Koordinatensystem Land Oberösterreich.

2.5. MUKLIMO_3

Das dynamische Stadtklimamodell MUKLIMO_3 wurde beim Deutschen Wetterdienst entwickelt und wird seit Mitte der 80er Jahre kontinuierlich für verschiedene stadtklimatologische Fragestellungen benutzt. Das Modell beinhaltet u.a. Parametrisierungen für die Turbulenz (Sievers und Zdunkowski, 1986), die Vegetation (Siebert et al., 1992) und die kurzweilige Strahlung (Sievers und Früh, 2012). In dieser Studie wurde die aktuellste thermodynamische Modellversion verwendet (Sievers, 2016), die im Rahmen des Projekts „Nutzung des GMES Urban Atlas für die Stadtklimamodellierung“ (GUAMO) des DWD weiterentwickelt wurde. Basierend auf einem detaillierten Höhenmodell (Abbildung 2), einem Bebauungs- und Landnutzungsdatensatz (Kapitel 2.3) berechnet das MUKLIMO_3 Modell die Energiebilanz in der (urbanen) Grenzschicht und meteorologische Größen wie zum Beispiel die Lufttemperatur, die relative Feuchte und die Windgeschwindigkeit und Richtung mit einer horizontalen Auflösung von 100 m x 100 m. Das Stadtklimamodell (Abbildung 12) wurde mit variierenden vertikalen Profilen, extrahiert aus dem AROME Wettervorhersagemodell für ausgewählte Tage, implementiert. Zusätzlich wurden die stündlichen Winddaten der Messstation Gallspach als Modellantrieb genommen. Simuliert wurde der atmosphärische Zustand im Untersuchungsgebiet in stündlicher Auflösung ab 9 Uhr MESZ (Mittleuropäischer Sommerzeit) für die darauffolgenden 24 Stunden. In dieser Studie wurden die Tage 30. Juni / 1. Juli 2019 und 26. Juli / 27. Juli 2019 simuliert, die auch für die vorherige Studie für Zentralraum Oberösterreich gewählt wurden. Diese Tage waren typische Hitzetage mit einem fast vollständig wolkenlosen Himmel. Die modellierten Werte wurden mit Hilfe der Messungen an den GeoSphere Austria Messstationen Aspach, Ried im Innkreis, Gallspach, Wolfsegg, Mattsee, Vöcklabruck und Mattighofen überprüft. Nach der Analyse wurde für die Vorbereitung der Themenkarten die Simulation vom 26. Juli / 27. Juli 2019 ausgewählt.

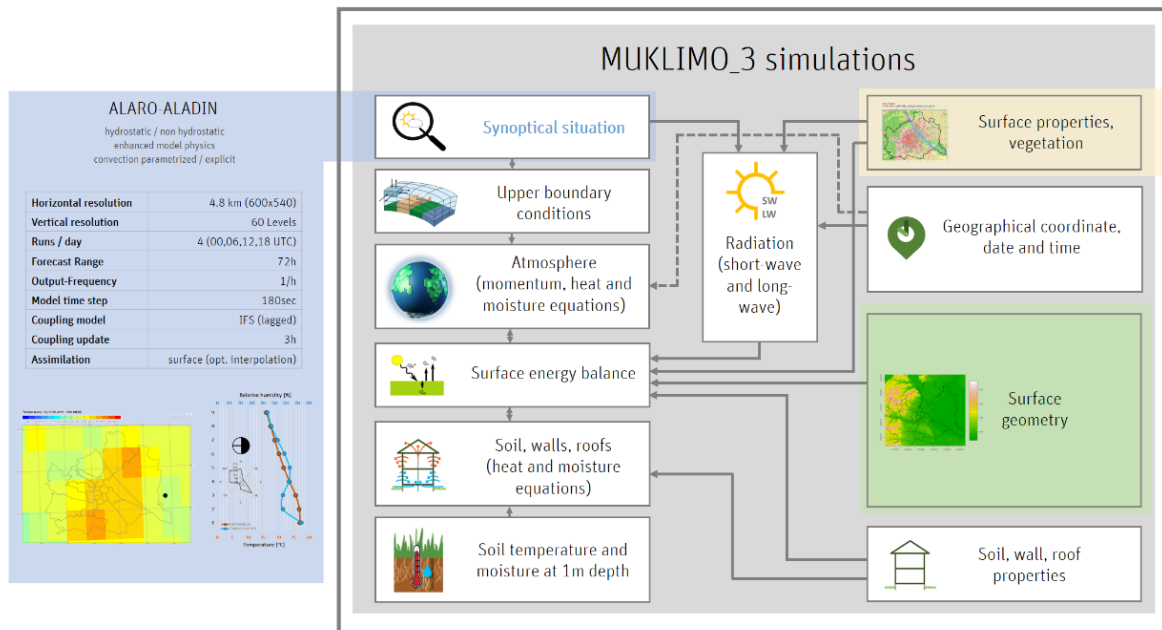


Abbildung 12: Schematische Darstellung des mikroskaligen Klimamodells MUKLIMO_3. Der eingerahmte Bereich beinhaltet die grundlegenden Daten und Berechnungsmethoden des Modells. Der linke Bereich zeigt die Eingangsdaten aus dem Wettervorhersagemodell ALARO-ALADIN / AROME, die für die Simulation der realen meteorologischen Situation benutzt werden.

2.6. KLAM_21

KLAM_21 (Sievers, 2005) ist ein vom Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickeltes zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung.

Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem beliebig auswählbaren, rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Das für die Klimaanalyse Oberösterreichs verwendete Untersuchungsgebiet wird zum Beispiel gut über die Landnutzung in Abbildung 3 beschrieben. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt, wobei der Gitterpunktabstand für diese Studie 50 m beträgt. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung und eine Geländehöhe zugeordnet.

Jeder Landnutzungsclassen wiederum entsprechen eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine Rauigkeit als Maß für den aerodynamischen Widerstand und gegebenenfalls eine Porosität als Maß für die Durchlässigkeit von bebauten Flächen. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrößen bestimmt das Entstehen, Fließen und die Ansammlung der Kaltluft.

Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine annähernd adiabatisch geschichtete Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der ganzen Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, das heißt ein wolkenloser Himmel, angenommen. Bei der Simulation für diese Studie wird eine westliche Grundströmung mit 1 m/s Geschwindigkeit in 10

Metern Höhe angenommen. Der Simulationszeitraum von acht Stunden entspricht der mittleren Dauer einer Sommernacht.

Die physikalische Basis des Modells bilden eine vereinfachte Bewegungsgleichung und eine Energiebilanzgleichung, mit der der Energieverlust und damit der Kälteinhalt der Kaltluftschicht bestimmt werden. Aus dem Kälteinhalt einer jeden Säule wird dann die Kaltlufthöhe errechnet.

Im ersten vorbereitenden Schritt zur Berechnung des Kaltluftabflusses mussten die Eingangsdatensätze (Landnutzung und Höhenmodell) auf dieselbe räumliche Auflösung von 50 m x 50 m und in die gleiche Projektion gebracht werden. Bei der Neuskalierung der Daten konnte kein Qualitätsverlust festgestellt werden.

Für die weitere Bearbeitung ist es wichtig mit ganzzahligen, positiven Werten zu arbeiten, da KLAM_21 keine Dezimalzahlen einlesen kann.

Die maximale Anzahl an Rasterzellen darf 3000 x 3000 nicht überschreiten. Bei einem größeren Untersuchungsgebiet, wie in diesem Fall das ganze Land Oberösterreich, muss dieses in mehrere Teile (in dieser Studie 4 Stück) geteilt werden. Dabei ist darauf zu achten den Überlappungsbereich der Teile groß genug zu wählen, um beim Endergebnis für das gesamte Untersuchungsgebiet keine Fehler an den Grenzbereichen der Teile durch Randeffekte zu erhalten.

Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten. In dieser Studie wurden die Zeitpunkte 15 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 2 Stunden, 3 Stunden, 4 Stunden, 5 Stunden, 6 Stunden, 7 Stunden und 8 Stunden nach Sonnenuntergang gewählt.

3. Themenkarten

3.1. Temperaturen aus MUKLIMO_3

3.1.1. Die Lufttemperatur um 4 Uhr, 14 Uhr und 22 Uhr MESZ

Mit MUKLIMO_3 wurden für einen typischen heißen Sommertag und die dazugehörige Tropennacht (für die meteorologischen Eingangsparameter wurden der 26. Juli und der 27. Juli 2019 verwendet) stündliche Lufttemperaturen für den Raum West-Oberösterreich berechnet. In diesem Bericht sind in Anlehnung an die Stadtklimaanalyse der Landeshauptstadt München (GEO-NET Umweltconsulting und Gross 2014) die Temperaturverteilungen für 4 Uhr, 14 Uhr und 22 Uhr MESZ dargestellt.

4 Uhr MESZ:

Abbildung 13 zeigt die Lufttemperatur im Raum West-Oberösterreich um 4 Uhr MESZ. Aufgrund der Inversion ist es in einer wolkenlosen und windschwachen Sommernacht auf den Anhöhen – besonders gut im Innviertel und Hausruckviertel südlich von Ried im Innkreis erkennbar – wärmer als in den Niederungen. Aufgrund der relativ kleinen Siedlungsgebiete und geringeren Verbauungsdichten (siehe Beispiele für Gmunden in Abbildung 14, Vöcklabruck in Abbildung 15 und Ried im Innkreis in Abbildung 16) sind die städtischen Wärmeinseln weniger stark ausgeprägt als im oberösterreichischen Zentralraum.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

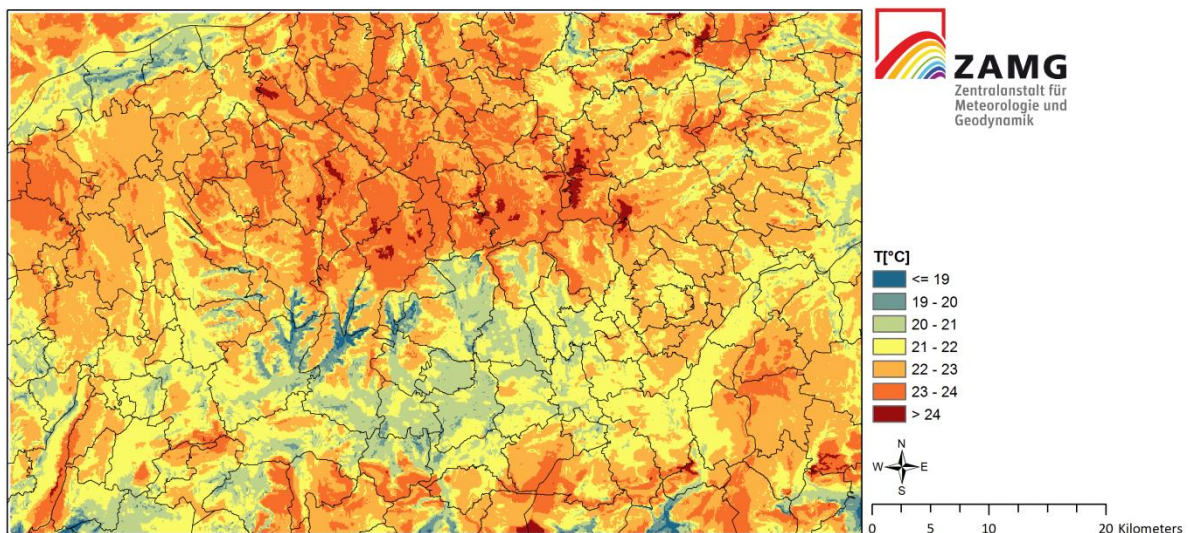


Abbildung 13: Lufttemperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh im Raum West-Oberösterreich in einer typischen Tropennacht. Im Hintergrund sind Gemeindegrenzen zur Orientierung dargestellt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

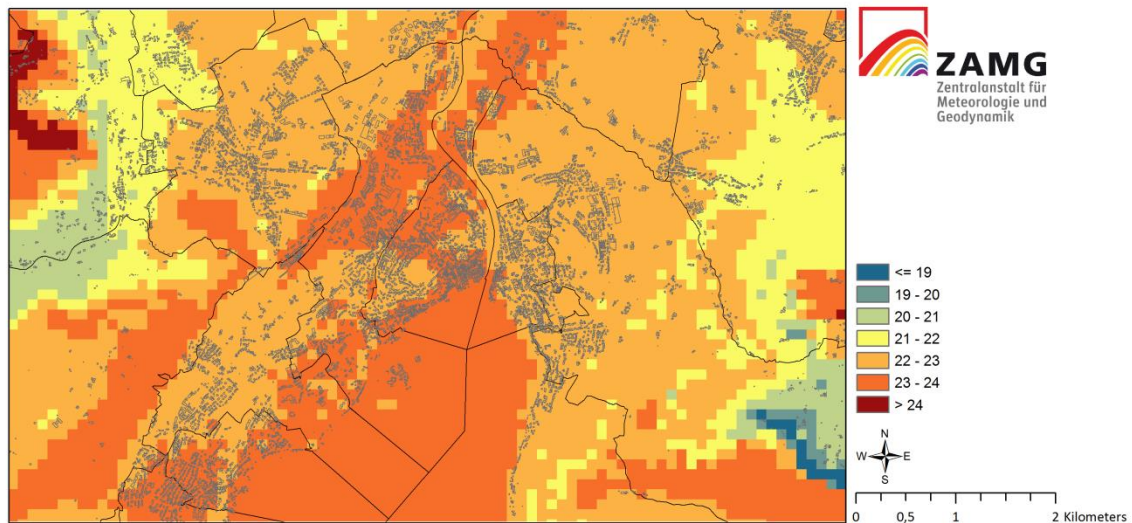


Abbildung 14: Lufttemperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh für Gmunden und Umgebung in einer typischen Tropennacht.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

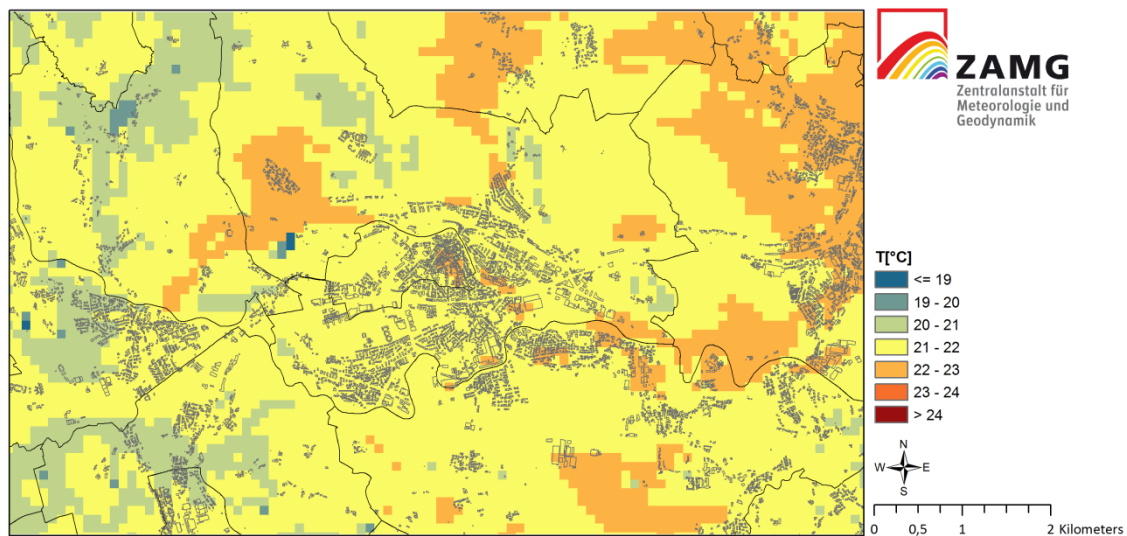


Abbildung 15: Lufttemperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh für Vöcklabruck und Umgebung in einer typischen Tropennacht.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

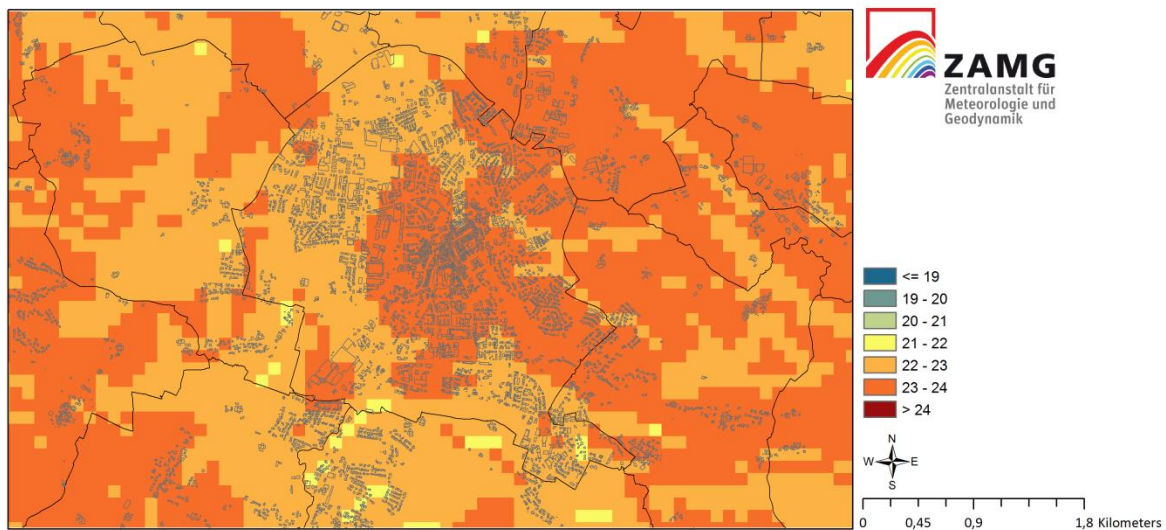


Abbildung 16: Lufttemperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh für Ried im Innkreis und Umgebung in einer typischen Tropennacht.

14 Uhr MESZ:

Die Inversion löst sich an einem heißen Strahlungstag bereits am Vormittag auf und um 14 Uhr MESZ (Abbildung 17) ist es auf den Anhöhen mit Wäldern und Wiesen kühler als in den Niederungen. Neben den dicht besiedelten städtischen Bereichen erwärmt sich auch das Ackerland mit der Sonneneinstrahlung stark. In Gmunden (Abbildung 18) ist es um 14 Uhr in den Stadtteilen nördlich des Traunsees am wärmsten. In Vöcklabruck (Abbildung 19) und im Ried im Innkreis (Abbildung 20) treten die höchsten Temperaturen um 14 Uhr im städtischen Gebiet auf.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

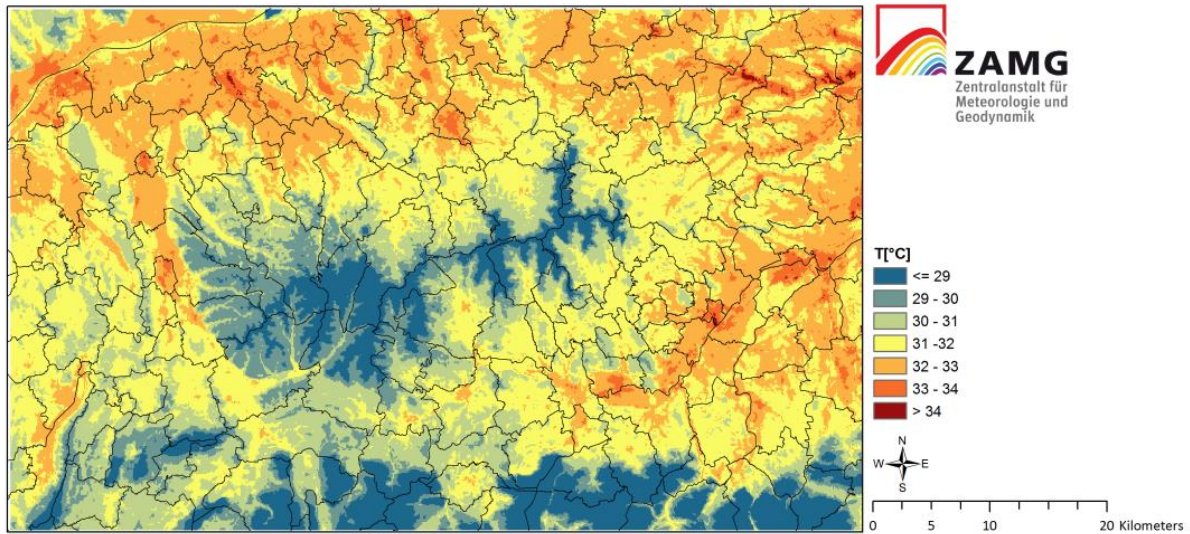


Abbildung 17: Lufttemperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) im Raum West-Oberösterreich an einem heißen Sommertag. Im Hintergrund sind Gemeindegrenzen zur Orientierung dargestellt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

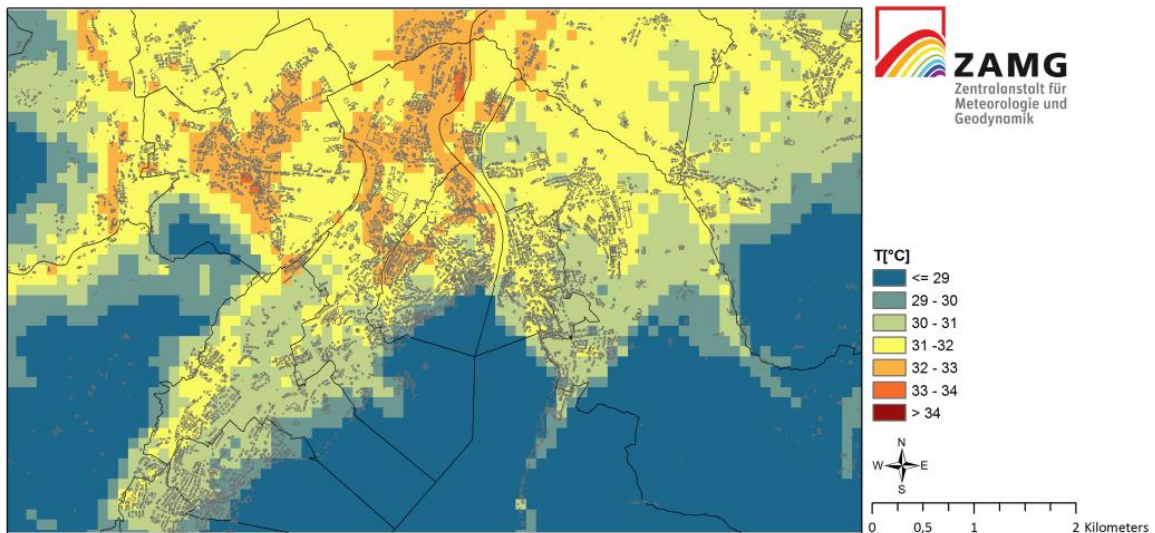


Abbildung 18: Lufttemperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) in Gmunden und Umgebung an einem heißen Sommertag. Besonders kühl sind die Gebiete am Traunsee.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

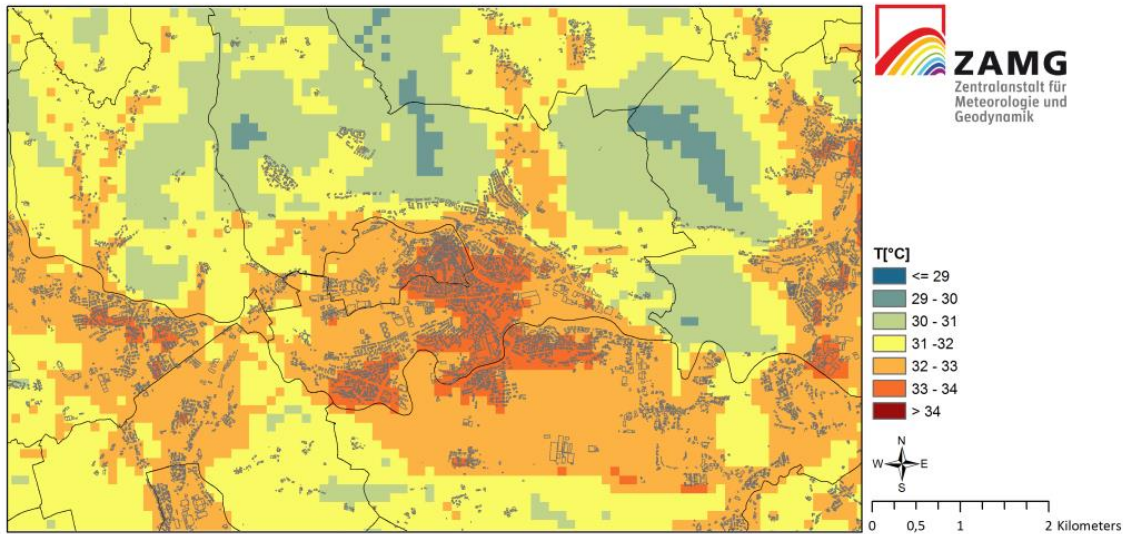


Abbildung 19: Lufttemperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) in Vöcklabruck und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

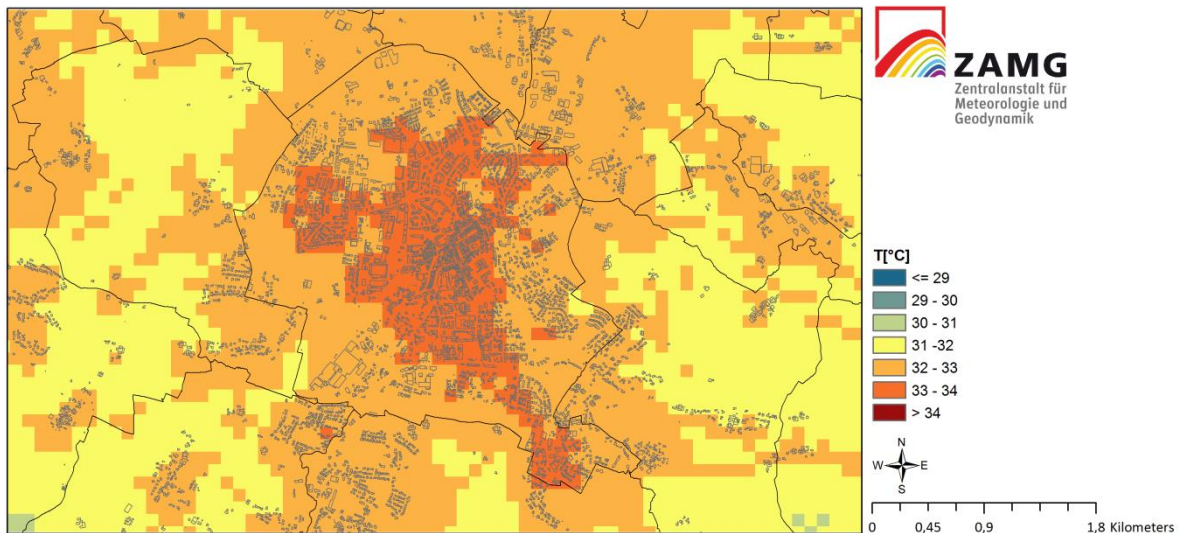


Abbildung 20: Lufttemperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) in Ried im Innkreis und Umgebung an einem heißen Sommertag.

22 Uhr MESZ:

Um 22 Uhr MESZ (Abbildung 21) treten die höchsten Temperaturen in den städtischen Bereichen und in den tiefsten Lagen abseits der Flüsse und Seen auf. In Gmunden (Abbildung 22) ist der kühlende

Effekt des Traunsees weniger stark ausgeprägt und um 22 Uhr erreicht die Temperatur stellenweise noch bis zu 30° Celsius. In Vöcklabruck (Abbildung 23) und Ried im Innkreis (Abbildung 24) erreichen die höchsten Temperaturen um 22 Uhr Werte zwischen 29° und 31° Celsius. Die räumliche Ausdehnung der Temperaturen um oder über 30° Celsius ist in Ried und Vöcklabruck allerdings wesentlich größer als in Gmunden.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

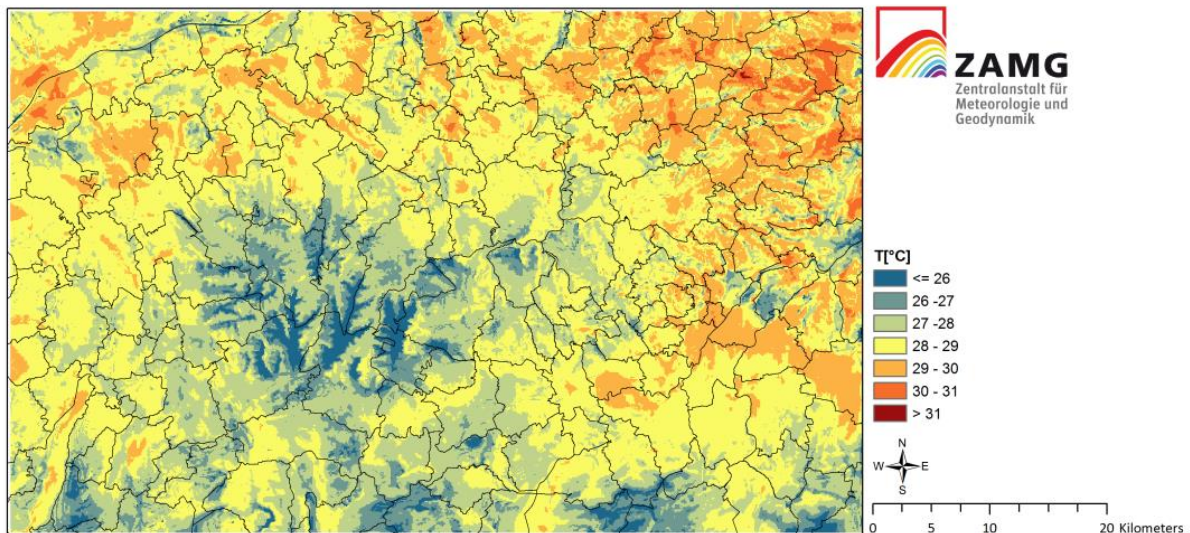


Abbildung 21: Lufttemperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) im Raum West-Oberösterreich an einem heißen Sommertag. Im Hintergrund sind Gemeindegrenzen zur Orientierung dargestellt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

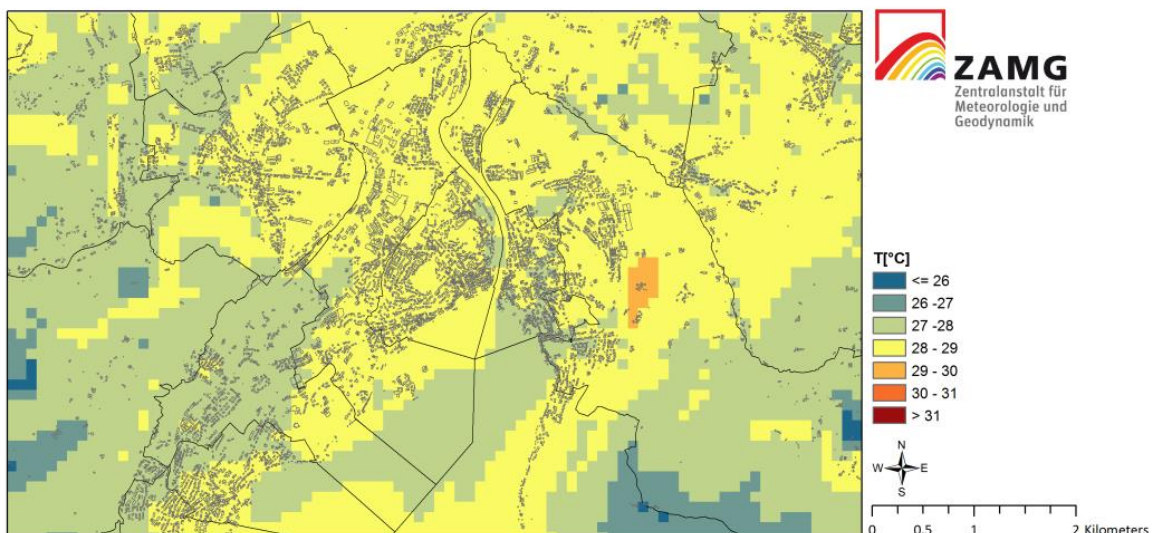


Abbildung 22: Lufttemperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) in Gmunden und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

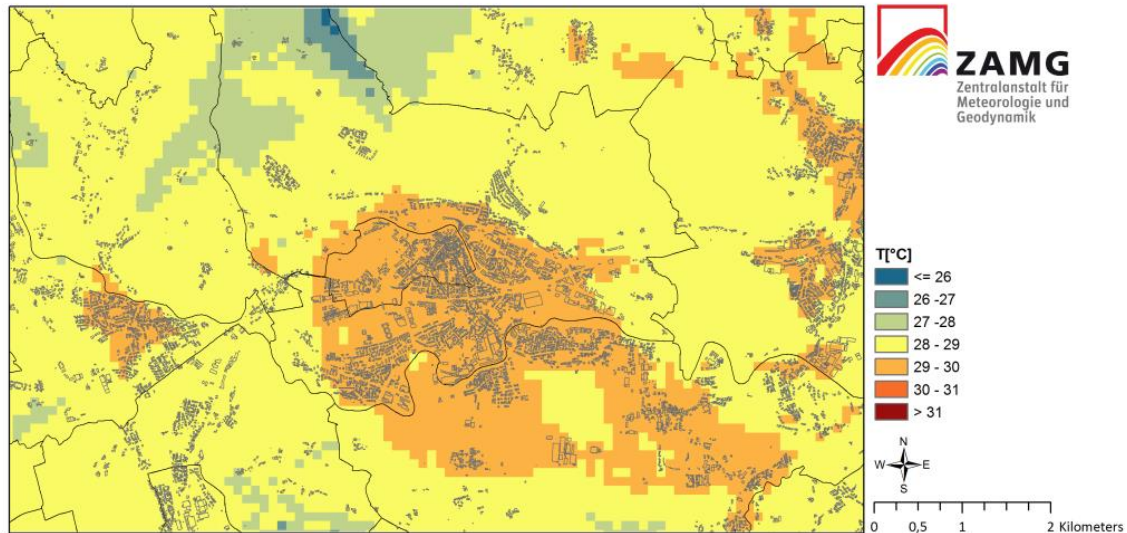


Abbildung 23: Lufttemperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) in Vöcklabruck und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

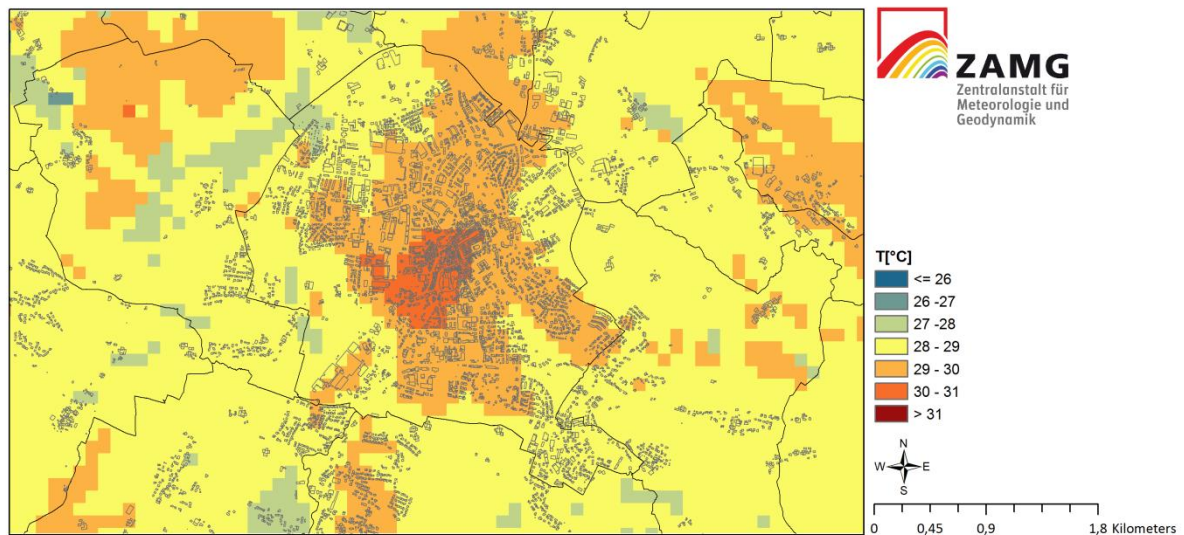


Abbildung 24: Lufttemperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) in Ried im Innkreis und Umgebung an einem heißen Sommertag.

3.1.2. Die gefühlte Temperatur um 4 Uhr, 14 Uhr und 22 Uhr MESZ

Als bioklimatischer Indikator dient in dieser Studie die aus MUKLIMO_3 Daten berechnete gefühlte Temperatur. Die gefühlte Temperatur ist jene Temperatur, die ein durchschnittlicher Mensch subjektiv empfindet. Berechnet wird die gefühlte Temperatur mit Hilfe des Klima-Michel-Modells (DWD, 2012). Die Methode berechnet in einem ersten Schritt aus den kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen die Strahlungstemperatur nach VDI Richtlinie 3787 Blatt 2 (VDI, 2008). Es wird dabei zwischen den Strahlungsflüssen aus dem oberen und unteren Halbraum unterschieden. In einem zweiten Schritt erfolgt die Berechnung der gefühlten Temperatur. Neben der Strahlungstemperatur geht in die Berechnung die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit und der Wasserdampfdruck (= ein Feuchtemaß) ein. Diese vier Größen (Strahlung, Temperatur, Wind, Feuchte) beeinflussen die thermische Wahrnehmung in unterschiedlichem Ausmaß: Bei hohen Temperaturen sorgt Wind für eine Abkühlung, hohe Luftfeuchtigkeit und direkte Sonnenstrahlung lassen den Menschen hingegen schwitzen. Die gefühlte Temperatur erfasst alle meteorologischen Komponenten, die den Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung beeinflussen und stellt daher einen wichtigen Parameter zur Bestimmung der thermischen Belastung für den Menschen dar. Eine physiologisch gerechte Bewertung des thermischen Empfindens der gefühlten Temperatur nach VDI Richtlinie 3787 Blatt 2 (VDI, 2008) ist in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung

Gefühlte Temperatur, °C	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Beanspruchung
0 bis +20	behaglich	Komfort möglich
+20 bis +26	leicht warm	schwache Wärmebelastung
+26 bis +32	warm	mäßige Wärmebelastung
+32 bis +38	heiß	starke Wärmebelastung
≥ 38	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

4 Uhr MESZ:

Die gefühlte Temperatur (Abbildung 25) ist um 4 Uhr in der Früh niedriger als die Lufttemperatur (Abbildung 13). Am vergleichsweise wärmsten bleibt es in den bewaldeten Regionen (wegen der relativ hohen Temperatur und niedrigen Windgeschwindigkeit). Die Detailausschnitte für Gmunden, Vöcklabruck und Ried im Innkreis werden in Abbildung 26, Abbildung 27 und Abbildung 28 gezeigt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

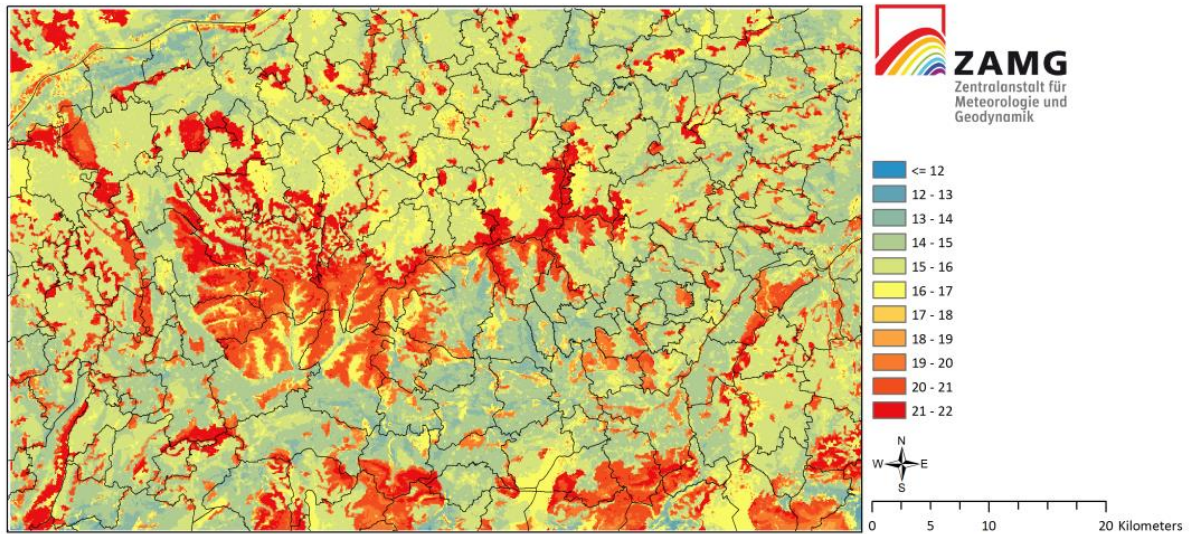


Abbildung 25: Gefühlte Temperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh im Raum West-Oberösterreich in einer typischen Tropennacht. Im Hintergrund sind Gemeindegrenzen zur Orientierung dargestellt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

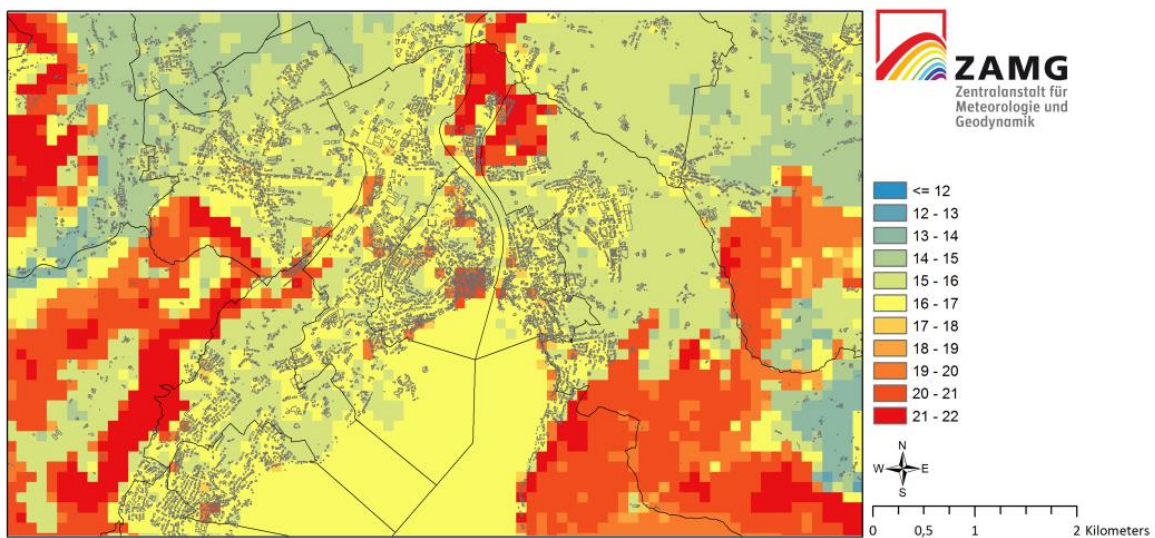


Abbildung 26: Gefühlte Temperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh für Gmunden und Umgebung in einer typischen Tropennacht.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

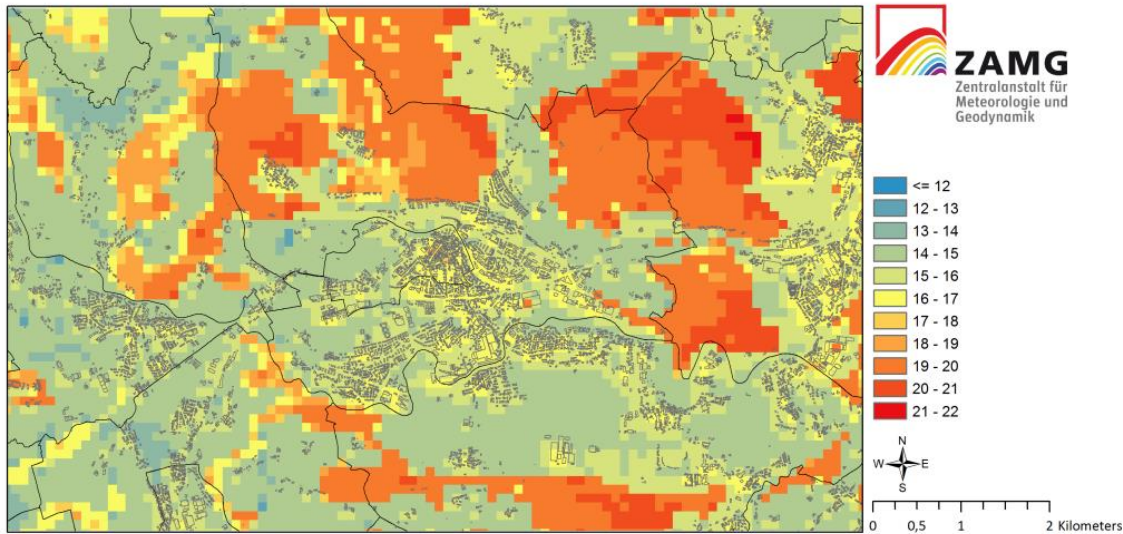


Abbildung 27: Gefühlte Temperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh für Vöcklabruck und Umgebung in einer typischen Tropennacht.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

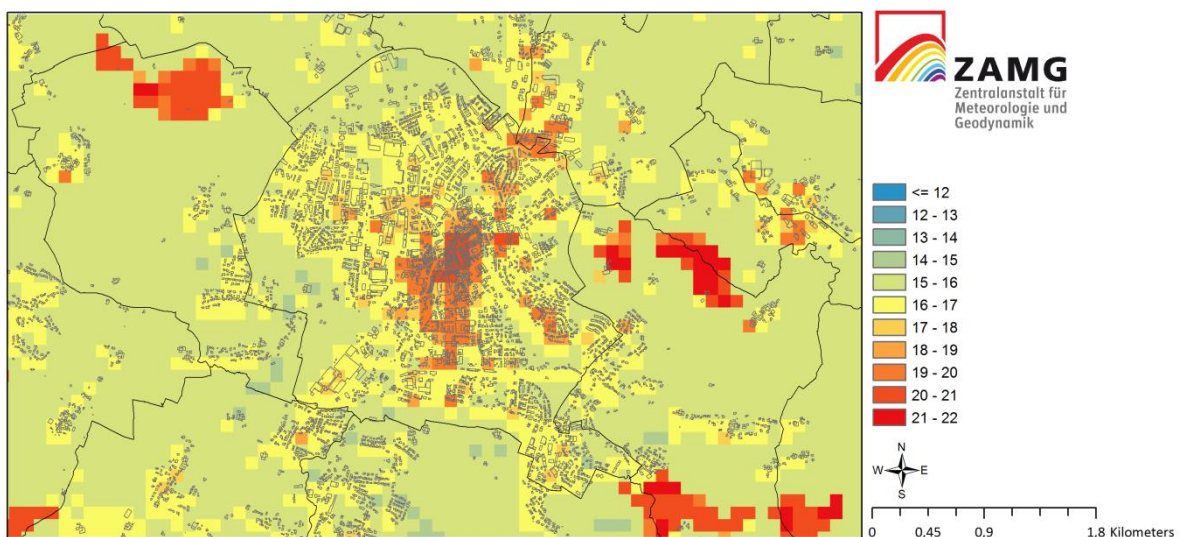


Abbildung 28: Gefühlte Temperatur [°C] um 4 Uhr (MESZ) in der Früh für Ried im Innkreis und Umgebung in einer typischen Tropennacht.

14 Uhr MESZ:

Aufgrund der Sonnenstrahlung (zum großen Teil) ist die gefühlte Temperatur um 14 Uhr MESZ (Abbildung 29) höher als die Lufttemperatur (Abbildung 17). Nach Tabelle 2 wäre über weite Teile der Region mit einer starken Wärmebelastung ($\geq 32^\circ$ Celsius) für den Menschen zu rechnen. Die

Detailausschnitte für Gmunden, Vöcklabruck und Ried im Innkreis werden in Abbildung 30, Abbildung 31 und Abbildung 32 gezeigt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

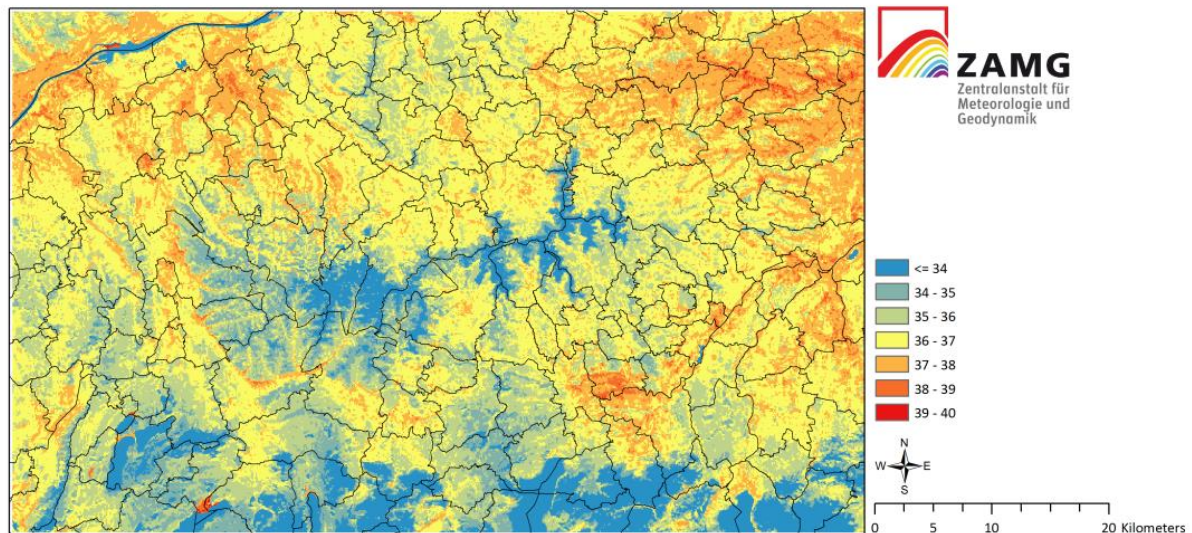


Abbildung 29: Gefühlte Temperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) im Raum West-Oberösterreich an einem heißen Sommertag. Im Hintergrund sind Gemeindegrenzen zur Orientierung dargestellt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

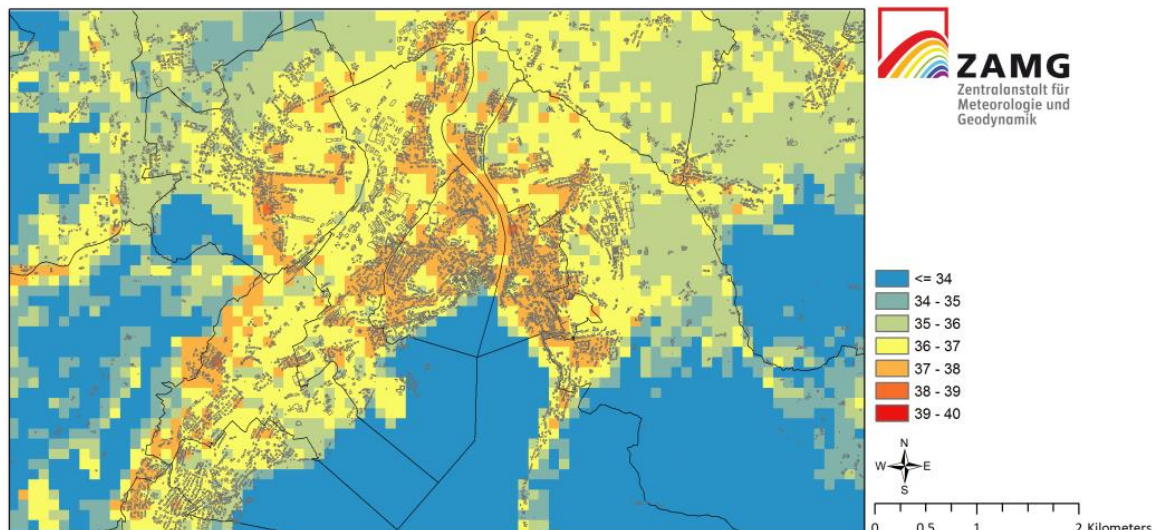


Abbildung 30: Gefühlte Temperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) in Gmunden und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

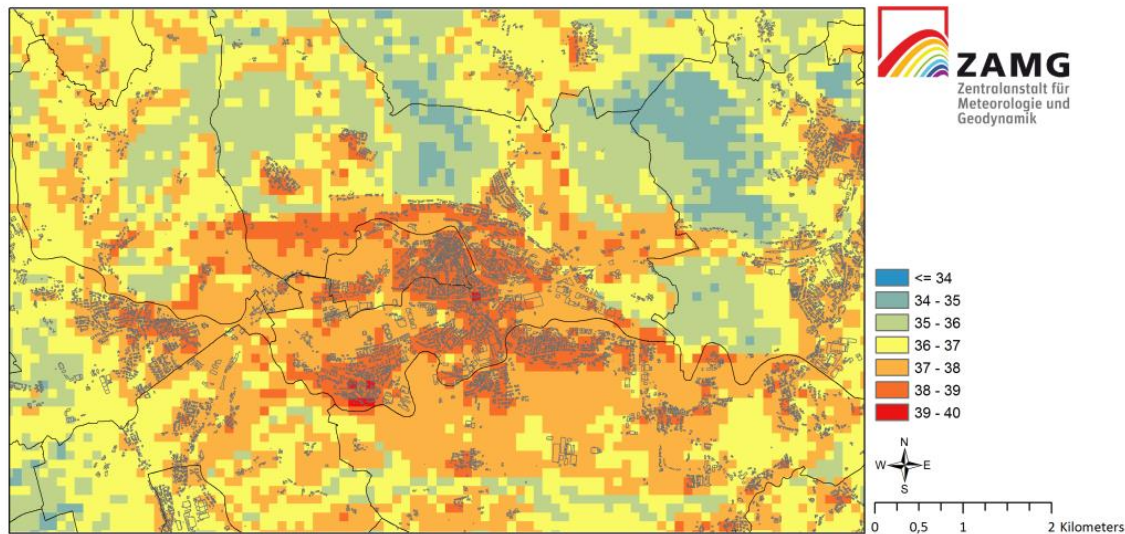


Abbildung 31: Gefühlte Temperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) in Vöcklabruck und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

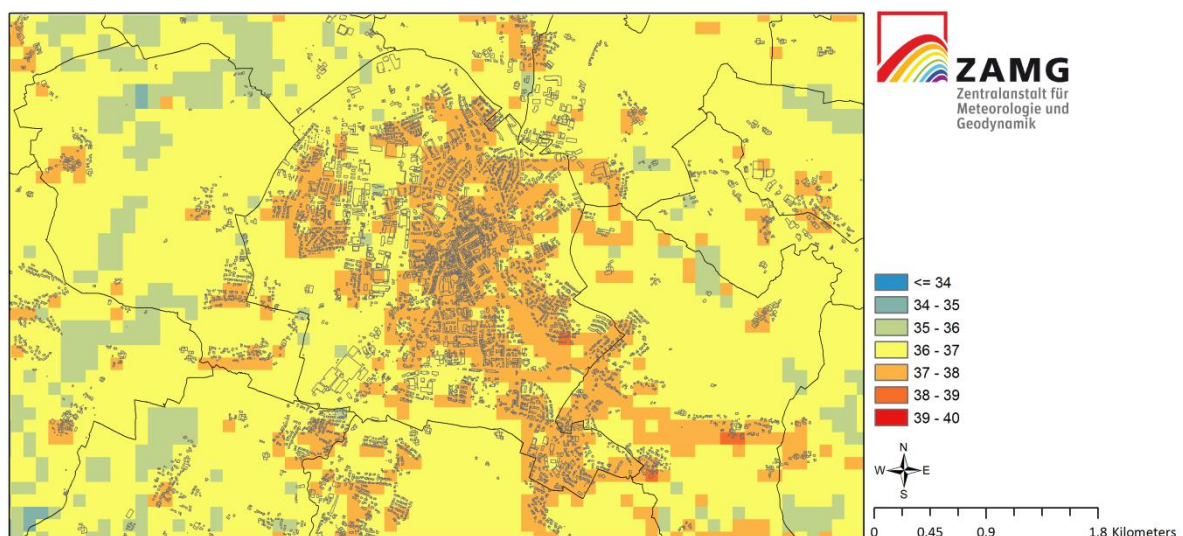


Abbildung 32: Gefühlte Temperatur [°C] um 14 Uhr (MESZ) in Ried im Innkreis und Umgebung an einem heißen Sommertag.

22 Uhr MESZ:

Um 22 Uhr MESZ ist die gefühlte Temperatur (Abbildung 33) niedriger als die Lufttemperatur (Abbildung 21). Allerdings zeigt es jedoch immer noch Gebiete mit schwacher ($\geq 20^\circ$ Celsius) bis mäßiger ($\geq 26^\circ$ Celsius) Wärmebelastung, sowohl innerhalb der städtischen Gebiete als auch in isolierten Regionen, in denen sich hohe Temperaturen, hohe Luftfeuchtigkeit und niedrige

Windgeschwindigkeiten überschneiden. Wie auch beim 4 Uhr Termin (Abbildung 25) ist es in den bewaldeten Regionen in tiefen Lagen am vergleichsweise wärmsten. Die Detailausschnitte für Gmunden, Vöcklabruck und Ried im Innkreis werden in Abbildung 34, Abbildung 35 und Abbildung 36 gezeigt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

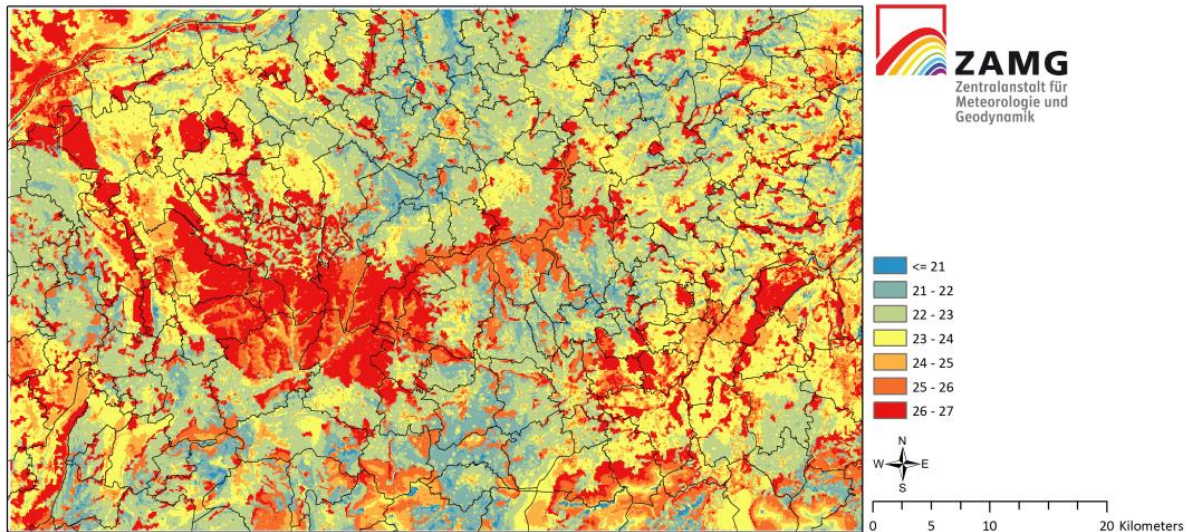


Abbildung 33: Gefühlte Temperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) im Raum West-Oberösterreich an einem heißen Sommertag. Im Hintergrund sind Gemeindegrenzen zur Orientierung dargestellt.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

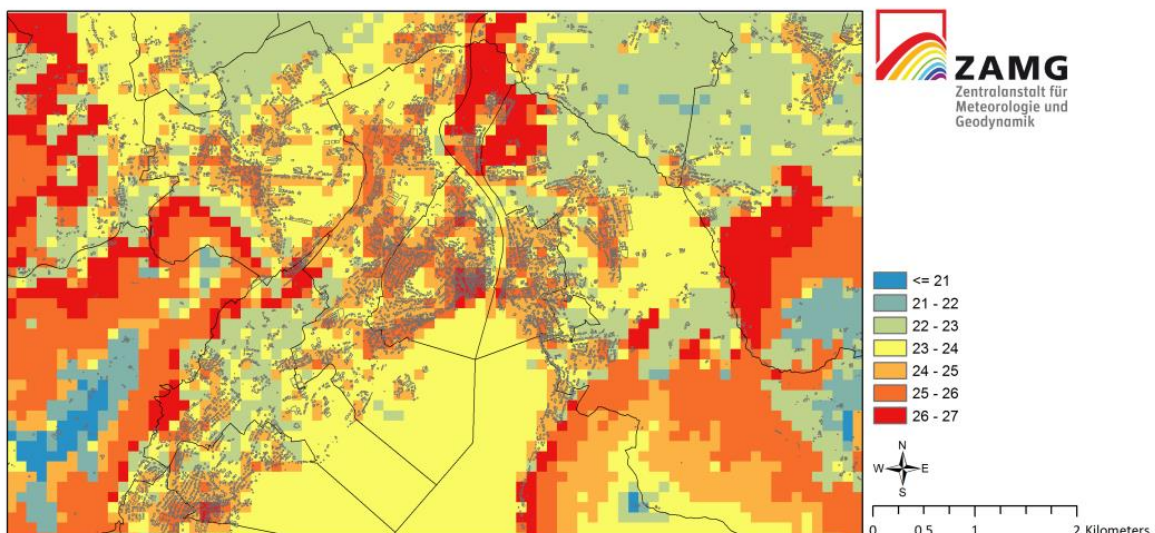


Abbildung 34: Gefühlte Temperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) in Gmunden und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

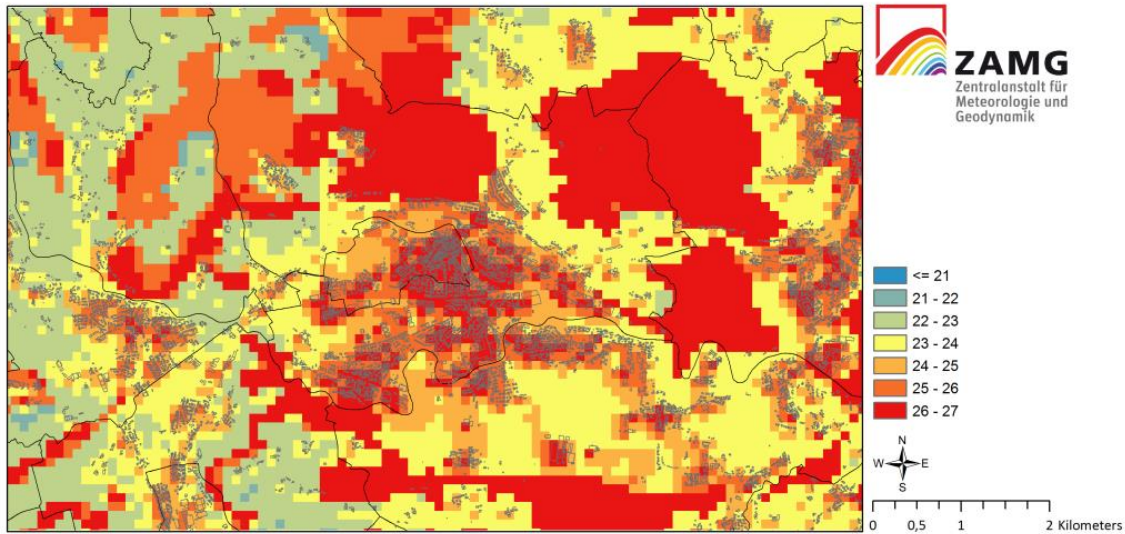


Abbildung 35: Gefühlte Temperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) in Vöcklabruck und Umgebung an einem heißen Sommertag.

Regionalklimaanalyse West-Oberösterreich

Gefühlte Temperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr (in °C) während eines wolkenlosen Sommertages

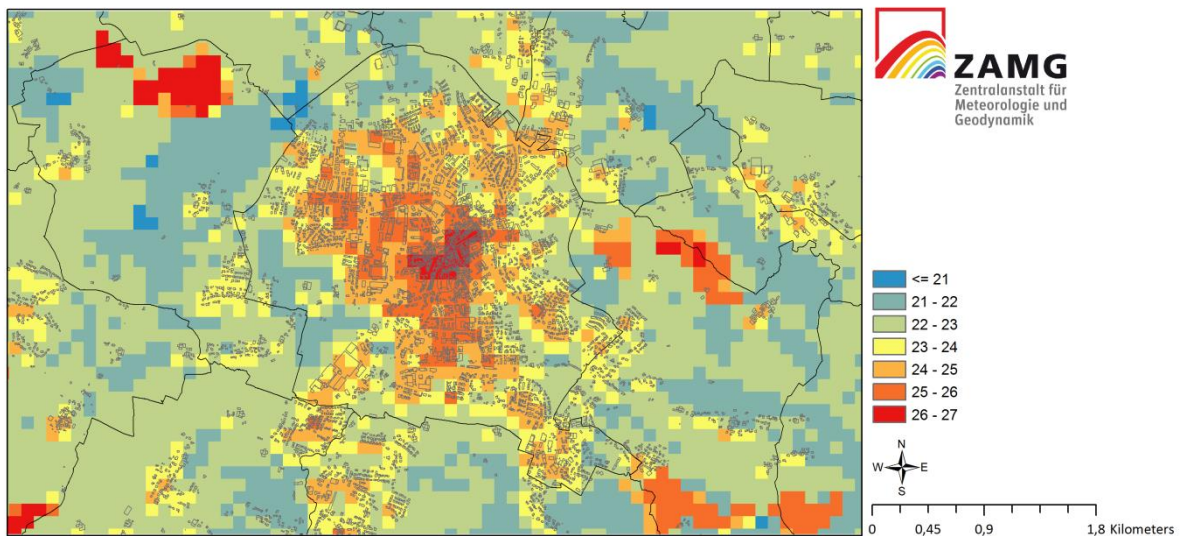


Abbildung 36: Gefühlte Temperatur [°C] um 22 Uhr (MESZ) in Ried im Innkreis und Umgebung an einem heißen Sommertag.

3.2. Kaltluftabfluss aus KLAM_21

Abbildung 37 zeigt die Kaltlufthöhe drei Stunden nach Sonnenuntergang für Oberösterreich. In einer klaren und windschwachen Nacht füllen sich zuerst die engen Täler mit kalter Luft. Im Lauf der Nacht fließt diese kalte Luft in die breiteren Täler ab. Auf den Hügeln und Bergrücken kann sich hingegen keine dickere Kaltluftschicht ausbilden, weil die kalte Luft in die Täler abfließt. Abbildung 38 zeigt exemplarisch die Richtung der Kaltluftströmung über Oberösterreich. Die Daten zur Kaltluftströmung, also die Kaltlufthöhe, die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit wurden dem Auftraggeber digital zur Verfügung gestellt. Somit können für jeden beliebigen räumlichen Ausschnitt für eine wolkenlose und windschwache Sommernacht der Verlauf der Kaltlufthöhe und der Wind zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang dargestellt werden. Die räumliche Auflösung der Daten beträgt 50 m.

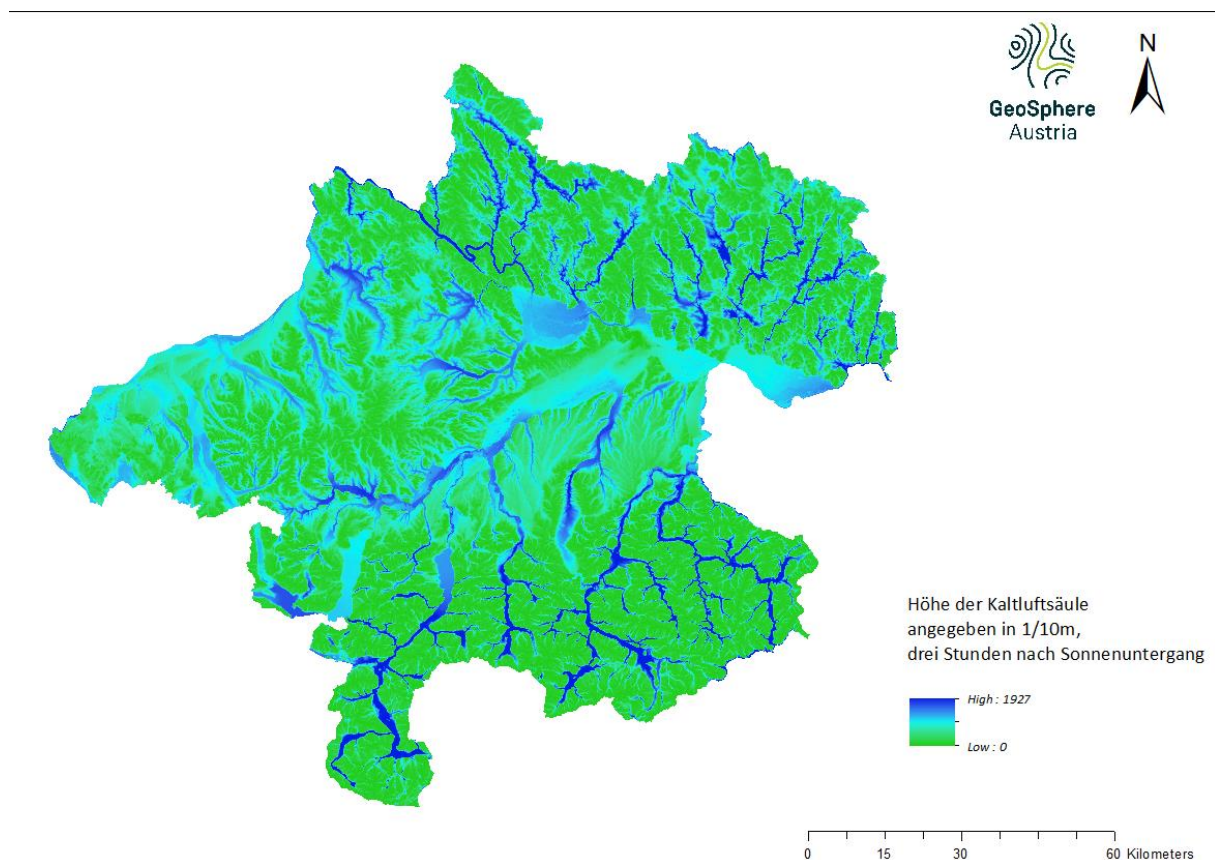


Abbildung 37: Kaltlufthöhe [in 1/10 m] drei Stunden nach Sonnenuntergang für Oberösterreich.

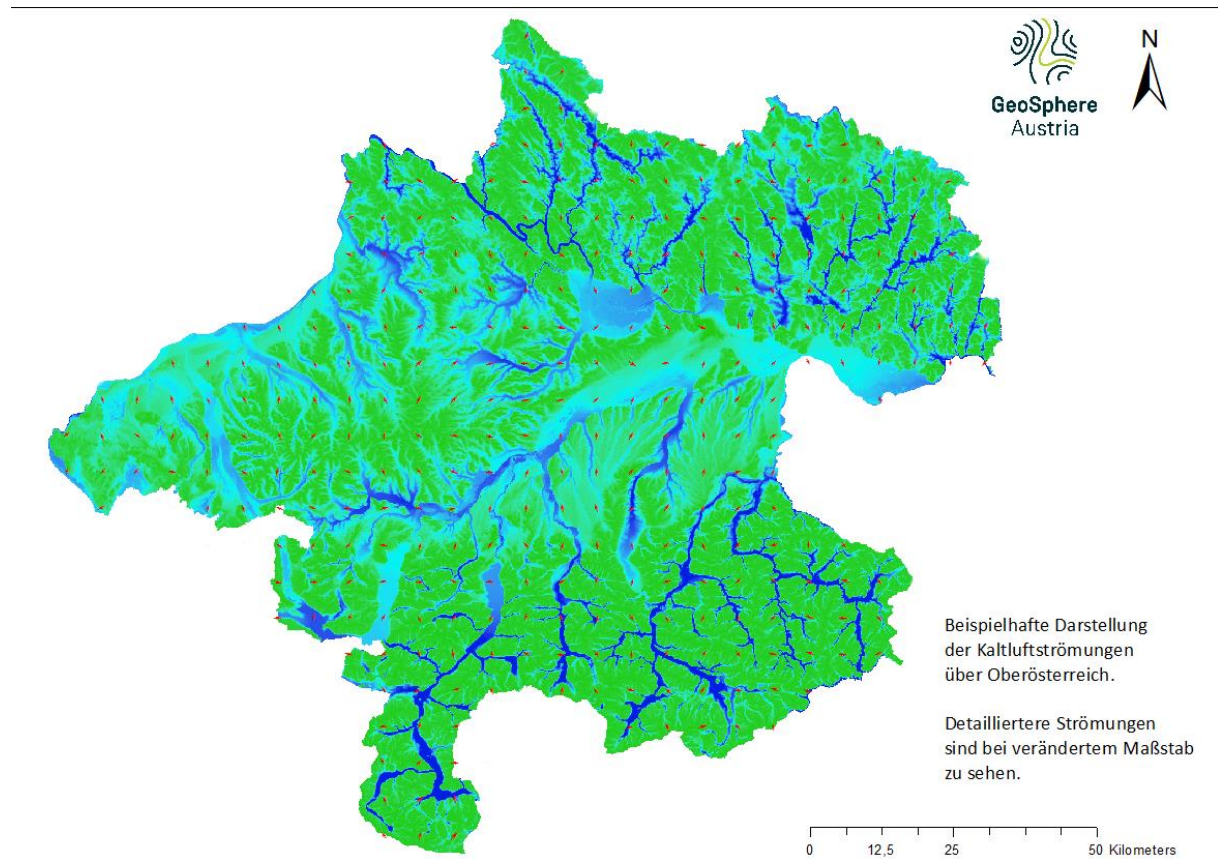


Abbildung 38: Exemplarische Darstellung der Kaltluftströmung über Oberösterreich.

4. Klimafunktionskarten

Die Klimafunktionskarten wurden zur übersichtlicheren Darstellung thematisch in zwei Karten unterteilt. Die Überwärmungskarten sind in Kapitel 4.1. zu sehen, auf die Thematik der Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete wird in Kapitel 4.2 eingegangen.

4.1. Überwärmung

Für die Überwärmungskarten wurde die Landnutzung mit dem Temperaturmittel kombiniert. Das Temperaturmittel berechnet sich in diesem Fall aus den stündlichen MUKLIMO_3 Lufttemperaturen in zwei Metern Höhe für zwei typische heiße und wolkenlose Sommertage (ausgewählt wurden die Zeitfenster 30. Juni 2019 10 Uhr MESZ bis 1. Juli 2019 9 Uhr MESZ und 26. Juli 2019 10 Uhr MESZ bis 27. Juli 2019 9 Uhr MESZ). Es handelt sich also um ein 48 Stunden Mittel.

In Abbildung 39 ist das gesamte Untersuchungsgebiet West-Oberösterreich dargestellt. Auf die Städte Ried im Innkreis, Grieskirchen, Vöcklabruck, Attnang-Puchheim und Schwanenstadt (in Abbildung 39 dick umrandete Gemeinden) wird in den folgenden Abbildungen (Abbildung 40 bis Abbildung 42) gesondert eingegangen. In diesen im Vergleich zum Ballungsraum Linz eher kleinen Städten ist der städtische Wärmeinseleffekt nicht besonders stark ausgeprägt. Vielmehr ist der Effekt des Geländes, von Wäldern und Wasserflächen sichtbar.

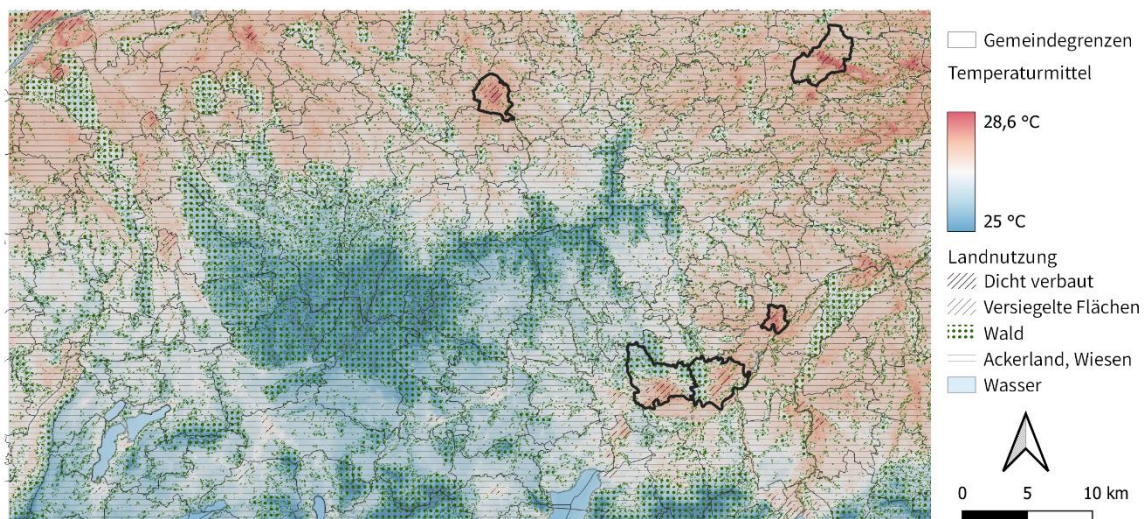


Abbildung 39: Überwärmungskarte für das gesamten Untersuchungsgebiet West-Oberösterreich.

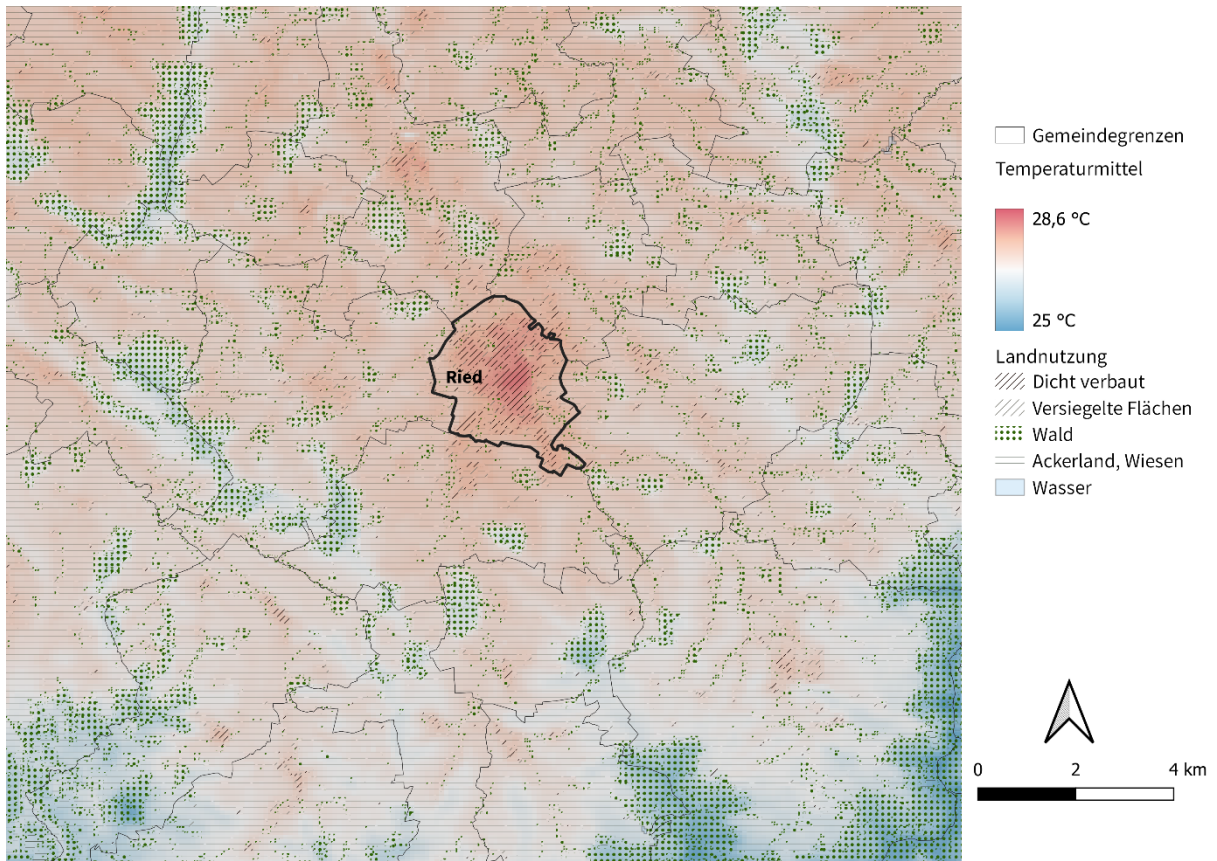


Abbildung 40: Überwärmungskarte von Ried in Innkreis und Umgebung.

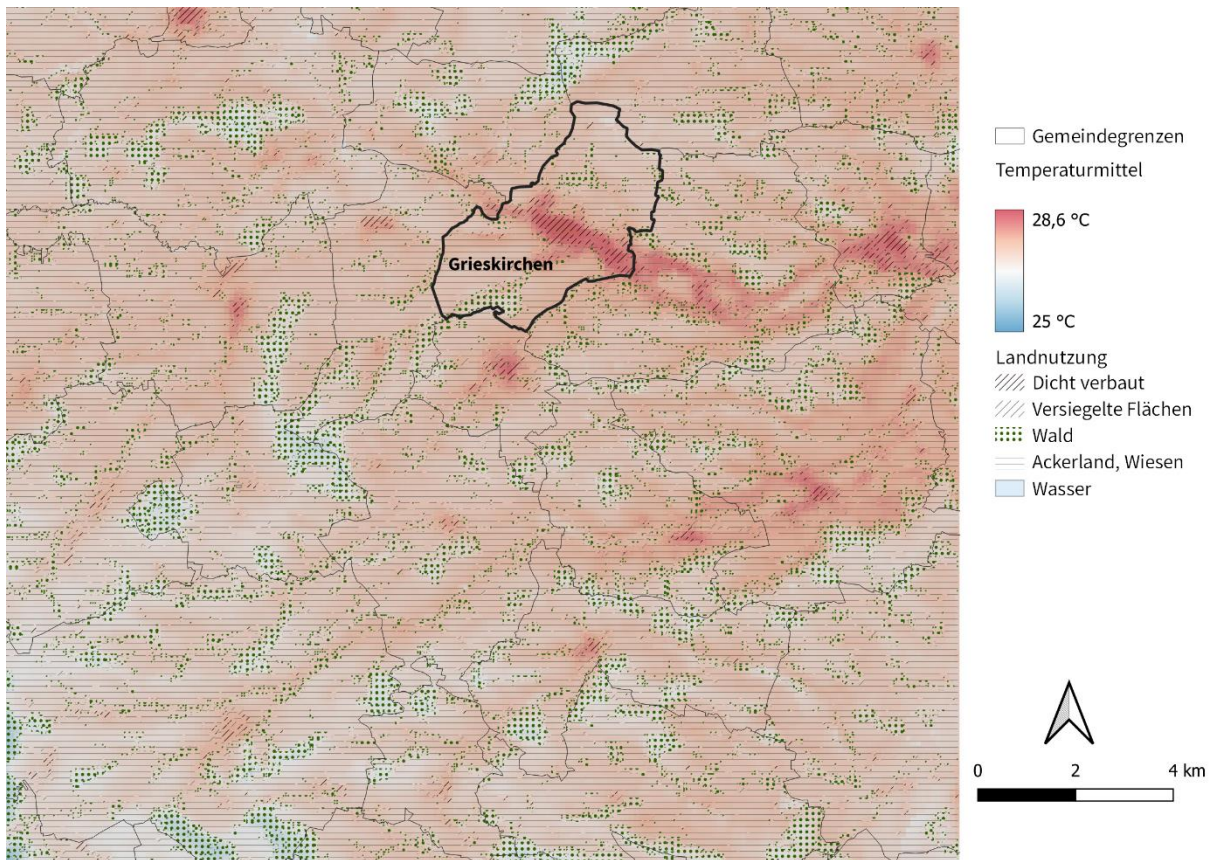


Abbildung 41: Überwärmungskarte von Grieskirchen und Umgebung.

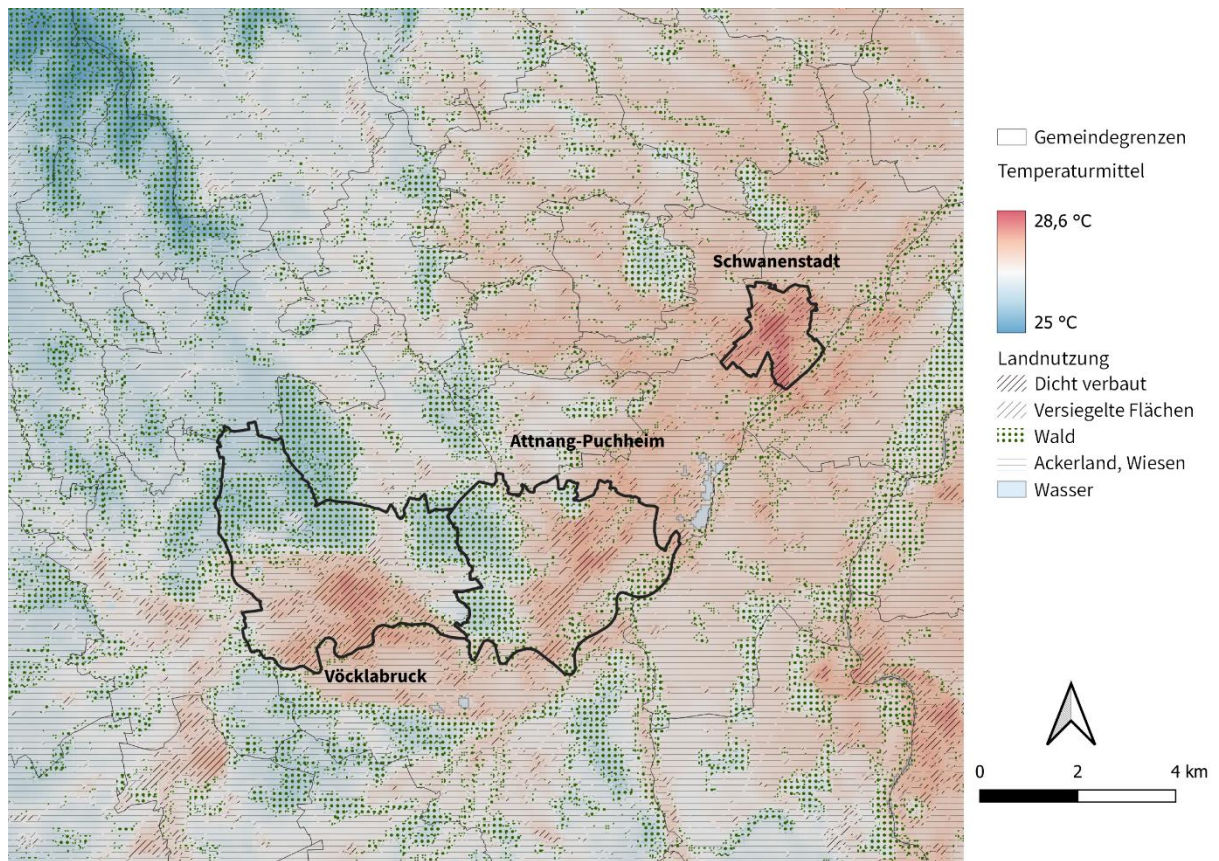


Abbildung 42: Überwärmungskarte vom Raum Vöcklabruck, Attnang-Puchheim und Schwanenstadt.

4.2. Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete

Frischluftentstehungsgebiete sind laut Definition der VDI-Richtlinie 3787 Waldgebiete oder Gebiete mit dichtem Baumbestand. Das Waldklima zeichnet sich durch stark gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchte aus. Im Stammraum herrschen gegenüber dem waldfreien Umland tagsüber relativ niedrige Lufttemperaturen und höhere Luftfeuchten, während nachts die Temperaturen relativ gesehen milder sind (wie besonders auch bei der gefühlten Temperatur (Kapitel 3.1.2) ersichtlich).

Frischluftzufuhr im erweiterten Sinne sind natürlich auch Situationen, bei denen „unbelastete und saubere“ Luft im Sinne von schadstoff- und aerosolarm heran strömt. Dies kann durch einen Luftmassenwechsel oder durch das Heruntermischen unbelasteter Luft aus höheren atmosphärischen Schichten geschehen, welche zuvor länger keinen Kontakt mit dem Boden hatte.

Kaltluftentstehungsgebiete sind Flächen, die auf Grund der nächtlichen Abstrahlung stärker auskühlen als andere Flächen. So können freie und offene Wiesen, Felder und kahle Flächen deutlich stärker abkühlen als zum Beispiel Wälder, Wasserflächen, Siedlungen oder strukturiertes Gelände mit vielen Objekten.

In den nachfolgenden Betrachtungen wird von einem heißen Tag ausgegangen und von einer klaren Nacht. Ist während einer Hitzeperiode die Nacht durch dichte Wolken bedeckt, so entfällt der Kühlungseffekt durch die nächtliche Ausstrahlung. Die Diskussion zielt also in Richtung eines im Idealfall vorhandenen natürlichen Kühlungseffekts und wie sich dieser auf eine Stadt oder eine Region auswirkt ab.

Beispielhaft werden hier die Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete für die Städte Grieskirchen, Ried, Schwanenstadt und Vöcklabruck gezeigt. Zonen in denen die nächtliche Kaltluftproduktion besonders gut funktioniert sind in Blautönen dargestellt. Umso dunkler das Blau ist, umso mehr Kaltluft kann produziert werden und abfließen. Grieskirchen (Abbildung 43) wird durch seine Lage im Trattnachtal gut belüftet. In windschwachen, klaren Nächten kann zudem frische Luft aus Norden und Süden in die Stadt strömen. Nach Ried im Innkreis (Abbildung 44), das sich in einer Bodensenke des Innviertler Hügellands befindet, kann ausreichend frische Luft, am unmittelbarsten aus dem Norden und Osten, strömen. Auch Schwanenstadt (Abbildung 45) wird gut mit frischer Luft versorgt, vor allem von Westen her. Aber auch aus östlichen Richtungen ist die Frischluftzufuhr möglich.

Vöcklabruck (Abbildung 46) wird in der Vöckla-Ager Senke gut durchlüftet. Weitere sehr gute Frischluftzufuhr erhält die Stadt von Norden her.

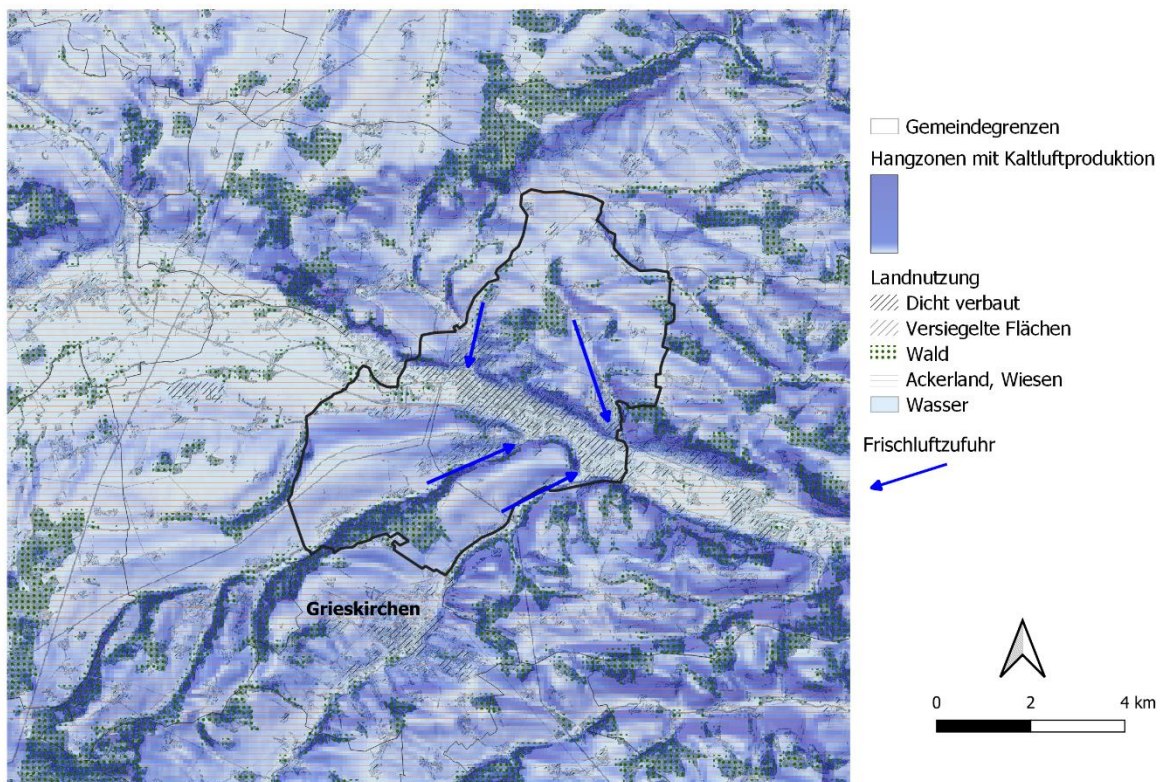


Abbildung 43: Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete in Grieskirchen und Umgebung.

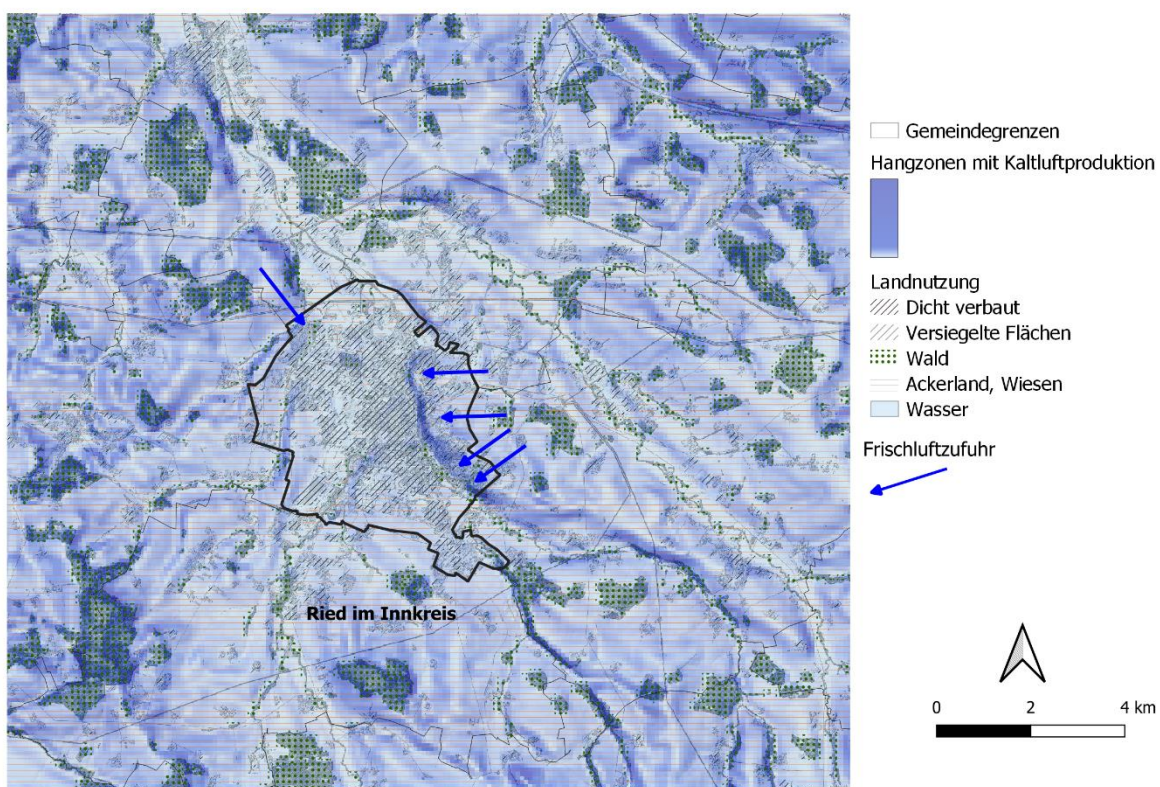


Abbildung 44: Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete in Ried und Umgebung.

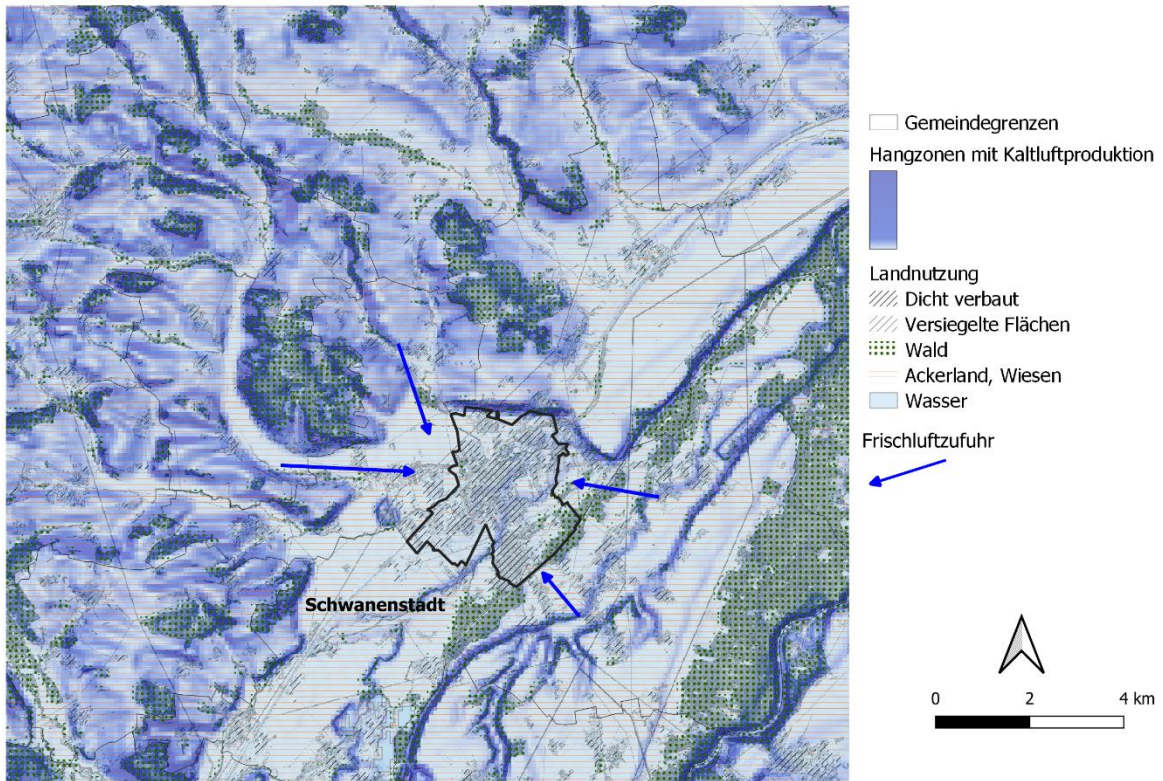


Abbildung 45: Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete in Schwanenstadt und Umgebung.

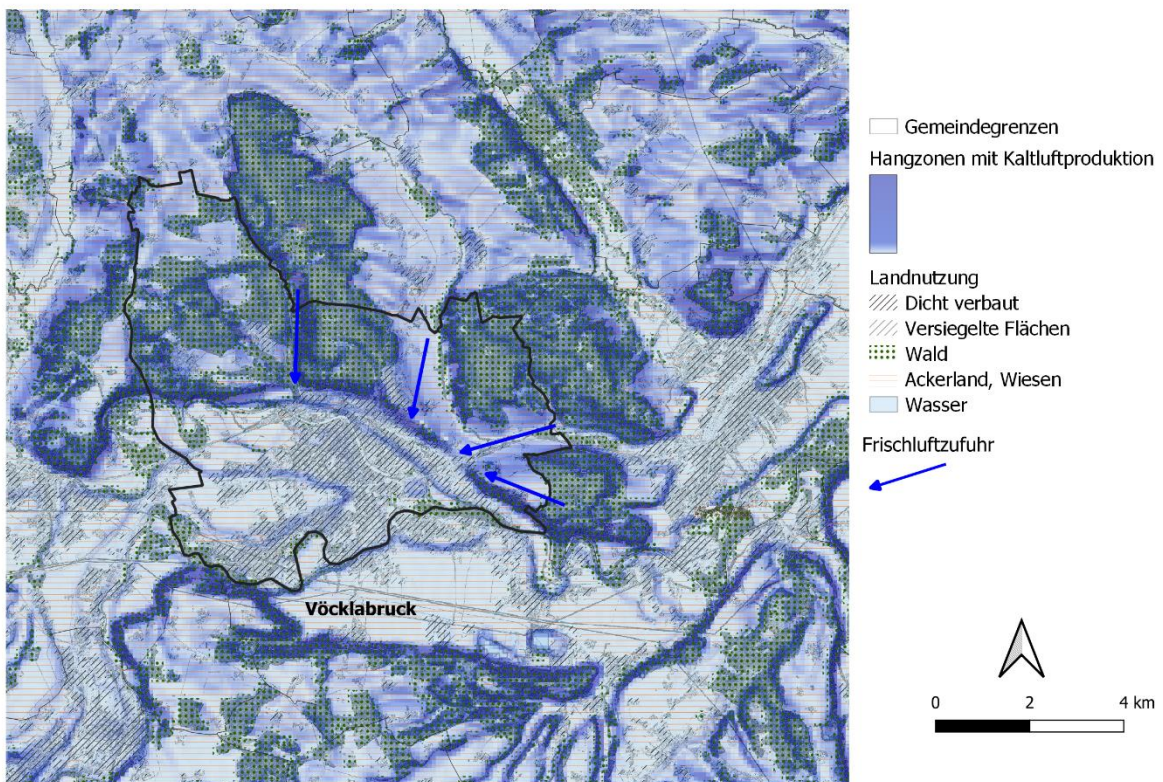


Abbildung 46: Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete in Vöcklabruck und Umgebung.

5. Literatur

- Deutscher Wetterdienst, Programm zur Offline Kopplung MUKLIMO_3 und Klima-Michel-Modell, Offenbach am Main, 2012.
- European Union (2018): Copernicus land monitoring service. In: European Environment Agency (EEA).
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH und Gross G.: Stadtklimaanalyse Landeshauptstadt München, Berichtsnummer 2_12_002_München_Klima_Rev00, Landeshauptstadt München Referat für Gesundheit und Umwelt, Hannover, Juli 2014.
- Siebert, J., Sievers, U. und Zdunkowski, W. (1992): A one-dimensional simulation of the interaction between land surface processes and the atmosphere. *Bound.-Layer Meteorol.* 59 (1–2), 1–34.
- Sievers, U. und Zdunkowski, W. (1986): A microscale urban climate model. *Contributions to Atmospheric Physics* 59, 13–40.
- Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendungen und Handhabung des PC-Modells. *Berichte des DWD* 227.
- Sievers, U. und Früh, B. (2012): A practical approach to compute short-wave irradiance interacting with subgrid-scale buildings. *Meteorol. Z.* 21 (4), 349–364.
- Sievers, U. (2016): “Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3 Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen.” *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 248.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2008. *Umweltmeteorologie – Methoden zur humanbiometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung Teil 1: Klima.* VDI Richtlinie 3787 Blatt 2, Beuth-Verlag, Berlin.