



# Modellgestützte Klimaanalyse

Dokumentation der modellgestützten Klimaanalyse und der Umsetzung der Ergebnisse in Klimaanalysekarten und Planhinweiskarten für die Projektpartner:

Kanton St. Gallen  
Kanton Glarus  
Kanton Appenzell Ausserrhoden  
Kanton Graubünden  
Stadt Chur  
Agglomeration Rheintal  
Agglomeration Bodensee  
Agglomeration Wil  
Fürstentum Liechtenstein

## Impressum

Auftraggeber Kontaktperson Adresse	Amt für Raumentwicklung und Geoinformation, Baudepartement Alex Biber und Ralph Etter Lämmli brunnenstrasse 54 9001 St. Gallen
Datum Aktuelle Version Ältere Versionen Projekt Datei	28.11.2024 Schlussbericht, 28.11.2024 - Klimamodellierung Raum Ostschweiz Klimamodellierung_Dokumentation_20241128.docx
Erstellt durch Kontrolliert durch Genehmigt durch	Dr. Michael Schmutz 29.11.2024   Jan Remund 29.11.2024   Jan Remund
Gewährleistung	Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Glossar</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Methoden</b> .....	<b>9</b>
3.1	Modellgestützte Klimamodellierung.....	9
3.1.1	Stadtklimamodell PALM-4U .....	9
3.1.2	Dynamischer Antrieb .....	11
3.1.3	Statische Inputdaten.....	14
3.2	Auswertung der Nutzungsflächen .....	15
<b>4</b>	<b>Klimaanalysekarten</b> .....	<b>16</b>
4.1	Tagsituation .....	17
4.2	Nachtsituation .....	19
<b>5</b>	<b>Planhinweiskarten</b> .....	<b>25</b>
5.1	Tagsituation .....	26
5.1.1	Siedlungs- und Verkehrsflächen – Wirkungsräume .....	26
5.1.2	Grün- und Freiflächen - Ausgleichsräume.....	27
5.2	Nachtsituation .....	28
5.2.1	Siedlungs- und Verkehrsflächen – Wirkungsräume .....	30
5.2.2	Grün- und Freiflächen – Ausgleichsräume.....	30

## Tabellen

Tabelle 1:	Datenquellen der statischen Eingangsdaten.....	14
Tabelle 2:	Datenquellen für die Planhinweiskarten.....	15
Tabelle 3:	Klimaparameter der Klimaanalysekarten Tag (14 Uhr) und Nacht (04 Uhr) .....	16
Tabelle 4:	Klassierung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur. ....	18
Tabelle 5:	Auf den Planhinweiskarten dargestellten Bewertungen von Siedlungs- und Freiflächen. ....	25
Tabelle 6:	Einteilung der Wirkungsräume in 5 Klassen basierend auf der PET. ....	26
Tabelle 7:	Einteilung der Ausgleichsräume in 5 Klassen basierend auf der PET und der Nähe zu belasteten Wirkungsräumen. ....	26
Tabelle 8:	Einteilung der Wirkungsräume in 5 Klassen basierend auf der nächtlichen Überwärmung. ....	29
Tabelle 9:	Einteilung der Grün- und Freiflächen in 5 Klassen basierend auf der klimaökologischen Funktion für die Wirkungsräume. ....	29

## Abbildungen

Abbildung 1: Schematische Übersicht der Modellkomponenten des Stadtklimamodells PALM-4U. ....	10
Abbildung 2: Aufteilung des Untersuchungsgebietes in 27 Kacheln. ....	11
Abbildung 3: Temperaturverlauf an der Messstation Oberriet am 24.07.2019 und 25.07.2019. ....	12
Abbildung 4: 500 hPa Geopotential (gpm) für den 24.07.2019 um 12:00 UTC. ....	13
Abbildung 5: Tagesmaximaltemperatur am 24.07.2019.....	13
Abbildung 6: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Tagsituation mit Darstellung der PET. ....	19
Abbildung 7: Nächtliche Lufttemperaturen an MeteoSchweiz Stationen innerhalb des Modellperimeters am gewählten Hitzetag. ....	20
Abbildung 8: Nächtliches Temperaturprofil in St. Gallen und dem Bernegg aus den Modellergebnissen.....	21
Abbildung 9: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Nachtsituation mit Darstellung der Lufttemperatur. ....	21
Abbildung 10: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Nachtsituation mit Darstellung des Strömungsfeldes und der Kaltluftvolumenstromdichte.....	22
Abbildung 11: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Nachtsituation mit Darstellung der nächtlichen Überwärmung, der Kaltluftvolumenstromdichte und den Kaltflutleitbahnen. ....	23
Abbildung 12: Ausschnitt der Planhinweiskarte der Tagsituation.....	28
Abbildung 13: Ausschnitt der Planhinweiskarte der Nachtsituation.....	31

# 1 Einleitung

Im Raum Ostschweiz haben sich verschiedene Kantone und Agglomerationsräume im Rahmen laufender oder bevorstehender Klimastrategien im Zeitraum 2021-2022 dafür entschieden, eine planerische Entscheidungsgrundlage basierend auf einer modellgestützten Klimaanalyse zu erarbeiten. Die modellgestützte Klimaanalyse soll Aufschluss über die Ausgangslage bezgl. Hitzestress und Kaltluftprozessen im Siedlungsraum geben und als Grundlage für die Ausarbeitung von Planhinweiskarten für die Ableitung konkreter planerischer Massnahmen dienen.

Während die Hitzebelastung im Siedlungsraum grösstenteils auf lokaler Ebene beurteilt werden kann, sind die für die nächtliche Auskühlung verantwortlichen Kaltluftprozesse und auch die für den Siedlungsraum relevanten Ausgleichsräume auf regionaler Ebene zu betrachten. Die unabhängigen aber zeitgleichen Entscheide der Kantone St. Gallen, Glarus, Appenzell Ausserrhoden und Graubünden sowie der Stadt Chur und der Agglomerationen Rheintal, Bodensee und Wil haben die hervorragende Ausgangslage geschaffen, einen Grossteil der Ostschweiz und des grenznahen Auslandes im Bereich des Rheintals als zusammenhängende Fläche zu modellieren und eine homogene planerische Entscheidungsgrundlage für klimarelevante Fragestellungen zu erarbeiten. Die vorliegende Dokumentation der modellgestützten Klimaanalyse richtet sich als Basisdokumentation der theoretischen und methodischen Grundlagen an alle beteiligten Projektpartner:

Kanton St. Gallen  
Kanton Glarus  
Kanton Appenzell Ausserrhoden  
Kanton Graubünden  
Stadt Chur  
Agglomeration Rheintal  
Agglomeration Bodensee  
Agglomeration Wil  
Fürstentum Liechtenstein

## 2 Glossar

**Alpines Pumpen:** An sonnigen Sommertagen, ohne grosse Druckgegensätze über der Schweiz, entwickeln sich in den Alpentälern ausgeprägte Talwinde. Das geringere Luftvolumen über den Bergen erwärmt sich bei gleicher Einstrahlung stärker als über dem Flachland und es entwickelt sich ein lokales Hitzetief. Die Luft steigt dabei über den Bergen schneller auf und saugt als Ausgleichsströmung Luft aus dem Flachland nach. In der Nacht kehrt sich die Strömung um, da sich das kleinere Luftvolumen über den Bergen schneller abkühlt. Das entstehende lokale («Kälte»-)Hoch sorgt für einen Kaltlufttransport aus den Alpentälern in Richtung Flachland (Bergwind).

**Ausgleichsraum:** Grün- oder Freifläche ausserhalb des Siedlungsraumes mit klimaökologischer Bedeutung für die Wirkungsräume.

**Bioklima/Humanbioklima:** Das für die lebenden Organismen bzw. den Menschen bedeutsame Mikroklima.

**Höhenstufe:** Im vorliegenden Bericht wird mit Höhenstufe ein Gürtel gleicher Höhe über Meer definiert.

**Kaltluft:** Als Kaltluft bezeichnet man eine Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist. Sie ist das Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und ist über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten.

**Kaltluftabfluss:** Als Kaltluftabfluss wird das topografisch bedingte Abfliessen der dichteren Kaltluft entlang des Gefälles bezeichnet. Kaltluftabflüsse oder Kaltluftströme sind effektive Transportmechanismen, über welche kühle Luft aus dem Umland in Siedlungsgebiete transportiert werden und stellen einen wichtigen Ausgleich zur Überwärmung tagsüber dar. Kaltluftabflüsse können bereits kurz nach Sonnenuntergang einsetzen und die ganze Nacht über andauern. Der Zeitpunkt der maximalen Auskühlung wird in der Regel kurz vor Sonnenaufgang erreicht.

**Kaltlufteinwirkungsbereich:** Teil einer Siedlungsfläche, welcher von Kaltluftabflüssen erreicht wird und sich durch einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom kennzeichnet.

**Kaltluftentstehungsgebiet:** Grün- oder Freiflächen, auf welchen eine effiziente Kaltluftbildung stattfindet, durch eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktion.

**Kaltluftleitbahn:** Verbindet kaltluftführende Freiflächen mit Siedlungsgebieten durch reliefbedingten Kaltluftabfluss.

**Kaltluftvolumenstrom:** Menge an Kaltluft in  $m^3$ , welche in einer Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen Oberfläche und Obergrenze der Kaltluftschicht fließt.

**Landwind:** Wind in Küstengebieten, welcher nachts vom Land zum Wasser hin weht.

**Mikroskala/Mikroklima:** In der Meteorologie werden in der Mikroskala Prozesse beschrieben, welche eine horizontale Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern aufweisen. Dies umfasst insbesondere die Interaktion zwischen der bodennahen Luftschicht und den Oberflächenelementen.

Das Mikroklima beschreibt demnach die lokalen, kleinskaligen klimatischen Eigenschaften, welche sehr stark von den Oberflächeneigenschaften (Vegetation, Bebauung, Untergrund etc.) bestimmt sind. Das Mikroklima kann sich kleinräumig (wenige Meter) deutlich ändern (z.B. signifikante bodennahe Temperaturunterschiede über Asphalt und einer angrenzenden Wiese).

Mikro(klimatische)-Modelle bilden kleinräumige Prozesse auf der Mikroskala ab, welche in mesoskaligen Modellen, wie z.B. dem Wettermodell COSMO-1 der MeteSchweiz mit einer Gitterweite von 1 km, nicht aufgelöst werden können. Ein mikroklimatisches Modell kann durch eine deutlich höhere räumliche Auflösung (1-100 m) heterogene Oberflächenstrukturen erfassen und die Auswirkungen von kleineren Objekten (Bäume, Gebäude etc.) auf die bodennahen Luftschichten nachbilden.

**Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET):** Die Hitzebelastung auf den menschlichen Metabolismus kann über verschiedene Indizes beurteilt werden. Für die vorliegende Studie wird die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) verwendet, welche vereinfacht ausgedrückt den Einfluss der Lufttemperatur, Luftfeuchte, Sonnenstrahlung und der Windgeschwindigkeit berücksichtigt. Die PET wird für eine Höhe von 1.1m über dem Boden berechnet, was dem Masse-schwerpunkt eines Modellmenschen entspricht. In Kombination mit den anderen genannten Einflussfaktoren ist am Nachmittag mit der maximalen Hitzebelastung zu rechnen.

**Planetarische Grenzschicht:** Als planetarische Grenzschicht wird die bodennahe Luftschicht bezeichnet, welche direkt von der Rauigkeit der Oberfläche beeinflusst wird. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, der Windgeschwindigkeit und der Temperaturschichtung reicht die Mächtigkeit von wenigen 100 m nachts bis zu rund 2000 m tagsüber. Die mittlere Mächtigkeit beträgt ca. 1000 m.

**Prozessraum:** Prozessräume stellen zusammenhängende Flächen dar, welche das Untersuchungsgebiet in für Kaltluftprozesse relevante Teilgebiete unterteilen. Da sich Kaltluftströmungen unter ungestörten Bedingungen entlang des Gefälles bewegen, ist die Fliesscharakteristik in hohem Masse vergleichbar zum Oberflächenabfluss von Wasser. Da die Analogie eine ausreichend gute Annäherung bietet werden die Kaltluftprozessräume mit den topographischen

Einzugsgebieten der Schweizer Gewässer dargestellt, welche auf Basis des Wasserscheideprinzips berechnet wurden.

**Seewind:** Wind in Küstengebieten, welcher tagsüber von der Wasserfläche zum Land hin weht.

**Strömungsfeld:** Aus der Windgeschwindigkeit und Windrichtung errechnet. Stromlinien zeigen die Fliessrichtung, welcher ein Luftpaket im statischen Windfeld folgen würde.

**Nächtliche Überwärmung:** Differenz der Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund zwischen einer Siedlungsfläche und einer Frei- oder Grünfläche auf derselben Höhenstufe.

**Wirkungsraum:** Bebauter Raum oder Bauzone im Siedlungsraum (Wohn-, Gewerbe- oder Industrieflächen).

## 3 Methoden

### 3.1 Modellgestützte Klimamodellierung

Die Schweiz verfügt über ein dichtes Netz an meteorologischen Messstationen der MeteoSchweiz und von privaten Anbietern, welche relevante Daten zu Wetter und Klima aufzeichnen, wodurch auf regionaler Ebene ein umfassendes Bild der aktuellen und vergangenen meteorologischen Bedingungen gezeichnet werden kann. Viele Klimaparameter, wie die Lufttemperatur oder die Windgeschwindigkeit, sind räumlich jedoch hoch variabel und es bilden sich abhängig von den lokalen Standorteigenschaften Mikroklimata aus, welche sich von den mittleren regionalen Eigenschaften deutlich unterscheiden können. Die Komplexität der vorhandenen mikroklimatischen Räume hängt dabei sehr stark von der Heterogenität der Landschaft ab. So können sich beispielsweise in einem Wald, auf einer angrenzenden Wiese oder einem nahegelegenen See durch die Beschattung von Bäumen, der direkten Sonneneinstrahlung auf einer offenen Wiesenfläche oder der Verdunstungswirkung einer Wasserfläche auf kleinem Raum unterschiedliche Mikroklimata ausbilden, welche nur über eine lokale Messung am jeweiligen Standort charakterisiert werden können. Diesbezüglich stellen insbesondere Siedlungsgebiete hochkomplexe Klimaräume dar, in welchen sich unterschiedliche Landnutzungen (Vegetation, Asphalt, Gebäude, Wasser etc.) auf kleinstem Raum stetig abwechseln. Eine Möglichkeit um das Stadtklima in seiner Vielfalt zu erfassen bieten engmaschige Stadtklimamessnetze, welche z.B. die Lufttemperatur innerhalb der Stadt in einer höheren Auflösung monitoren als dies regionale Messnetzwerke erlauben. Ein flächendeckendes Bild der Umweltparameter lässt sich jedoch nur über modellgestützte Ansätze erreichen. Es existieren einfache geostatistische Modelle, welche über statistische Zusammenhänge vorhandene Punktdaten auf die Fläche interpolieren, und es gibt komplexere Mikroklimamodelle, welche die physikalischen Prozesse direkt abbilden und die entsprechenden Klimaparameter flächendeckend berechnen.

#### 3.1.1 Stadtklimamodell PALM-4U

Meteotest modelliert Hitzesituationen mit dem Modell PALM-4U<sup>1</sup>, welches speziell für die Stadthitzeproblematik entwickelt wurde. Das Modell erlaubt hoch aufgelöste Modellierungen für das heutige Klima und aktuelle Ereignisse, wie auch für zukünftig geplante Situationen und Klimata. Das modular aufgebaute Modell (vgl. Abbildung 1) erlaubt es, dreidimensionale Oberflächenstrukturen (Gebäude, Vegetation, Gelände) und Oberflächeneigenschaften (Oberflächennutzung, Materialien) abzubilden und die Prozesse und Wechselwirkungen der Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Lithosphäre zu simulieren.

---

<sup>1</sup> <https://palm.muk.uni-hannover.de>

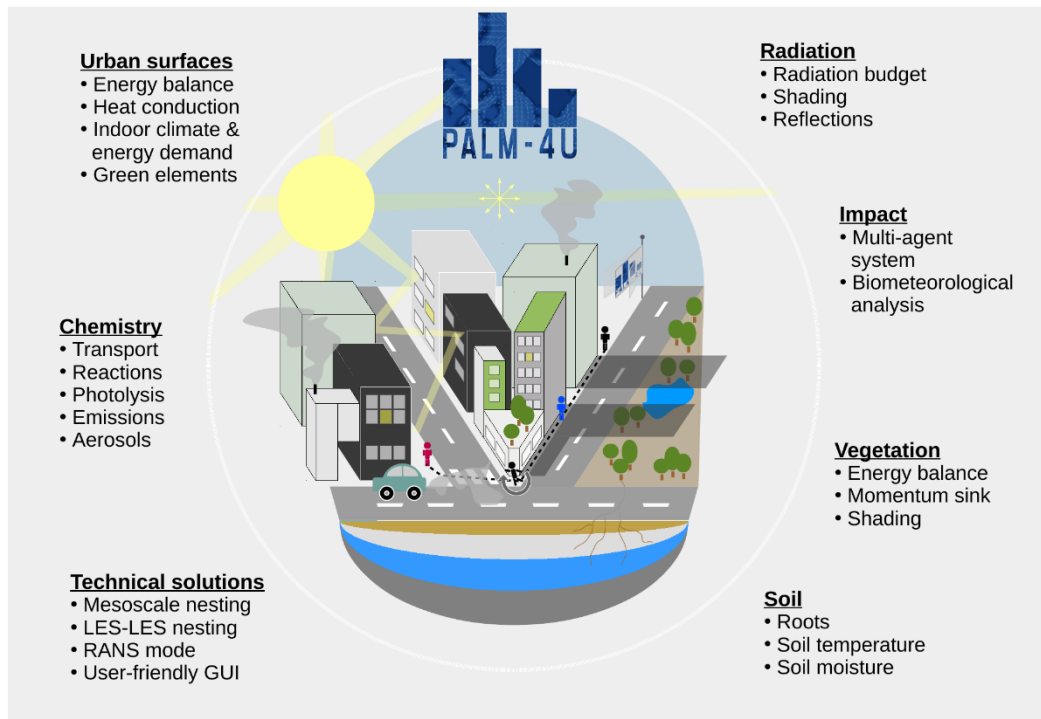


Abbildung 1: Schematische Übersicht der Modellkomponenten des Stadtklimamodells PALM-4U.

Die Abbildung des Umweltsystems im Modell als auch die Berechnungen erfolgen auf einem dreidimensionalen Raster. Die horizontale und vertikale Rasterzellengröße wird so gewählt, dass die lokalen Oberflächeneigenschaften und die für die Wechselwirkungen mit der Atmosphäre verantwortlichen Prozesse aufgelöst werden können. Je kleiner die Rasterzellen gewählt werden, desto genauer können kleinskalige Prozesse berücksichtigt werden. Gleichzeitig steigen jedoch auch die dafür notwendige Rechenzeit und die Anforderungen an die zugrundeliegende Hardware. Für Stadtklimamodellierungen hat sich eine Rasterzellengröße von 10x10 m als guter Kompromiss etabliert. Die vertikale Auflösung beträgt ebenfalls 10 m, wobei bestimmte Parameter wie Lufttemperatur (2 m) oder PET (1.1 m) auf spezifischen Höhen abgeleitet werden. Die Modellobergrenze wird für das vorliegende Projekt mit 3500 m so gesetzt, dass die turbulenten Prozesse der atmosphärischen Grenzschicht in ihrer vertikalen Ausdehnung Platz finden.

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes des Projektes wurden insgesamt 27 Kacheln mit einer Größe von 17x20 km und einer Überlappung von 2 km definiert. Für jede Kachel wurde eine separate Modellierung mit den identischen Ausgangsbedingungen durchgeführt und die Ergebnisse wurden am Ende vereint. Durch die Überlappung ist eine Zusammenführung der einzelnen Kacheln ohne Diskontinuitäten möglich. In Abbildung 2 ist die Aufteilung des Untersuchungsgebietes dargestellt.

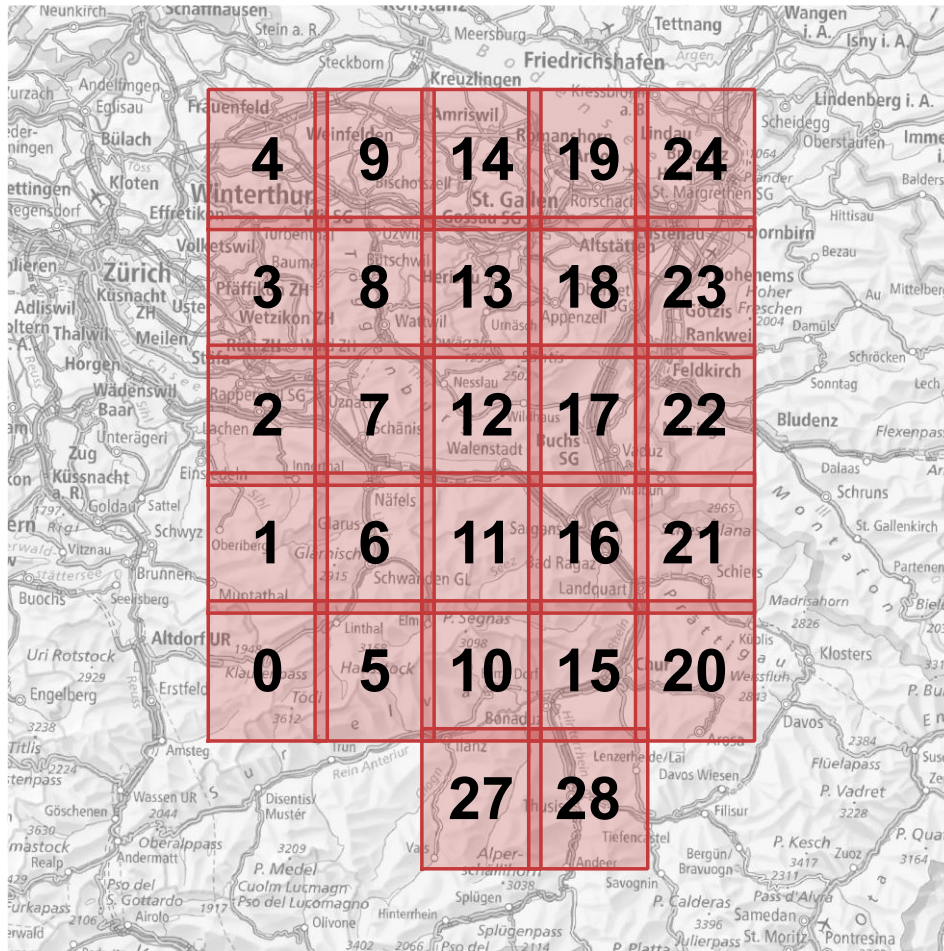


Abbildung 2: Aufteilung des Untersuchungsgebietes in 27 Kacheln.

### 3.1.2 Dynamischer Antrieb

Als dynamischer Antrieb wird für das Modell das Wettermodell COSMO-1 der MeteoSchweiz verwendet. Dies bedeutet, dass aus den Daten des Wettermodells der meteorologische Ausgangszustand für den gewählten Zeitpunkt berechnet wird. Da das COSMO-1 Wettermodell die gesamte Schweiz und das grenznahe Ausland abbildet, kann das Modellgebiet auf diese Weise in das überregionale Wettergeschehen eingebettet werden.

Als meteorologisches Szenario wurde ein charakteristischer sommerlicher Hitzetag selektiert. Als Kriterien wurden die Maximal- und Minimaltemperaturen ( $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ), die Sonneneinstrahlung (GH) sowie die Niederschlagsdaten (rr) berücksichtigt:

- $T_{\min} > 18^{\circ}\text{C}$
- $T_{\max} > 28^{\circ}\text{C}$
- $\text{GH}_{\text{day,avg}} > 300 \text{ Wm}^{-2}$
- $\text{rr} < 1 \text{ mm}$

Tage, welche diese Kriterien erfüllen, werden zudem in Bezug auf die vorherrschende Grosswetterlage beurteilt. Aufgrund der Analyse von Messdaten von SwissMetNet Stationen<sup>2</sup> in der Ostschweiz sowie aus Vorarlberg und Lichtenstein wurde der 24.07.2019 als repräsentativer Modelltag ausgewählt. Für die Analyse der Hitzebelastung wird jeweils ein Zeitraum in der Nacht (03:00-04:30) sowie am Nachmittag (14:00-15:30) betrachtet. Zu diesen Zeitpunkten werden die Maximum- und Minimumtemperaturen erreicht.

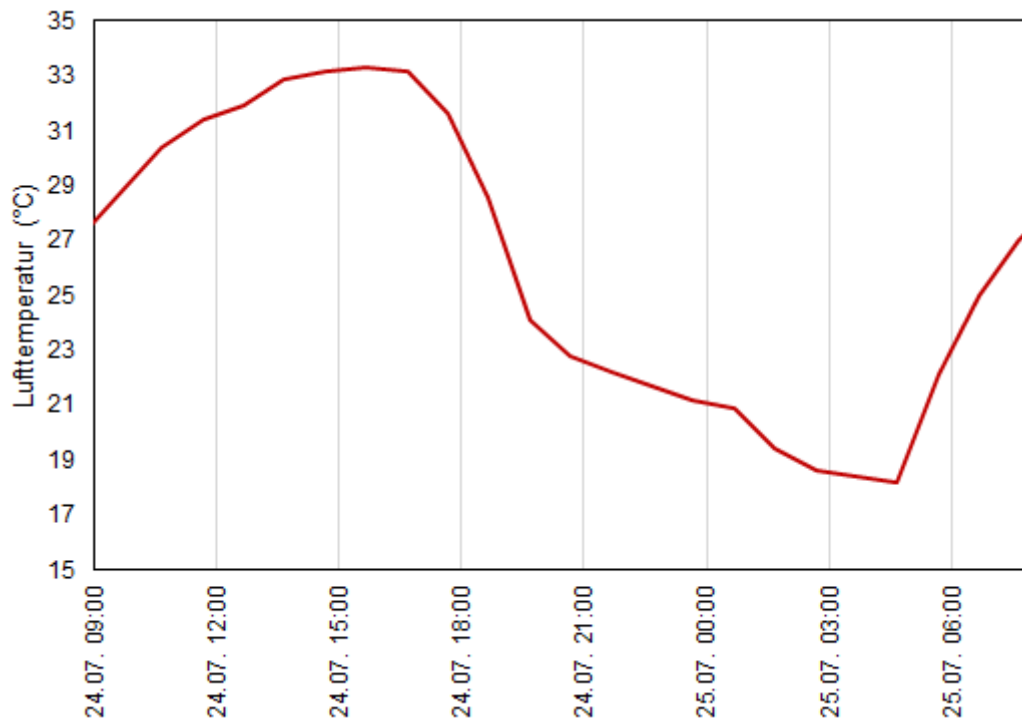


Abbildung 3: Temperaturverlauf an der Messstation Oberriet am 24.07.2019 und 25.07.2019.

Abbildung 4 zeigt die Wetterkarte am ausgewählten Modelltag. Zu erkennen ist eine Druckverteilung mit deutlichem Charakter einer Omega-Lage. Über West- und Mitteleuropa hat sich ein stabiles Hochdruckgebiet etabliert, welches östlich und westlich durch zwei Höhentiefs flankiert wird. Das zentrale Hochdruckgebiet sorgt dafür, dass die atlantischen Tiefdrucksysteme meist über Nordskandinavien um Mitteleuropa herumgeführt werden. Es wird deshalb auch von einem blockierenden Hoch gesprochen und der Verlauf der Höhenströmung entlang den Isohypsen (schwarze Linien) ähnelt dem griechischen Grossbuchstaben  $\Omega$  (Omega). Die oft über mehrere Tage anhaltende stabile Wetterlage sorgt insbesondere im Sommer für niederschlagsarme Schönwetterphasen bis hin zu Hitzewellen. Abbildung 5 zeigt die Temperaturverteilung in der Schweiz am gewählten Hitzetag. Im Mittelland, nördlich des Jura, in der Südschweiz aber auch entlang der Alpentäler wurden Maximaltemperaturen von 35°C und höher gemessen.

<sup>2</sup> St. Gallen, Bischoffzell, Ebnat-Kappel, Glarus, Vaduz, Bregenz, Dornbirn, Feldkirch

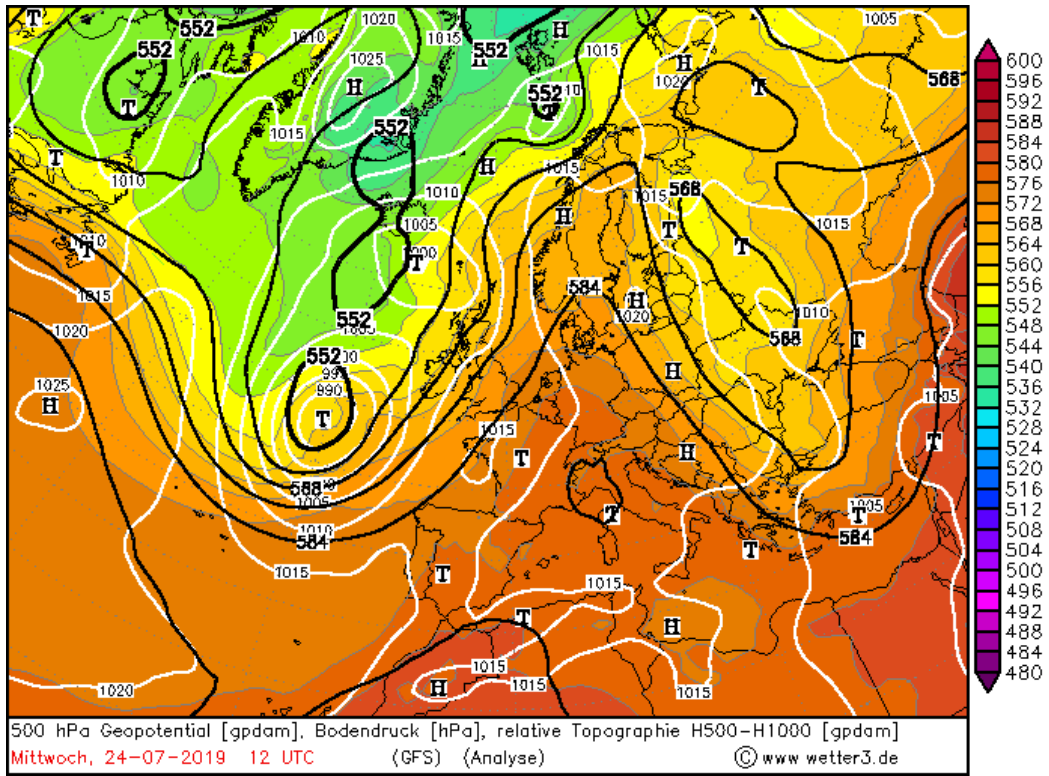


Abbildung 4: 500 hPa Geopotential (gpdm) für den 24.07.2019 um 12:00 UTC.

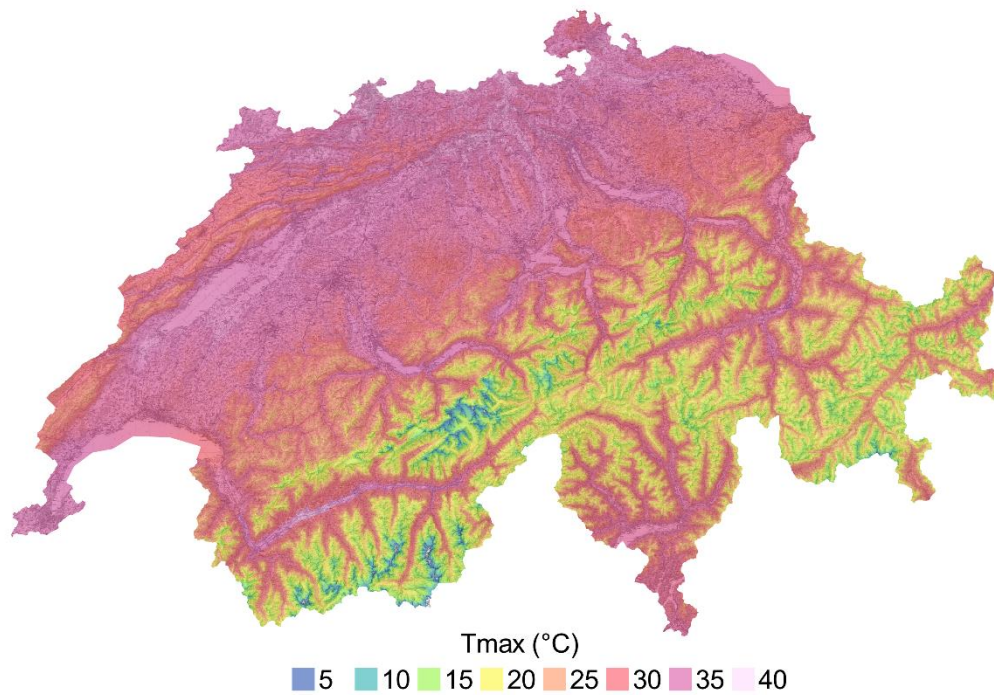


Abbildung 5: Tagesmaximaltemperatur am 24.07.2019.

### 3.1.3 Statische Inputdaten

Das Stadtklimamodell PALM-4U benötigt für die Abbildung des Untersuchungsgebietes verschiedene statische Eingangsdaten. Diese statischen Daten beschreiben die Oberfläche und deren Eigenschaften und sind im Rahmen des modellierten Ereignisses zeitlich konstant. Im vorliegenden Projekt erstreckt sich das modellierte Gebiet über die Landesgebiete der Schweiz (CH), Deutschland (D), Österreich (A) und des Fürstentum Liechtenstein (FL). Es muss deshalb aus den verschiedenen nationalen und auch kantonalen Datensätzen ein möglichst homogener zusammenhängender statischer Inputdatensatz zusammengestellt werden. Tabelle 1 zeigt auf, welche Daten verwendet wurden. Die Daten wurden hinsichtlich ihrer Auflösung, ihres Detaillierungsgrades, ihrer Projektion und ihrer Kategorien harmonisiert und mit Hilfe von Zonalstatistik in das Rasterdatenmodell von PALM überführt. Der im Modell abgebildete Zustand der Landschaft ist dabei allerdings abhängig von der Aktualität und Genauigkeit der verwendeten Datensätze.

Tabelle 1: Datenquellen der statischen Eingangsdaten

Thema PALM Datenmodell	Quelle CH	Quelle FL	Quelle A	Quelle D
<b>Gebäude (Typ und Alter) inkl. Gebäudehöhe</b>	Swisstopo swissBUILDINGS3D	Swisstopo swissBUILDINGS3D	OpenStreetMap (Grundriss), Differenzhöhenmodell 50cm (Höhe)	Copernicus build ups (10m Raster) oder OpenStreetMap
<b>Geländemodell 10m</b>	Swisstopo ALTI3D aggregiert	Swisstopo ALTI3D aggregiert	10m Lidar Daten Österreich	DHM10 Schweiz Grenzregion
<b>Geländemodell 50m</b>	Swisstopo ALTI3D aggregiert	Swisstopo ALTI3D aggregiert	10m Lidar Daten aggregiert	DHM10 Schweiz Grenzregion aggregiert
<b>Verkehr (Strassen / Bahn / versiegelte Flächen)</b>	AV Daten, Swisstopo TLM	Swisstopo TLM	Flächenwidmungsplan, Bauflächennutzung 2020, Copernicus versiegelte Flächen (10m Raster)	Copernicus versiegelte Flächen (10m Raster)
<b>Vegetation (Wiese, Wald, Einzelbäume, Moore etc.)</b>	AV Daten, Swisstopo TLM	Swisstopo TLM	Flächenwidmungsplan, Differenzhöhenmodell	Copernicus (Dominant Leaf Type oder Cover Density) (10m Raster) Copernicus small wood areas (5m)
<b>Vegetationslose Flächen (Fels, Gletscher etc.)</b>	AV Daten, Swisstopo TLM	Swisstopo TLM	LISA Daten	Copernicus Corine Landcover 25m (auffüllen Rest)
<b>Gewässer</b>	AV Daten, Swisstopo TLM	Swisstopo TLM	Flächenwidmungsplan, Bodensee, Seen (beides vogis Datensätze)	Copernicus Water & Wetness (10m Raster)

Die Modellergebnisse von PALM liegen anschliessend ebenfalls in einer Rasterzellenaufösung von 10 m vor. Dabei handelt es sich um verschiedene Klimaanalyseparameter die in Kapitel 4 eingehend erläutert werden.

### 3.2 Auswertung der Nutzungsflächen

Um qualifizierte Aussagen zu humanbiologischen Belastungen von Stadtgebieten und Bedeutungen von angrenzenden Grünflächen machen zu können, werden zusätzlich zu den direkten Modellergebnissen Synthesekarten, die sogenannten Planhinweiskarten erstellt.

Um Siedlungsflächen und Grünflächen in geeignete Zonen zusammenzufassen, welche einerseits einen ähnlichen Charakter aufweisen und einen geeigneten Detaillierungsgrad besitzen und andererseits in der Raumplanung Verwendung finden, wurden hier die Daten der Grundnutzungen der Kantone für Analysen der Schweizer Gebiete und die Flächenwidmungspläne auf Österreichischen Gebiet herangezogen. Verfeinert wurden diese Grundnutzungen, wo vorhanden, durch Raum+ Daten und durch Bauflächennutzungsdaten (Tabelle 2).

Tabelle 2: Datenquellen für die Planhinweiskarten

Aggregationsdaten für Planhinweiskarten	Quelle CH	Quelle A
<b>Nutzungsfläche / Grundnutzung / Nutzungsplan / Zonenplan</b>	Grundnutzungsdaten (Kantonaler Datenbezug) Raum+ Daten (Kantonaler Datenbezug)	Flächenwidmungsplan Bauflächennutzung 2020

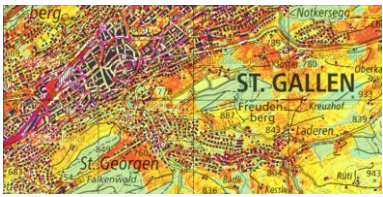


Mit Hilfe statistischer Auswertungen der räumlichen Funktionszusammenhänge der verschiedenen Klimaparameter am Tag und in der Nacht, wurden für die Analysegebiete abstrahierte Darstellungen auf Basis der Nutzungspolygone erstellt (siehe Kapitel 5).

## 4 Klimaanalysekarten

Die Klimaanalysekarten stellen verschiedene Klimaparameter (Tabelle 3) kartografisch dar. Die Klimaparameter sind dabei entweder das direkte Ergebnis der Modellierung oder wurden aus Modellergebnissen abgeleitet. Die dargestellten Parameter sind physische Grössen, welche grundsätzlich im Feld messbar sind und keine Beurteilung oder Gewichtung erfahren. Die PET stellt in diesem Zusammenhang in gewisser Masse eine Ausnahme dar, da der errechnete Wert zwar auf messbaren Grössen basiert, jedoch lediglich über eine Modellberechnung abgeleitet werden kann. Anhand der Klimaanalysekarten lassen sich die für die Hitzethematik relevanten Klimaparameter und Prozesse nachvollziehen.

Auf den Klimaanalysekarten der Tag- und Nachtsituation werden nicht dieselben Parameter dargestellt, da abhängig von der Tageszeit unterschiedliche Einflussfaktoren für die klimarelevanten Prozesse verantwortlich sind. In Tabelle 3 sind die auf den Klimaanalysekarten dargestellten Parameter aufgeführt. Die einzelnen Parameter werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

Tabelle 3: Klimaparameter der Klimaanalysekarten Tag (14 Uhr) und Nacht (04 Uhr)

Zeitpunkt	Parameter	Beschreibung
14 Uhr	Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) [°C] 	Wärmebelastungsindex basierend auf Lufttemperatur, Strahlung, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchte berechnet auf 1.1 m über Grund.
04 Uhr	Lufttemperatur [°C] 	Lufttemperatur in 2 m über Grund
04 Uhr	Nächtliche Überwärmung [°C] 	Temperaturunterschied der Siedlungsflächen gegenüber der umliegenden Freiflächen auf derselben Höhenstufe. Wird auch als Wärmeinseleffekt bezeichnet.

Zeitpunkt	Parameter	Beschreibung
04 Uhr	Kaltluftvolumenstromdichte [m <sup>3</sup> /m s]	Kaltluftmenge in m <sup>3</sup> , welche pro Sekunde durch einen 1m breiten Streifen zwischen Erdoberfläche und angenommener Obergrenze der Kaltluftschicht fließt.
04 Uhr	Kaltflutleitbahn	Kaltluftströmungen, welche kaltluftführende Freiflächen und Siedlungsgebiete verbinden
04 Uhr	Strömungsfeld	Das Strömungsfeld stellt die aus Windgeschwindigkeit und Windrichtung abgeleiteten Stromlinien dar.
04 Uhr	Kaltluftentstehungsgebiet	Freiflächen mit überdurchschnittlicher Kaltluftproduktion
04 Uhr	Kaltlufteinwirkungsbereich	Siedlungsflächen mit überdurchschnittlichem Kaltluftvolumenstrom





## 4.1 Tagsituation

Die maximale Wärmebelastung an charakteristischen Hitzetagen tritt zwischen 14:00 Uhr und 15:00 Uhr auf. Zu diesem Zeitpunkt steht die Lufttemperatur kurz vor dem Tagesmaximum und die Sonneneinstrahlung ist nach wie vor sehr intensiv, woraus eine für den menschlichen Körper thermisch sehr ungünstige Situation resultiert.

Die **Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)** kombiniert als Hitzeindex die Effekte aus der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit

und der Sonneneinstrahlung auf den Energiehaushalt eines menschlichen Körpers. Die PET wird in °C angegeben und kann als eine gefühlte Temperatur verstanden werden. Der PET-Wert fasst die thermischen Effekte der zuvor genannten Einflussfaktoren zusammen und gibt eine für die vorherrschende thermische Situation äquivalente Temperatur an, d.h. ein Temperaturwert, welcher ohne den Einfluss der Sonneneinstrahlung, des Windes oder der Luftfeuchte in einer vergleichbaren thermischen Belastung resultieren würde. In Tabelle 4 sind die im vorliegenden Projekt verwendeten Klassen für die Physiologisch Äquivalente Temperatur aufgelistet. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel der Kartendarstellung.

Tabelle 4: Klassierung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur.

PET [°C]	Wärmewahrnehmung	Physiologische Belastung
 0 - 14  14 - 20	kühl	Keine Wärmebelastung (Kältebelastung)
 20 - 22  22 - 23	komfortabel	Keine Wärmebelastung
 23 - 24  24 - 25  25 - 27	leicht warm	Schwache Wärmebelastung
 27 - 33  33 - 35	warm	Mässige Wärmebelastung
 35 - 37  37 - 38  38 - 39  39 - 40  40 - 41	heiss	Starke Wärmebelastung
 41 - 44  44 - 45  45 - 46  46 - 51  51 - 56  56 - 60	sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

Der grösste Einflussfaktor auf die PET tagsüber stellt in den meisten Fällen die direkte Sonneneinstrahlung dar. Gerade in Siedlungsgebieten können deshalb trotz grossflächig relativ homogener Lufttemperaturen aufgrund der sich stark wechselnden Beschattungssituation auf kleinem Raum deutlich variierende thermische Belastungssituationen auftreten.

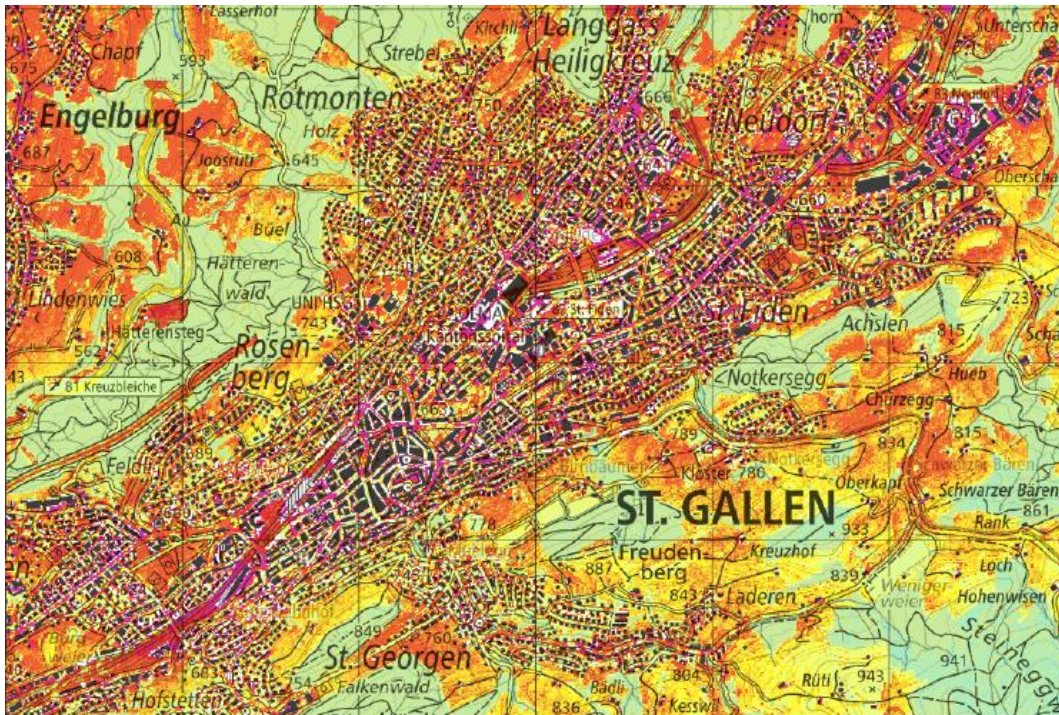


Abbildung 6: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Tagsituation mit Darstellung der PET.

## 4.2 Nachtsituation

Durch die fehlende Sonneneinstrahlung reduziert sich die Hitzebelastung nach Sonnenuntergang sehr deutlich und das Wärmeempfinden wird massgeblich durch die vorherrschenden Lufttemperaturen, die Luftfeuchtigkeit sowie die Windgeschwindigkeit beeinflusst. Die Wärmeabstrahlung von erhitzten Oberflächen kann jedoch auch noch mehrere Stunden nach Sonnenuntergang für anhaltend hohe Lufttemperaturen und damit einhergehende unbehagliche Wärmesituationen sorgen. Für eine effiziente Auskühlung in der Nacht ist es deshalb von entscheidender Bedeutung, dass ein Luftaustausch stattfindet und die Wärmebelastung durch kühlere Luft aus dem Umland reduziert werden kann.

Das **nächtliche Temperaturfeld** zeigt die absolute Lufttemperatur in 2 m über Boden und kann helfen wärmebelastete Orte auszuweisen (Abbildung 9). Die Lufttemperatur zeigt jedoch vor allem aufgrund adiabatischer Effekte eine starke Höhenabhängigkeit und kann insbesondere in Tallagen aufgrund nächtlicher Inversionen schwierig zu interpretieren sein. Abbildung 7 zeigt die gemessenen nächtlichen Lufttemperaturen an MeteoSchweiz Stationen innerhalb des Modellperimeters in Abhängigkeit der jeweiligen Stationshöhe.

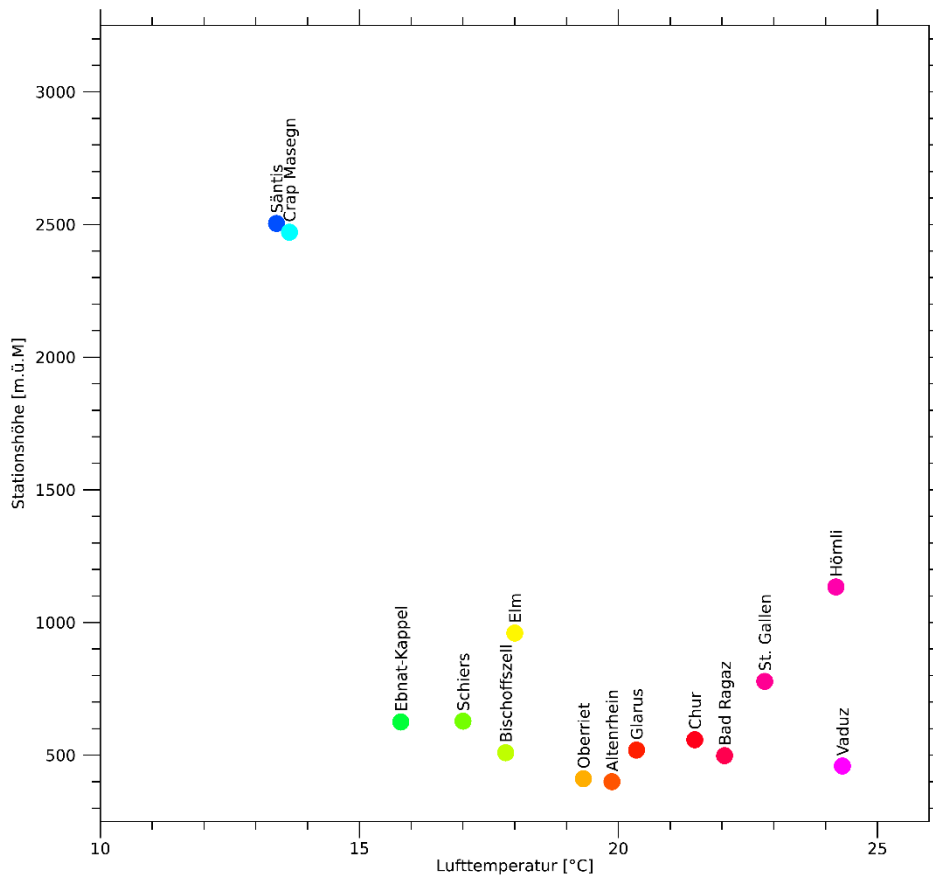


Abbildung 7: Nächtliche Lufttemperaturen an MeteoSchweiz Stationen innerhalb des Modellperimeters am gewählten Hitzetag.

Grundsätzlich zeigt die Lufttemperatur in der Atmosphäre eine Abnahme mit der Höhe. Innerhalb der planetarischen Grenzschicht stellt sich nachts aufgrund der Auskühlung der Oberfläche eine stabile Temperaturschichtung ein, d.h. die Lufttemperatur nimmt mit der Höhe in den untersten 10-100 m zu und erst mit zunehmender Höhe wieder ab. Abbildung 8 zeigt zur Illustration die aus den Modellergebnissen extrahierten vertikalen Temperaturprofile über St. Gallen und dem nahegelegenen Hügel «Bernegg». Die Profile zeigen, dass der rund 130 m höher gelegene Standort auf dem Bernegg bodennah höhere Lufttemperaturen aufweist als der Standort in St. Gallen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich über dem Bernegg aufgrund der kleinen Ausmasse keine eigene Grenzschicht ausbildet, sondern sich der Hügel vertikal in die sich über dem Grossraum St. Gallen ausgebildete Grenzschicht hinein erhebt und damit im Bereich höherer Lufttemperaturen befindet.

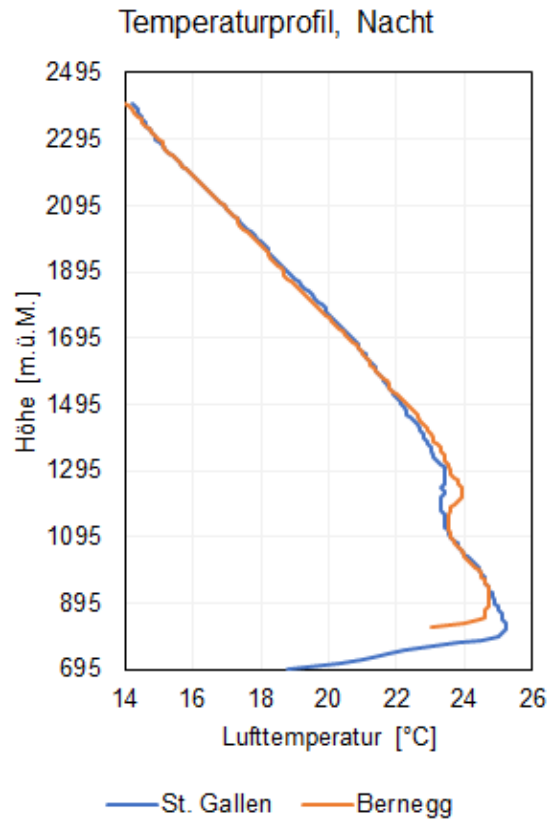


Abbildung 8: Nächtliches Temperaturprofil in St. Gallen und dem Bernegg aus den Modellergebnissen.

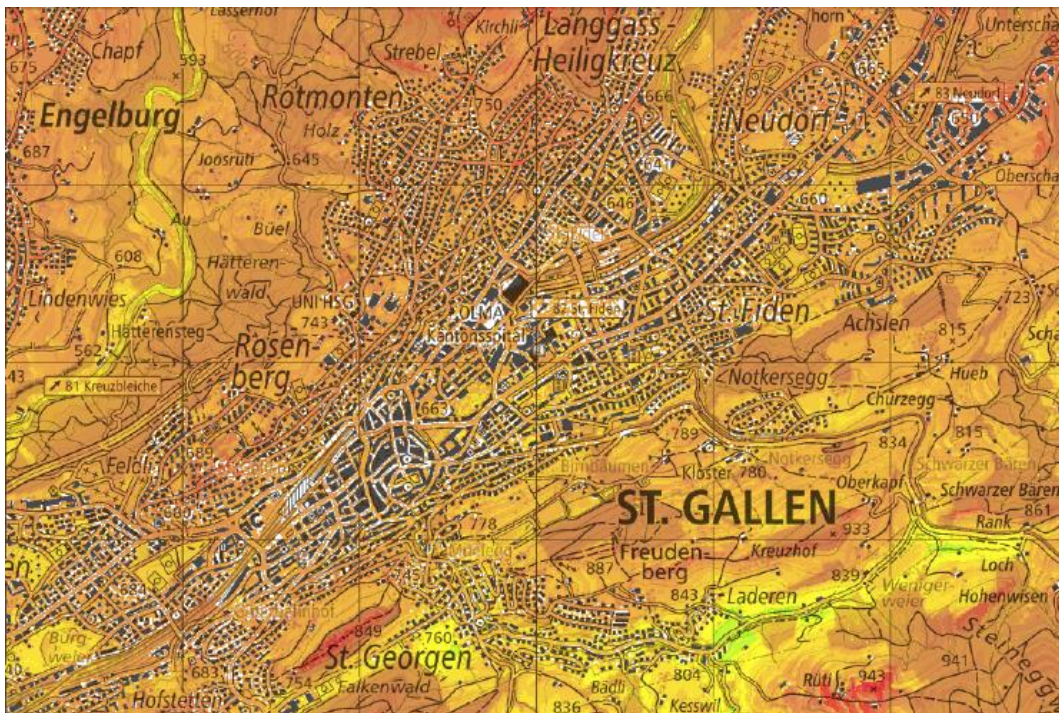


Abbildung 9: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Nachtsituation mit Darstellung der Lufttemperatur.

Zur Charakterisierung des nächtlichen Auskühlungspotentials ist die **nächtliche Überwärmung** ein geeignetes Mass und gibt die im Siedlungsraum vorherrschende Überwärmung relativ zum Umland an (Abbildung 11). Aufgrund der Höhenabhängigkeit der Lufttemperatur wird die Temperaturdifferenz zwischen Siedlungsfläche und Umland jeweils für dieselben Höhenstufen berechnet, d.h. es wird betrachtet, wieviel wärmer eine bestimmte Siedlungsfläche im Vergleich zu einer umliegenden Freifläche auf derselben Höhe über Meer ist. Die Vergleichsbetrachtung wird dabei auf einen Umkreis von 5 km (5 km Radius) beschränkt, um den Vergleich durch regionale Unterschiede nicht zu verfälschen.

Während die Betrachtung der Lufttemperatur bzw. der Überwärmung Aufschluss über die lokale Wärmebelastung gibt, können mit Hilfe des **Strömungsfeldes** die für die Auskühlung notwendigen und relevanten Kaltluftprozesse dargestellt werden (Abbildung 10). Bei minimaler synoptischer Beeinflussung des Windfeldes entwickeln sich in der Nacht Kaltluftabflüsse, da sich die kühlere Luft aufgrund der höheren Dichte entlang des Gefälles abwärts bewegt. Die so entstehenden Kaltluftströmungen erreichen häufig nur sehr geringe Windgeschwindigkeiten (< 3 m/s) und eine geringe vertikale Mächtigkeit (10-20 m). Als Ausnahmen können die starken Bergwinde aus Alpentälern betrachtet werden, wobei auch höhere Windgeschwindigkeiten und vertikale Mächtigkeiten beobachtbar sind.

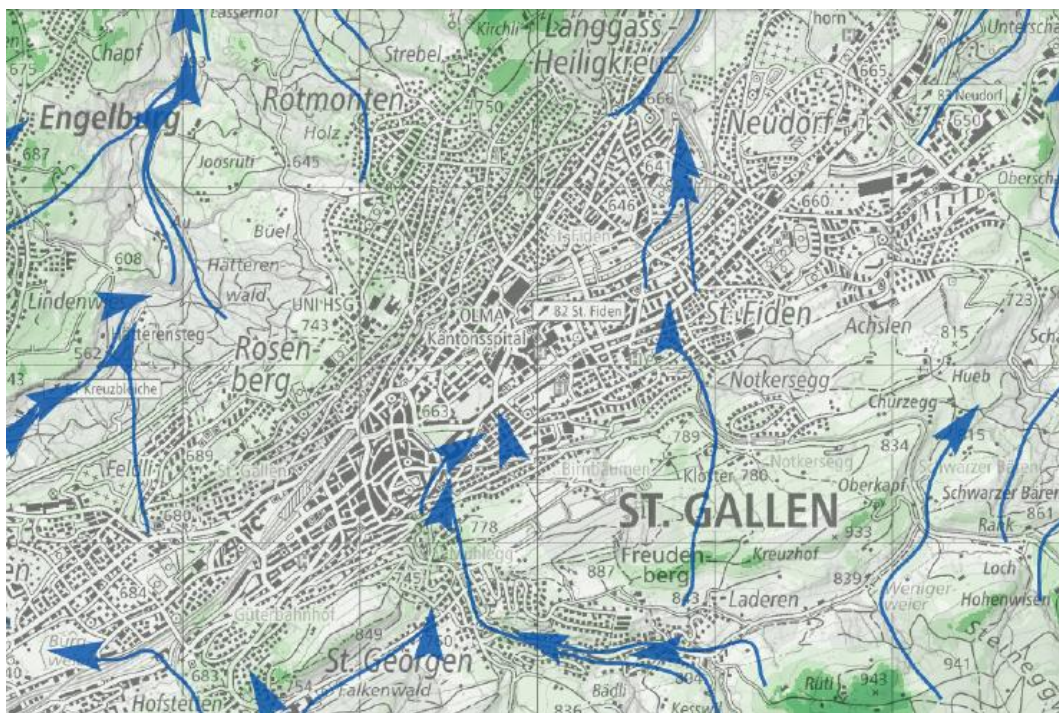


Abbildung 10: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Nachtsituation mit Darstellung des Strömungsfeldes und der Kaltluftvolumenstromdichte.

Die Leistung von Kaltluftabflüssen wird durch die **Kaltluftvolumenstromdichte** angegeben (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 11). Mit dieser Grösse wird diejenige Kaltluftmenge in  $\text{m}^3$  beschrieben, welche pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen fliesst. Bestimmend sind damit einerseits die Windgeschwindigkeit

und andererseits die vertikale Mächtigkeit der Strömung. Die Obergrenze einer Kaltluftströmung lässt sich nicht immer eindeutig bestimmen, weshalb oftmals Volumenströme über fix definierte Mächtigkeiten betrachtet werden oder eine maximale vertikale Ausdehnung angenommen wird. In der vorliegenden Analyse wird die maximale Mächtigkeit auf 50 m limitiert, um den lokalen, bodennahen Strömungen gegenüber grösserskaligen Talwinden mehr Gewicht zu geben. Es wird jedoch angenommen, dass sich in der windschwachen Sommernacht lediglich lokale Windsysteme ausbilden, welche nicht durch die übergeordnete Wetterlage induziert wurden. Dabei findet keine Unterscheidung zwischen lokalen Kaltluftabflüssen aus kleineren Seitentälern oder Hängen und (über-)regionalen Windsystemen wie Bergwinden (Alpines Pumpen) statt, da in beiden Fällen ein durch bodennahe Auskühlungsprozesse ausgelöster Wind zugrunde liegt.

Aufgrund der häufig sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten von Kaltluftströmungen können bereits kleinere Strömungshindernisse wie Hecken, Mauern oder Häuser den Kaltluftstrom ablenken oder zum Erliegen bringen. In Siedlungsgebieten ist ein tiefes Eindringen von Kaltluftströmen aufgrund der hohen Oberflächen Rauigkeit deshalb in den meisten Fällen erschwert und höchstens entlang von grösseren Strassenzügen oder Grünkorridoren mit niedriger Vegetation möglich. Die von Kaltluftströmungen erreichten Siedlungsbereiche liegen aus diesen Gründen vornehmlich an den Siedlungsrändern und werden über einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom als **Kaltlufteinwirkbereiche** ausgewiesen.

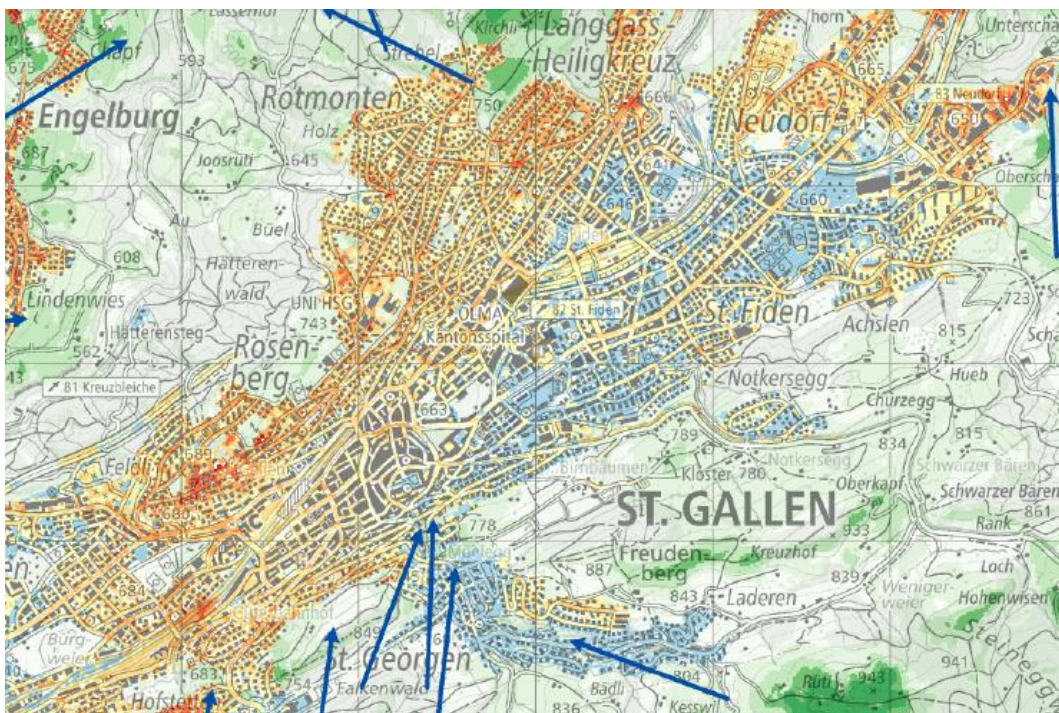


Abbildung 11: Ausschnitt der Klimaanalysekarte der Nachtsituation mit Darstellung der nächtlichen Überwärmung, der Kaltluftvolumenstromdichte und den Kaltluftleitbahnen.

Für die Entstehung von Kaltluftströmungen ist eine effiziente Auskühlung von Oberflächen notwendig. Insbesondere die Oberflächen von Freiflächen können nachts über die Wärmeabstrahlung effizient Energie abgeben und gegenüber der darüberliegenden Luft auskühlen. Die dadurch entstehende Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Atmosphäre wird einerseits durch die im Untergrund gespeicherte Energie und andererseits durch Energieentzug aus der bodennahen Luftschicht ausgeglichen. **Kaltluftentstehungsgebiete** lassen sich deshalb über einen überdurchschnittlichen, zur Oberfläche hin gerichteten sensiblen Wärmestrom charakterisieren.

Als **Kaltluftleitbahnen** werden Kaltluftströmungen bezeichnet, welche in der Lage sind, Siedlungsgebiete in ausreichendem Masse mit Kaltluft zu versorgen (Abbildung 11). Das bedeutet kaltluftführende Freiflächen sind durch die Kaltluftleitbahnen mit Siedlungsräumen verbunden, woraus sich Kaltlufteinwirkbereiche im Siedlungsraum ergeben.

## 5 Planhinweiskarten

Auf den Planhinweiskarten werden Siedlungs- und Verkehrsflächen – sogenannte "Wirkungsräume" – als auch Grün- und Freiflächen – sogenannte "Ausgleichsräume" (vgl. Datengrundlage Kapitel 3.2) in Bezug auf die vorherrschende Hitzebelastung im Siedlungsraum bzw. den geoökologischen Wert der Grünflächen für die Siedlungsgebiete bewertet. Die Beurteilung der Flächen erfolgt vollständig auf der Auswertung von modellierten Klimaparametern und es fließen keine Informationen aus anderweitigen Fachplanungen in die Bewertung mit ein. Dies bedeutet, dass die dargestellten Klassierungen den Handlungsbedarf im Siedlungsraum oder die Schutzwürdigkeit von Grünflächen lediglich aus klimatologischer Sicht beschreiben und im Widerspruch mit raumplanerischen oder gesetzlichen Rahmenbedingungen stehen können. Die Bewertung der Wirkungsräume und der Ausgleichsflächen erfolgt jeweils in 5 Klassen, welche in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert werden. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die auf den Planhinweiskarten dargestellten Beurteilungsklassen. Zur Unterstützung sind auf den Planhinweiskarten zusätzlich Klimaparameter dargestellt, welche im entsprechenden Kapitel näher beschrieben werden. In den nachfolgenden Abschnitten werden für die einzelnen Beurteilungsklassen mögliche planerische Massnahmen verbalisiert. Es handelt sich dabei um generelle Massnahmen zur Verbesserung der Hitzesituation. Die Ausarbeitung spezifischer Massnahmen muss im Einzelfall unter Einbezug der Klimaanalysekarten erfolgen.






Tabelle 5: Auf den Planhinweiskarten dargestellten Bewertungen von Siedlungs- und Freiflächen.

Zeitpunkt	Parameter	Beschreibung
14 Uhr	Wärmebelastung auf Siedlungs- und Verkehrsflächen	Klassierung der Hitzebelastung basierend auf der Physiologisch Äquivalenten Temperatur
14 Uhr	Aufenthaltsqualität und Erreichbarkeit der Grün- und Freiflächen	Klassierung der Aufenthaltsqualität basierend auf der Physiologisch Äquivalenten Temperatur sowie Bewertung der Erreichbarkeit aufgrund der Entfernung zum Siedlungsraum.
04 Uhr	Nächtliche Überwärmung auf Siedlungs- und Verkehrsflächen	Klassierung der nächtlichen Überwärmung basierend auf der Temperaturdifferenz zwischen dem Siedlungsgebiet und den angrenzenden Freiflächen auf derselben Höhenstufe.
04 Uhr	Bedeutung der Grün- und Freiflächen für das nächtliche Stadtklima	Klassierung der Grün- und Freiflächen basierend auf ihre Bedeutung für Kaltluftprozesse und die Nähe zu thermisch belasteten Gebieten im Siedlungsraum.

## 5.1 Tagsituation






In der Tagsituation erfolgt eine Einschätzung der Hitzebelastung im Siedlungsraum anhand der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET). Die Einteilung erfolgt dabei gemäss Tabelle 6 in fünf Klassen.

Tabelle 6: Einteilung der Wirkungsräume in 5 Klassen basierend auf der PET.

Klasse	Beschreibung
5 	Sehr günstige humanbioklimatische Bedingungen
4 	Günstige humanbioklimatische Bedingungen
3 	Mittel günstige humanbioklimatische Bedingungen
2 	Ungünstige humanbioklimatische Bedingungen
1 	Sehr ungünstige humanbioklimatische Bedingungen

Die Einschätzung der Ausgleichsräume basiert auf einer Grundeinschätzung der Aufenthaltsqualität, welche ebenfalls aus der PET abgeleitet wird. Ausgleichsräume werden in ihrer Klimafunktion zusätzlich höher bewertet, wenn eine ausreichende Nähe zu belasteten Siedlungsgebieten besteht. Eine ausreichende Nähe wird in diesem Zusammenhang über eine definierte Fussläufigkeit bestimmt, wobei in der Analyse eine höhenkorrigierte Distanz von 500 m verwendet wurde.

Tabelle 7: Einteilung der Ausgleichsräume in 5 Klassen basierend auf der PET und der Nähe zu belasteten Wirkungsräumen.

Klasse	Beschreibung
5 	Sehr hohe humanbioklimatische Bedeutung
4 	Hohe humanbioklimatische Bedeutung
3 	Mittel günstige humanbioklimatische Bedeutung
2 	Geringe humanbioklimatische Bedeutung
1 	Schwache humanbioklimatische Bedeutung

Nachfolgend werden die einzelnen Klassen und ihre Bedeutung für die Planung näher beschrieben. Abbildung 12 zeigt ein Beispiel der Kartendarstellung.

### 5.1.1 Siedlungs- und Verkehrsflächen – Wirkungsräume

#### **Sehr günstige humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen humanbioklimatisch sehr günstige Bedingungen vor. Die vorherrschende Siedlungsstruktur mit ggfs. hohem Grünanteil mit Beschattungswirkung ist zu erhalten. Es sind keine zusätzlichen Massnahmen erforderlich.

### **Günstige humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen humanbioklimatisch günstige Bedingungen vor. Die vorherrschende Siedlungsstruktur mit ausreichendem Grünanteil mit Beschattungswirkung ist zu erhalten. Es sind keine zusätzlichen Massnahmen erforderlich.

### **Mittel günstige humanbioklimatische Bedingungen**

Auf den ausgewiesenen Flächen können thermisch belastende Bedingungen auftreten. Existierende Grünanteile mit Beschattungswirkung gilt es zu erhalten und zusätzliche Massnahmen zur Hitzereduzierung können sinnvoll sein.

### **Ungünstige humanbioklimatische Bedingungen**

Die vorherrschenden thermischen Bedingungen sind in weiten Teilen belastend. Die lokale Situation erfordert Massnahmen zur Erweiterung der Grünflächen mit Beschattungswirkung und zur Reduktion der versiegelten Flächen. Die Erreichbarkeit von nahegelegenen Ausgleichsräumen muss erhalten bzw. verbessert werden. Die Planung von zusätzlichen Ausgleichsräumen ist sinnvoll.

### **Sehr ungünstige humanbioklimatische Bedingungen**

Die vorherrschenden thermischen Bedingungen sind in hohem Masse belastend. Die lokale Situation erfordert zwingende Massnahmen zur Erweiterung der Grünflächen mit Beschattungswirkung und zur Reduktion der versiegelten Flächen. Die Erreichbarkeit von nahegelegenen Ausgleichsräumen muss erhalten bzw. verbessert werden. Die Planung von zusätzlichen Ausgleichsräumen ist angezeigt.

## **5.1.2 Grün- und Freiflächen - Ausgleichsräume**

### **Sehr hohe humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünflächen bieten eine sehr günstige Aufenthaltsqualität und liegen in unmittelbarer Nähe zu belasteten Siedlungsräumen. Die vorhandenen Vegetationsstrukturen, die beschattende Wirkung sowie die Erreichbarkeit sind zu erhalten.

### **Hohe humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünflächen bieten eine günstige Aufenthaltsqualität und liegen in unmittelbarer Nähe zu belasteten Siedlungsräumen oder die Grünflächen bieten eine sehr günstige Aufenthaltsqualität und liegen in ausreichender Nähe zu belasteten Siedlungsräumen. Die vorhandenen Vegetationsstrukturen, die beschattende Wirkung sowie die Erreichbarkeit sind zu erhalten.

### **Mittlere humanbioklimatische Bedeutung**






Die Grünflächen weisen eine gute Aufenthaltsqualität auf und liegen in Siedlungsnähe. Die vorhandenen Vegetationsstrukturen, die beschattende Wirkung sowie die Erreichbarkeit sind zu erhalten.

Oder:

Die Grünflächen weisen eine sehr hohe Aufenthaltsqualität auf aber liegen nicht in unmittelbarer Siedlungsnähe. Die vorhandenen Vegetationsstrukturen, die beschattende Wirkung sind zu erhalten und die Erreichbarkeit sollte ggfs. durch Transportmöglichkeiten gewährleistet werden.








Tabelle 8: Einteilung der Wirkungsräume in 5 Klassen basierend auf der nächtlichen Überwärmung.

Klasse	Beschreibung
5 	Sehr günstige humanbioklimatische Bedingungen
4 	Günstige humanbioklimatische Bedingungen
3 	Mittlere humanbioklimatische Bedingungen
2 	Ungünstige humanbioklimatische Bedingungen
1 	Sehr ungünstige humanbioklimatische Bedingungen

Im Gegensatz zur Tagsituation werden die Grün- und Freiflächen nicht in Bezug auf ihre Aufenthaltsqualität beurteilt, sondern basierend auf der klimaökologischen Funktion für die Siedlungsgebiete. Es wird davon ausgegangen, dass nachts der primäre Aufenthaltsraum der Einwohner das Siedlungsgebiet ist und kein Ausweichen in die Ausgleichsräume erwartet werden kann. Zusätzlich werden in der Nachtsituation Industrie- und Gewerbezone separat markiert, da diese Orte nicht als nächtlicher Aufenthaltsort betrachtet werden. Orte mit spezieller Nutzung wie Gesundheitseinrichtungen sind davon ausgeschlossen. Die Klassierung erfolgt in beiden Fällen gemäss den Kriterien der Siedlungsflächen.

Tabelle 9: Einteilung der Grün- und Freiflächen in 5 Klassen basierend auf der klimaökologischen Funktion für die Wirkungsräume.

Klasse	Beschreibung	
5 	Sehr hohe humanbioklimatische Bedeutung	Ist Teil einer Kaltluftleitbahn und siedlungsnah (<250 m)
4 	Hohe humanbioklimatische Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teil einer Kaltluftleitbahn</li> <li>- in Nähe einer belasteten Siedlungsfläche (&lt; 250 m)</li> <li>- Waldareal innerhalb eines Siedlungsgebietes</li> <li>- im Prozessraum eines Siedlungsgebietes (&gt;0,25 km<sup>2</sup>) und Kaltluftentstehungsgebiet oder überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstrom</li> </ul>
3 	Mittlere humanbioklimatische Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Prozessraum einer Siedlungsfläche und im Umfeld (&lt; 500 m) einer belasteten Siedlungsfläche</li> <li>- An Klasse 3 oder 4 angrenzend und Kaltluftentstehungsgebiet oder überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstrom</li> </ul>
2 	Geringe humanbioklimatische Bedeutung	Im Prozessraum einer Siedlungsfläche (> 0,25 km <sup>2</sup> )
1 	Schwache humanbioklimatische Bedeutung	Ausserhalb des Prozessraumes eines Siedlungsgebietes

Nachfolgend werden die einzelnen Klassen und ihre Bedeutung für die Planung näher beschrieben. Abbildung 13 zeigt ein Beispiel der Kartendarstellung.

### 5.2.1 Siedlungs- und Verkehrsflächen – Wirkungsräume

#### **Sehr günstige humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen humanbioklimatisch sehr günstige Bedingungen mit einer geringen nächtlichen Überwärmung vor. Es sind keine zusätzlichen Massnahmen erforderlich.

#### **Günstige humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen humanbioklimatisch günstige Bedingungen mit einer leichten nächtlichen Überwärmung vor. Es sind keine zusätzlichen Massnahmen erforderlich.

#### **Mittlere humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen humanbioklimatisch mässige Bedingungen mit einer spürbaren nächtlichen Überwärmung vor. Eine zusätzliche Verdichtung und/oder Versiegelung des Raumes sollte vermieden werden und eine Verbesserung der lokalen Situation nach Möglichkeit in Betracht gezogen werden.

#### **Ungünstige humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen ungünstige vorherrschende thermische Bedingungen mit einer deutlichen nächtlichen Überwärmung vor. Eine zusätzliche Verdichtung und/oder Versiegelung des Raumes sollte vermieden werden und nach Möglichkeiten auf eine klimagerechte Bauweise geachtet werden.

#### **Sehr ungünstige humanbioklimatische Bedingungen**

Es liegen sehr ungünstige vorherrschende thermische Bedingungen mit einer hohen nächtlichen Überwärmung vor. Eine zusätzliche Verdichtung und/oder Versiegelung des Raumes sollte vermieden werden und eine klimagerechte Bauweise sollte in der Planung einen hohen Stellenwert haben.

### 5.2.2 Grün- und Freiflächen – Ausgleichsräume

#### **Sehr hohe humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünfläche ist Teil einer für das Siedlungsgebiet relevanten Kaltluftleitbahn und weist dadurch eine hohe Bedeutung für das vorherrschende Stadtklima auf. Die existierende gute Durchströmbarkeit des Gebietes muss erhalten bleiben und bei strukturellen Änderungen ist der Einfluss auf das Windfeld durch zusätzliche Strömungshindernisse zu prüfen.

#### **Hohe humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünfläche liegt im Nahbereich einer Siedlungsfläche mit sehr ungünstiger bioklimatischer Situation oder stellt ein bewaldetes Gebiet innerhalb eines Siedlungsraumes dar. Die Grünflächen gilt es bei Nutzungsänderungen nach Möglichkeit zu erhalten. Bei strukturellen Änderungen muss geprüft werden, ob die Klimafunktion durch weitere nahegelegene Grünflächen erhalten werden kann.

Grünflächen, welche innerhalb eines Kaltluftentstehungsgebietes liegen oder einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom aufweisen, wird ebenfalls eine hohe humanbioklimatische Bedeutung beigemessen. Der Erhalt der Klimafunktion muss bei strukturellen Änderungen geprüft werden.

#### **Mittlere humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünfläche liegt im Umfeld einer belasteten Siedlungsfläche oder grenzt an eine Grünfläche mit sehr hoher oder hoher Bedeutung und ist aufgrund einer hohen Kaltluftproduktion sowie einem hohen Kaltluftvolumenstrom für siedlungsrelevante Kaltflutleitbahnen funktional von Bedeutung.

#### **Geringe humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünfläche liegt im Prozessraum eines Siedlungsgebietes, grenzt jedoch nicht direkt an den Siedlungsraum. Bei strukturellen Änderungen ist der Erhalt der Klimafunktion nach Möglichkeiten zu prüfen.

#### **Schwache humanbioklimatische Bedeutung**

Die Grünfläche liegt ausserhalb der für die Siedlungsgebiete relevanten Prozessräume und bei einer strukturellen Veränderung ist von keinem unmittelbaren Einfluss auf bestehende Siedlungsgebiete auszugehen. Die Grünfläche kann für das regionale Klima dennoch bedeutsam sein. Die Einordnung bezieht sich auf die aktuell vorherrschende Verteilung der Siedlungsgebiete und muss mit zunehmender Ausdehnung der Siedlungsräume erneut geprüft werden.

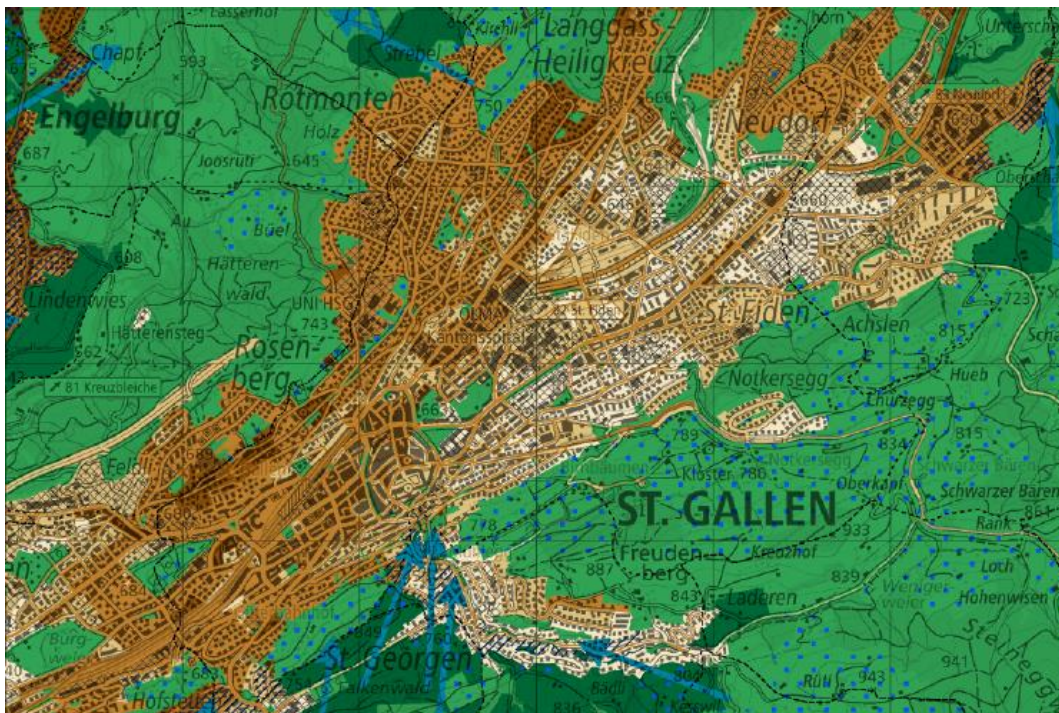


Abbildung 13: Ausschnitt der Planhinweiskarte der Nachtsituation.