stadtklima

ROSINAK & PARTNER
Ziviltechniker GmbH

Stadtklimaanalyse
Ried im Innkreis

Wien, am 23.03.2023
GZ 22909

Ried im Innkreis

GZ 22909

Auftraggeber

Stadtgemeinde Ried im Innkreis,
Oberösterreich

Auftragnehmer

Rosinak & Partner ZT GmbH
Schloßgasse 11
1050 Wien

Bearbeitung

Lisa Humer, MSc
Gloria Faltl, MSc

gegengelesen

DI Karl Schönhuber

Wien, am 23.03.2023

DI Karl Schönhuber
Geschäftsführer
Rosinak & Partner ZT GmbH

Datei: 22909_UU_Klimanalyse_Ried_im_Innkreis_230308

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung 8

2. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse 10

3. Fachliche Grundlagen 12

   3.1. Stadtklima 12

   3.2. Kaltluftprozesse 12

   3.3. Thermische Belastung 14

4. Klimatologische Messwerte 16

   4.1. Lufttemperatur 16

   4.2. Eis-, Frost-, Sommer-, Hitzetage 18

   4.3. Relative Feuchte, Niederschlag und Schneefall 20

   4.4. Sonnenscheindauer 22

   4.5. Windverhältnisse 23

   4.6. Vegetationsperiode 24

   4.7. Zukünftiges Klima Österreich - Oberösterreich 25

5. Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse 29

   5.1. Grundlagendaten 29

   5.2. Mikroklimamodell Envimet 33

   5.3. Kaltluftabflussmodell KLAM_21 34

   5.4. Modellierung Luftschadstoffe 35

6. Ergebnisse 36

   6.1. Thermische Belastung 36

   6.2. Kaltluftströmungsfeld 38

   6.3. Kaltluftvolumenstrom 39

   6.4. Luftschadstoffe 40

   6.5. Flächenversiegelung 41

   6.6. Beschattung 44

   6.7. Klimaanalysekarte 45

7. Planungshinweiskarte 48

   7.1. Vorgehensweise und Standardisierung 48

   7.2. Bewertung der Siedlungs- und Gewerbeflächen (bioklimatische Belastung) 48

   7.3. Bewertung der Grünflächen (Ausgleichsräume) 49

7.4. Hinweise zum Umgang mit der Planungshinweiskarte 52

8. Empfehlungen 53

9. Literaturverzeichnis 56

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen oder Hinzufügen einzelner Seiten bzw. Textpassagen, veröffentlicht werden. Wird er auszugsweise vervielfältigt, so ist vorab die Genehmigung des Verfassers einzuholen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:Die wichtigsten Größen der Physiologische-equivalente Temperatur (PET), vereinfacht 15
Abbildung 2: Jahresgang der mittleren und extremen Lufttemperaturen in Grad Celsius an der GeosphereaAustria Station Ried im Innkreis 17
Abbildung 3: Abweichung der Temperaturen vom langjährigen Temperaturmittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 18
Abbildung 4: Eistage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 19
Abbildung 5: Frosttage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 19
Abbildung 6: Sommertage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 20
Abbildung 7: Hitzetage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 20
Abbildung 8: Jahresgang der relativen Feuchte in Prozent an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 21
Abbildung 9: Mittlerer Jahresgang des Niederschlags (Monatssumme und max. Tagesmenge) in Millimeter an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 22
Abbildung 10: Schneefalltage an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 22
Abbildung 11: Mittlerer Jahresgang der Sonnenscheindauer in Stunden an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 23
Abbildung 12: Gemittelte Termine der Windrichtung für die Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst und Winter an der GeosphereStation Austria Ried im Innkreis 24
Abbildung 13: Mittlere Windgeschwindigkeiten in Meter pro Sekunde, sowie durchschnittle Tage mit Windstille, Beaufortstufe größer gleich 6 und 8 an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 24
Abbildung 14: Tage ab Beginn des Jahres bis zum Vegetationsbeginn an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis 25
Abbildung 15: Simulierte Änderung der Hitzetage gegenüber dem Bezugszeitraum (1971-2000). Quelle: OKS15 /10/ 27
Abbildung 16: Simulierte Temperaturänderung in Grad unter einem RCP8.5 – Szenario für das Bundesland Oberösterreich. Quelle: OKS15 /10/ 28
Abbildung 17: Flächennutzung auf Grundlage der DKM. 30
Abbildung 18: Berücksichtigte Baukörper 31
Abbildung 19_ Baumstandorte ermittel aus dem DOM des Landes Oberösterreich 32

Abbildung 20: Thermische Belastung (PET) an einem Hitzetag um 14 Uhr. (Karte ohne Maßstab, Original im Anhang) 37
Abbildung 21: Ausschnitt Kaltlufthöhe und Strömungsfeld kurz vor Sonnenaufgang. (Karteausschnitt ohne Legende und Maßstab, Original im Anhang) 38
Abbildung 22: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Windfeld kurz vor Sonnenaufgang. (Kartenausschnitt ohne Maßstab und Legende, Original im Anhang) 39
Abbildung 23: NO_2 Belastung im Jahresmittel. (Kartenausschnitt ohne Maßstab und Legende, Original im Anhang) 40
Abbildung 24: PM_{10} Belastung im Jahresmittel. (Quelle, Land OÖ. Kartenausschnitt ohne Maßstab und Legende, Original im Anhang) 41
Abbildung 25: Anteile verschiedener Oberflächenbeschaffenheiten im Rieder Stadtgebiet. 42
Abbildung 26: Grad der Versiegelung in Prozent. (Karte ohne Maßstab, Original im Anhang) 43
Abbildung 27: Natürlicher Beschattungsgrad durch Bäume in Prozent. (Karte ohne Maßstab, Original im Anhang) 44
Abbildung 28: Klimaanalysekarte. (Karte mit fehlender Legende und ohne Maßstab, Original im Anhang) 47
Abbildung 29: Planungshinweiskarte. (Karte ohne Legende und Maßstab, Original im Anhang) 51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung der PET in Bereiche unterschiedlichen thermischen Empfindens nach Matzarakis & Mayer 1996 16
Tabelle 2: Modellkonfiguration Envimet 33
Tabelle 4: Klimatope nach VDI-RL /5/ 46
Tabelle 5: Signaturen der Siedlungsgebiete in der Planungshinweiskarte nach VDI-RL /5/ und dazugehörige Planungshinweise 49
Tabelle 6: Signaturen Grünflächen in der Planungshinweiskarte nach VDI-RL /5/ und dazugehörige Planungshinweise 50

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Es steht außer Frage, dass die schnelle Veränderung des Klimas, wie sie derzeit erlebt wird, eine Folge der menschengemachten Klimaerwärmung ist. Die Emission von Treibhausgasen durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Gas führt zu einer Zunahme dieser Gase in der Atmosphäre. Diese Gase wie Wasserstoff, Kohlendioxid, Ozon, Methan und Stickstoffdioxid absorbieren in verschiedenen Frequenzbereichen die von der Erdoberfläche zurückgestrahlte, langwellige Sonnenstrahlung und verhindern damit, dass diese Strahlung ins Weltall entweicht. Seit Beginn der Industrialisierung im Jahr 1850 wurde ein globaler Temperaturanstieg von etwa 1°C (langjähriges Mittel, Stand 2018) durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe verzeichnet /1/. Auf den ersten Blick mag 1°C Erwärmung nicht viel erscheinen, jedoch sind damit gravierende klimatische Folgen verbunden. Hinzu kommt, dass dieser Grad der Erwärmung über den gesamten Globus gemittelt wurde, während es in Österreich einen Anstieg von rund 2 Grad seit der Industrialisierung gab /2/.

In der europäischen Politik wird bereits einiges unternommen, um den Klimawandel zu bekämpfen, wie zum Beispiel das neue Klimaziel für das Jahr 2030 im Rahmen des Pariser Klimaabkommens von 2015. Ziel der Union ist es, die Treibhausgasemissionen bis 2030 im Vergleich zum Basisjahr 1990 um 55 Prozent statt der bisherigen 40 Prozent zu reduzieren /3/. Neben der Reduzierung von Treibhausgasen findet auch ein Umdenken und Handeln von Städten und Stadtregionen statt. Städte sind auf zweierlei Weise in die Diskussion des Klimawandels involviert: zum einen sind sie ein Treiber des Klimawandels, da sie einen erhöhten Ausstoß an Emissionen aufgrund des vermehrten Energieverbrauchs in Städten sowie Verbrennungsprozessen bedingt durch Verkehr, Industrie und Haushalt aufweisen; zum anderen sind sie am meisten von der globalen Erwärmung betroffen.

Die Anpassung an den Klimawandel stellt für Städte und Gemeinden eine große Herausforderung dar, so auch für die Stadtgemeinde Ried im Innkreis. In der räumlichen Planung ist es wichtig, das Klima zu berücksichtigen. Es gibt jedoch viele konkurrierende Planungsziele, die einbezogen werden müssen. Daher sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Instrument, um das Klima angemessen zu bewerten und in den Planungsprozess einzubeziehen. Wenn man das vorherrschende Lokalklima einer Stadt kennt, kann man Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten, um das Klima und die Luftqualität zu verbessern. Dieser Ansatz zielt darauf ab, günstige bioklimatische Bedingungen zu erhalten und zu verbessern und die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen. Angesichts des Klimawandels und der zunehmenden sommerlichen Wärmebelastung in Siedlungsgebieten ist eine klimagerechte Stadtentwicklung von besonderer Bedeutung.

Eine fachliche Grundlage für klimaangepasste Planung bildet die vorliegende Stadtklimaanalyse für die Stadtgemeinde Ried im Innkreis. Darin werden stadtklimatische Sachverhalte analysiert, in Karten

dargestellt, bewertet und über eine daraus abgeleitete Hinweiskarte für die Planung nutzbar gemacht. Im Vordergrund stehen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen, die häufig eine überdurchschnittlich hohe Hitzebelastung und lufthygienische Belastungen mit sich bringen und damit eine besondere Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen. Entlastung für solche Bedingungen können nächtliche Kaltluftströmungen und innerstädtische Grünflächen bringen.

Um einen Überblick über die klimatische Lage der Stadtgemeinde Ried im Innkreis zu bekommen, werden wichtige Klimakennzahlen ausgewertet und dargestellt. Klimatisch planungsrelevante Belange (z.B. thermische Belastungsräume, Kaltluftleitbahnen etc.) werden herausgearbeitet und in Form von Themenkarten und einer Klimaanalysekarte dargestellt. Planungs- und Handlungsempfehlungen werden aus den Themenkarten und der Klimaanalysekarte abgeleitet. Die im Analyseprozess gewonnen Erkenntnisse werden in Form einer Planungshinweiskarte bewertet. Diese kann im Planungsprozess Verwendung finden, ohne besondere intensive Fachkenntnisse hinsichtlich lokalklimatischer Belange vorauszusetzen. Für die Arbeit mit den Ergebnissen der Analyse, insbesondere der Planungshinweiskarte, werden Empfehlungen formuliert.

Die Erstellung der Stadtklimaanalyse und die damit verbundenen und genannten Karten erfolgt nach VDI Richtlinien (insbesondere VDI-RL 3787 Blatt 1 /5/). Grundlage für die Analysen bilden das digitale Höhenmodell der Gemeinde, die Landnutzung, Luftbilder sowie die vorhandenen Baukörper. Relevante Klimadaten werden der Messstelle der GeoSphere Austria (ehemals ZAMG) „Ried im Innkreis“ entnommen.

2. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Die vorliegende Stadtklimaanalyse legt die klimaökologischen Funktionszusammenhänge im Stadtgebiet Ried im Innkreis während austauscharmer, sommerlicher Hochdruckwetterlagen dar. Im Zuge dessen werden einerseits bioklimatische belastete Siedlungsräume und andererseits entlastende Ausgleichsflächen ausgewiesen.

Mit der Planungshinweiskarte liegt eine Grundlage vor, die klimatische Aussagen auf Ebene der Flächenwidmung für die räumliche Planung ermöglicht. Im Falle einer Nutzungsänderung können Grün- und Siedlungsflächen auf ihre Empfindlichkeit hin eingeschätzt werden. Aufgrund ihrer wichtigen Funktionen im Stadtökosystem sollten Grünflächen erhalten bleiben. Falls dennoch Eingriffe wie Versiegelungen vorgesehen sind, können entsprechende Maßnahmen aus der Empfindlichkeit abgeleitet werden. Auch Siedlungsflächen sollten bei Planungen berücksichtigt werden. Die Analyse der klimaökologischen Funktionen ermöglicht eine fundierte Ersteinschätzung von Planungsvorhaben. Für detaillierte Aussagen und Untersuchungen müssen jedoch klimatisch empfindliche Bereiche geprüft werden. Räumlich hochauflösende Aussagen zu Wirkungen einzelner Gebäude und Verschattungen sind auf Basis der Bewertungskarte nicht möglich.

In Ried im Innkreis ist die Flächenversiegelung mit rund 40% im Vergleich zum österreichischen Durchschnit von 18% relativ hoch, was die Auswirkungen des Klimawandels auf das Lokalklima verstärkt. Es ist zu beachten, dass jede neue Entwicklung auf unberührtem Land zusätzliche Umweltbelastungen und Flächenverbrauch mit sich bringt. Der Flächenverbrauch hat einen "kumulativen Effekt", was bedeutet, dass nicht die Größe einer Einzelfläche ausschlaggebend ist, sondern der Effekt der Gesamtzahl von "kleinen" Flächennutzungsänderungen. Ein zentrales Ziel für die Anpassung an den Klimawandel für Ried im Innkreis sollte also die Reduktion der versiegelten Flächen darstellen. Dafür sollten Verkehrsflächen und Betriebsflächen für die Begrünung verfügbar gemacht werden. Ist die Versiegelung weiterer Flächen nicht vermeidbar, so ist diese mit einer Entsiegelung an anderer Stelle zu kompensieren.

Die Lage der Stadtgemeinde bedingt eine ungünstige Durchlüftungs- und Abkühlungssituation bei autochthonen (d.h. schwache Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen) Wetterlagen. Dies hat zu Folge, dass die nächtliche Abkühlung und der Luftaustausch zur Verminderung der Luftschadstoffbelastung geringer sind als in günstigeren Kaltluftlagen. Daher sind die Reduktion von Schadstoffen und die Schaffung von hochwertigen lokalen Ausgleichsflächen besonders zentral, um der Überhitzung und der Schadstoffbelastung auf Quartiersebene entgegenzuwirken. Hochwertige großflächige Ausgleichflächen bilden derzeit nur der Stadtpark und der Friedhof, welcher für eine Freizeitnutzung nur sehr eingeschränkt geeignet ist. Die Schaffung von Ausgleichsflächen in allen Stadtteilen ist anzustreben, sodass Bewohner:innen vor allem bei

Hitzestress überall fußläufig Zugang zu qualitativ hochwertigen Erholungsflächen mit Beschattung haben. Die Versiegelung bestehender hochwertiger Ausgleichsräume, wie beispielsweise Kaltlufteinzugsgebiete ist zu vermeiden. Diese sollten erhalten und möglichst vernetzt werden. Die wenigen Bereiche, in denen Talwinde ins Stadtgebiet eindringen, sollten von Versiegelung und Hindernissen freigehalten werden.

3. Fachliche Grundlagen

3.1. Stadtklima

Das Stadtklima ist insbesondere durch die Eigenschaften von Baustoffen bezüglich Wärmespeicherung und Reflexion von Sonnenstrahlung, durch das Fehlen von Vegetation und der Versiegelung des Bodens sowie durch die hohe aerodynamische Rauigkeit der Bebauung und der damit verbundenen geringen Windgeschwindigkeit gekennzeichnet. Da die Landnutzung und die Bebauungsstrukturen innerhalb der Stadt sehr vielfältig sind, weist das Mikroklima eine hohe räumliche Variabilität auf /9/.

Das Mikroklima ist – neben dem Einfluss durch großräumige Klimaverhältnisse – maßgeblich abhängig von der vorhandenen Oberflächenbeschaffenheit (Bebauung, Boden, Bewuchs, Beschattung, etc.). Städtische Gebiete unterscheiden sich in ihrer klimatischen Charakteristik stark von ländlichen Regionen. Die Urbanisierung führt zu einer hohen Bebauungsdichte und einer geringen Verfügbarkeit an Grünflächen. Dadurch weist die Stadt im Vergleich zu Freiflächen eine höhere Rauigkeit auf, was zu einer verringerten Windgeschwindigkeit führt. Gleichzeitig können lokale Windeffekte durch unterschiedliche Gebäudestrukturen oder Querschnittsverengungen entstehen. Versiegelte Flächen in der Stadt absorbieren kurzwellige Sonnenstrahlung und führen zu höheren bodennahen Temperaturen. Diese Bedingungen führen zum sogenannten Effekt der städtischen Wärmeinsel. Eine ausgeprägte Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland führt zu Druck- und Dichteunterschieden und einem Ausgleich der Luftbewegungen zwischen Stadt und Umland, bekannt als Flurwinde. Die Kenntnis des Stadtklimas ist von großer Bedeutung, um die Auswirkungen des Klimawandels auf städtische Gebiete besser zu verstehen und angemessene Maßnahmen zur Anpassung an diese Veränderungen zu ergreifen. Insbesondere müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel zu mildern und die Lebensqualität der städtischen Bevölkerung zu verbessern. Dazu gehören die Schaffung von Grünflächen und Parks, die Förderung des öffentlichen Verkehrs und die Reduktion von versiegelten Flächen.

3.2. Kaltluftprozesse

Als Kaltluft bezeichnet man eine Luftmasse, die kühler ist als die umgebende Luft und daher dazu neigt, sich am Boden abzusenken. Diese kalte Luft kann aus höheren Lagen stammen und wird oft von starken Winden begleitet. Kaltluft kann in der Nacht oder in den Wintermonaten besonders ausgeprägt sein und kann zu signifikanten Abkühlungen führen. Kaltluft kann auch Einfluss auf lokale Wetterbedingungen haben und beispielsweise Nebelbildung begünstigen. In der Stadtplanung und -

gestaltung kann die Berücksichtigung von Kaltluftströmen wichtig sein, um ein angenehmes und gesundes Klima für die Bewohner:innen zu schaffen.

Voraussetzung Kaltluftgeschehen

Die Voraussetzung für eine Kaltluftentstehung ist eine wolkenarme, windschwache Nacht, auch genannt Strahlungsnacht oder autochthone Wetterlage. Ideale Strahlungsbedingungen ergeben sich während Hochdruckwetterlagen, an denen die Atmosphäre trocken geschichtet ist und die Windströmung nur sehr schwach ist. Bereits kurz nach Sonnenuntergang führt die hohe Ausstrahlung der Erdoberfläche zu einer raschen Abkühlung. Ausgehend von der Bodenoberfläche bildet sich fortlaufend ein immer stärker werdender Temperaturgradient aus. In den ersten Minuten bis Stunden nach Sonnenuntergang kühlt die Temperatur sehr stark ab – im Laufe der Nacht verlangsamt sich die Abkühlungsrate wieder – die Wärmeleitung des Bodenwärmeflusses und der turbulente vertikale Wärmeaustausch aus höheren Luftschichten sind hierfür verantwortlich.

Kaltluftproduktion

Die Bildung der Kaltluft hängt neben den meteorologischen Bedingungen auch von der Topografie und von der Landnutzung ab.
Die Topografie ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Kaltluftproduktivität. Hier sind besonders die Hangab- und Bergwinde maßgebend. In der ersten Nachthälfte kühlt sich die aufliegende Luft über den Hängen sehr stark ab; die kalte Luft beginnt unter dem Einfluss der Schwerkraft Richtung Tal zu fließen. Im Laufe der Nacht hat sich die Kaltluft im Tal akkumuliert und der Talabwind (=Bergwind) greift durch. Ebenso ist die Landnutzung ein entscheidender Faktor für die Produktivität von Kaltluft. Insbesondere Freiflächen wie Wiesen und Felder mit niedriger Vegetationshöhe und geringem Reibungspotenzial haben eine hohe Kaltluftproduktionsfähigkeit. Hochwachsende Vegetation wie beispielsweise Wälder sorgen mittels einer intensiven Evapotranspiration und damit Verdunstungskälte im Kronendach. Die abgekühlte Luft über dem Kronendach sinkt ab, die absinkende Luft kann jedoch im Bereich der Baumstämme stagnieren. Daher sind ebene Wiesen die besseren Kaltluftproduzenten als Wälder, für ebene Wiesen sind in einer Strahlungsnacht Produktionsraten von 12 m^3/m^2 und Stunde möglich.

Kaltluftabfluss

Neben der Kaltluftproduktion ist der Kaltluftabfluss ein wichtiger Bestandteil in der Untersuchung des Kaltluftgeschehens. Damit eine Kaltluftsäule zum Fließen beginnt, muss die Geländeneigung zumindest 1 bis 2 Grad betragen. Ebenfalls sollte die Rauigkeit des Untergrundes gering sein – die Rauigkeit bestimmt die Geschwindigkeit der Strömung. Typische Strömungsgeschwindigkeiten liegen zwischen 0,5 und 3 m/s und nehmen meist in der Talsohle maximale Geschwindigkeiten an.

Kaltluftvolumenstromdichte

Die Kaltluftvolumenstromdichte ist eine Größe, die die Kaltluftmenge in Kubikmetern pro Sekunde beschreibt, die durch einen 1 Meter breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Obergrenze der Kaltluftschicht fließt. Ihre Einheit ist m^3/ms. In stark ausgeprägten Kaltluftsystemen kann der Kaltluftabfluss mehrere Millionen Kubikmeter pro Stunde betragen, bei einer Mächtigkeit von bis zu einigen Dekametern.

3.3. Thermische Belastung

Physiologisch-äquivalente Temperatur

Um neben der Lufttemperatur auch Aussagen zu human-biometeorologischen Aspekten tätigen zu können, wurden auf die thermische Bewertung ausgerichtete Indizes eingeführt. In früheren Studien wurden meist nur Temperaturextreme analysiert, um Aussagen über Hitzestress zu tätigen. Parameter wie beispielsweise die Feuchte führen dazu, dass bereits niedrige Temperaturen für bestimmte Personengruppen gesundheitsgefährdende Risiken darstellen können. Wind wirkt beispielsweise kühlend und wird bei Temperaturen unterhalb der Behaglichkeit (< 18°C) angewendet (Windchill-Effekt).
Aus einem Münchner Energiebilanzmodell des menschlichen Körpers (MEMI) wurde die Größe PET (Physiologisch-äquivalente Temperatur) zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit abgeleitet. PET beschreibt die menschliche Reaktion auf die thermische Umwelt ohne Berücksichtigung individueller Verhaltensanpassungen (z.B. Bekleidungsänderung). Erfahrungsgemäß stellt sich für eine ruhig sitzende Person mit üblicher Innenraumbekleidung bei einer PET von etwa 20°C eine optimale Behaglichkeit ein. Die Referenzperson basiert auf einem Mann (35 Jahre alt, 175cm groß, 75 kg schwer) in einem leichten Sommeranzug und mit kurzärmligem Hemd im stationären Zustand (= Stoffwechselrate), siehe Abbildung 1.

Zu beachten ist, dass diese für einen Standardmenschen konzipierte Größe nicht für alle Menschen gleichermaßen gilt. So haben etwa ältere oder gefährdete Menschen eine meist negativere Reaktion auf Hitzestress. Hitzestress führt im Allgemeinen dazu, dass der Mensch seinen Körper durch Schwitzen nicht mehr ausreichend kühlen kann. Dadurch kommt es zu einem raschen Anstieg der Körpertemperatur, der das Gehirn und andere lebenswichtige Organe schädigen kann. Symptome reichen von einem einfachen Hautausschlag über Muskelkrämpfe bis zum Kollaps.

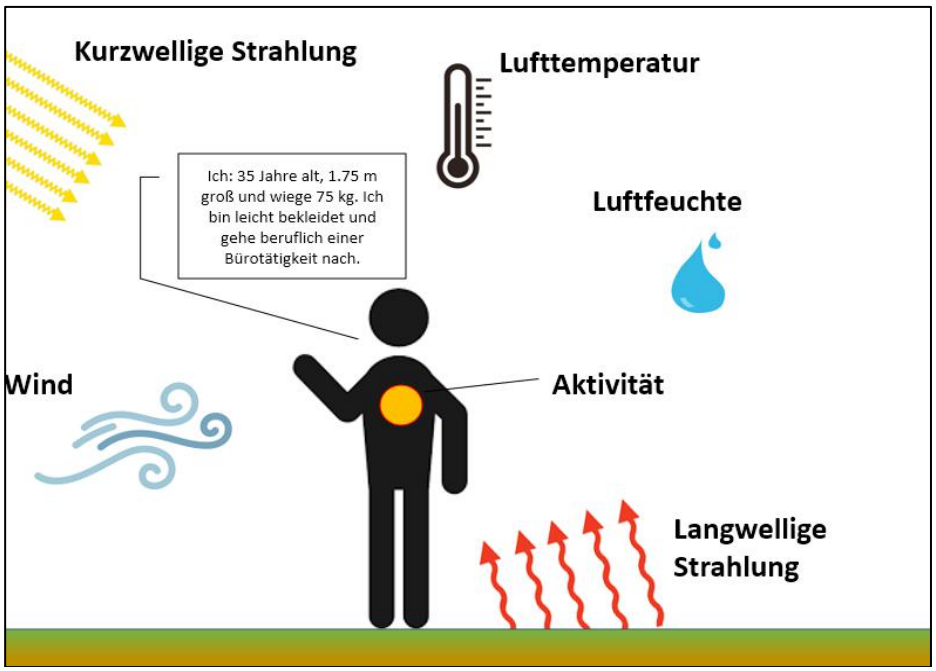

Abbildung 1:Die wichtigsten Größen der Physiologische-equivalente Temperatur (PET), vereinfacht

Human-bioklimatische Bewertung

Die Tabelle 1 zeigt die PET Bewertungsskala die das thermische Empfinden für eine “Standardperson” qantifiziert. In dieser Abbildung ist zu sehen, dass eine PET Temperatur von über 35°C zu starker Wärmebelastung oder Hitzestress führt. PET Werte über 41°C können starken Hitzestress enstehen lassen. Starker Kältestress wird zum Beispiel bei Temperaturen unter 8°C erreicht, Kältestress wird umso höher je höher die Windgeschwindigkeiten sind.

Tabelle 1: Kategorisierung der PET in Bereiche unterschiedlichen thermischen Empfindens nach Matzarakis & Mayer 1996

PET (°C)	Thermisches Befinden	Belastungskategorie
PET > 41	sehr heiß	extrem starke Wärmebelastung/ Hitzestress
35 < PET ≤ 41	heiß	starke Wärmebelastung/ Hitzestress
29 < PET ≤ 35	warm	moderate Wärmebelastung
23 < PET ≤ 29	leicht warm	leichte Wärmebelastung
18 < PET ≤ 23	komfortabel (neutral)	kein thermischer Stress
13 < PET ≤ 18	leicht kühl	leichter Kältestress
8 < PET ≤ 13	kühl	moderater Kältestress
4 < PET ≤ 8	kalt	starker Kältestress
PET ≤ 4	sehr kalt	extremer Kältestress

4. Klimatologische Messwerte

Als Grundlage der Stadtklimaanalyse Ried im Innkreis dient für die Auswertung gemäß der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) jüngsten Klimanormalperiode 1991-2020 für die GeoSphere Austria (ehemals ZAMG) Messtation Ried im Innkreis. Die Messstation Ried im Innkreis liegt auf einer Breite von 48,216° und einer Länge von 13,483°, sowie auf einer Höhe von 435 m.
Das Klima ist laut Definition der WMO ein über 30 Jahre gemittelter Zustand der Atmosphäre. Das Klima ist als die Gesamtheit aller Wettererscheinungen eines Ortes über einen hinreichend langen Zeitraum zu verstehen. Parameter wie die Temperatur, Niederschlag, Schneefalltage, etc. schwanken nicht nur von Tag zu Tag sondern auch von Jahr zu Jahr. Um verlässliche statistische Aussagen über die Mittelwerte und Häufigkeitsverteilungen tätigen zu können, hat sich eine 30-jährige Periode als besonders gut erwiesen. Die zuletzt gültige Klimanormalperiode 1961-1990 wurde mit dem Jahr 2021 durch die neue Klimanormalperiode 1991-2020 ersetzt.
Im Folgenden werden einige Parameter nach Jahren sowie nach Monaten (über einen Zeitraum von 30 Jahren) dargestellt.

4.1. Lufttemperatur

Die Wärmeverhältnisse eines Ortes werden üblicherweise durch die Angabe der Lufttemperatur charakterisiert. In der Meteorologie versteht man unter Lufttemperatur den Messwert eines hinlänglich strahlungsgeschützten Thermometers, welches seine Temperatur nur durch Berührung mit der Luft erhält. Der Tages- und Jahresgang der Temperatur wird in erster Linie vom tages- und

jahresperiodischen Strahlungsverlauf geprägt, wobei die Temperaturwelle gegenüber der Einstrahlungswelle eine Phasenverschiebung aufweist, die hauptsächlich von der Beschaffenheit des Untergrundes (Wärmekapazität) abhängt. Dies bedeutet, dass die höchste Temperatur sowohl im Tagesverlauf als auch im Jahresgang später als die maximale Einstrahlung auftritt.
Die Lufttemperatur wird üblicherweise in 2 m Höhe über Grund und vor direkter Sonnenstrahlung geschützt, gemessen. Neben der mit einem Thermometer gemessenen, „korrekten“ Temperatur gibt es auch jene Temperatur, die der Mensch subjektiv empfindet – die sogenannte „gefühlte Temperatur“. Lokale Faktoren die die gemessene Temperatur der bodennahen Atmosphäre beeinflussen hängen von der Beschaffenheit des Untergrunds, der Bebauung, der Art der Vegetation, oder naheliegenden Gewässern ab.
Abbildung 2 zeigt den mittleren jährlichen Verlauf (gemittelt über 30 Jahre) der mittleren und extremen Lufttemperaturen der Station Ried im Innkreis. Der mittlere Jahresgang kann durch ein Minimum im Jänner und ein Maximum im Juli beschrieben werden. Das Monatsmittel reicht nicht über 20°C hinaus, im Jänner ist die mittlere Lufttemperatur knapp unter 0°C. Die maximale absolute Lufttemperatur nimmt im Juli seinen Höchstwert mit über 32°C an. Die minimale absolute Lufttemperatur wird im Jänner mit -12°C erreicht.

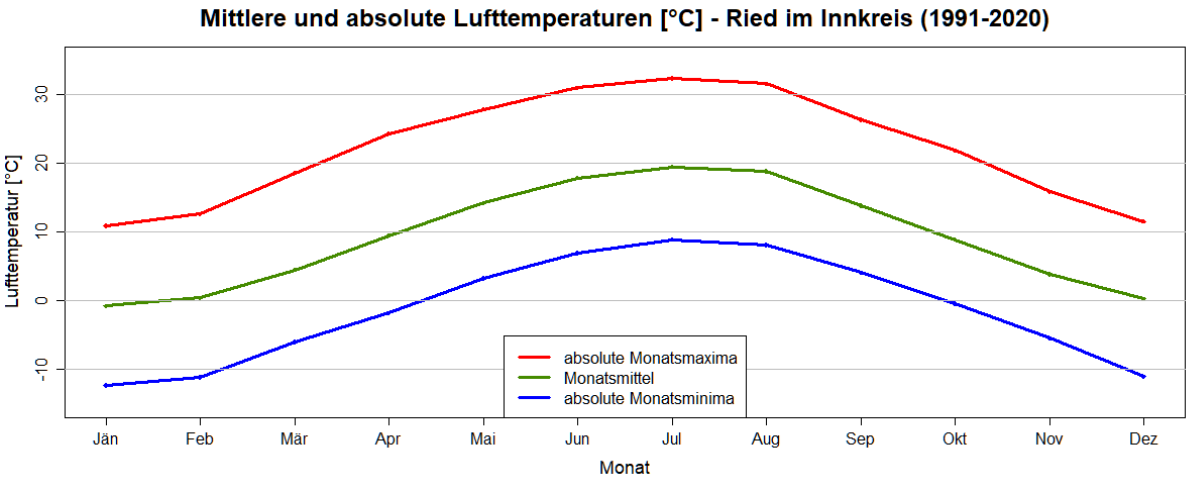

Abbildung 2: Jahresgang der mittleren und extremen Lufttemperaturen in Grad Celsius an der GeospherеaAustria Station Ried im Innkreis

Im Bereich der Klimaforschung werden häufig Temperaturanomalien untersucht. Somit können Aussagen getroffen werden, inwiefern sich die jährlichen Temperaturen vom langjährigen Mittelwert unterscheiden. Diese Betrachtungsweise gewährt Einblick über den Trend; es können Aussagen getroffen werden, in welcher Beziehung einzelne Werte zu einem Normalwert/Mittelwert stehen.
In Abbildung 3 ist eine solche Temperaturanomalie zu sehen. Die horizontale Linie stellt das langjährige Mittel der Lufttemperatur in Ried im Innkreis dar. Rote Balken bedeuten eine positive

Abweichung vom langjährigen Trend, blaue Balken repräsentieren eine negative Abweichung. Im 30-jährigen Mittel liegt die Temperatur in Ried bei 9.3°C. Seit dem Jahr 2014 weichen die Temperaturen positiv, mit teilweise über +1°C vom Mittel ab. Diese Abbildung verdeutlicht den signifikanten Anstieg der Temperatur in den letzten Jahren.

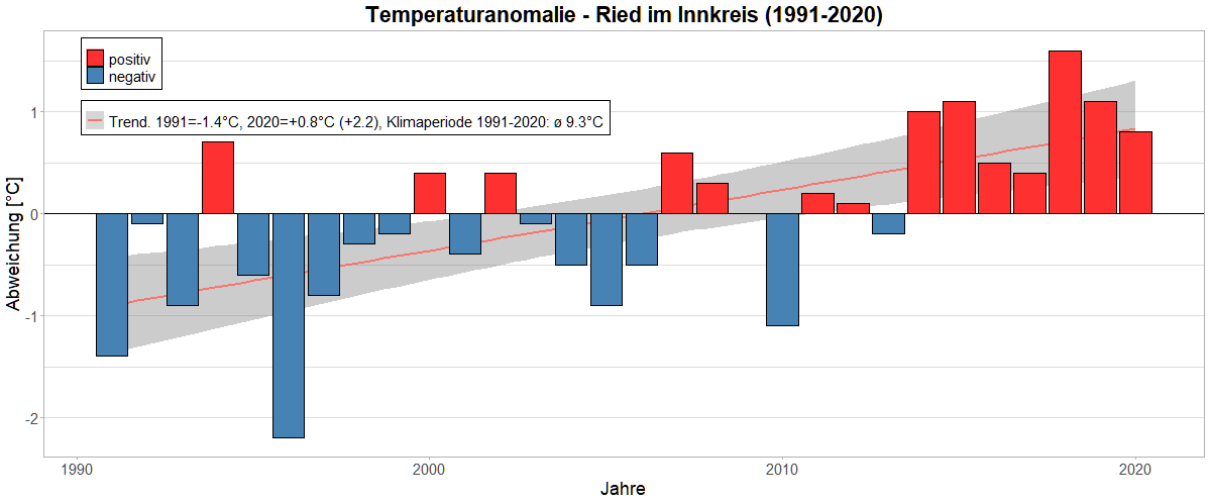

Abbildung 3: Abweichung der Temperaturen vom langjährigen Temperaturmittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

4.2. Eis-, Frost-, Sommer-, Hitzetage

Eis-, Frost-, Sommer- und Hitzetage repräsentieren Tage, an denen eine gewisse Temperatur unter- oder überschritten wurde.

Ein Eistag ist als solcher definiert, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes liegt (Tmax <0°) – an einem Eistag herrscht den ganzen Tag über Frost. Ein Frosttag wird als Tag definiert, an dem das Minimum der Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt liegt (Tmin < 0°C). Ein Sommertag ist in der Klimatologie so definiert, an dem die maximale Temperatur größer gleich 25°C beträgt. Ein Hitzetag wird als jener Tag gezählt, an dem die Maximaltemperatur größer gleich 30°C beträgt. Wenn die extreme Hitze über längere Zeit anhält und auch in der Nacht andauert, kann dies für gefährdete Bevölkerungsgruppen eine Belastung darstellen. Viele Sonnenstunden, hohe Temperaturen und Trockenheit sind Faktoren die Hitzetage fördern.

In den folgenden Abbildungen fallen sofort die entgegengesetzten Trendlinien ins Auge (vergleiche dazu Eis- Frosttage versus Sommer- Hitzetage). Eis- und Frosttage nehmen ab; Sommer- und Hitzetage nehmen in Ried im Innkreis zu. Strenge, kalte Winter gab es in den Jahren 1996 sowie 2010 mit über 50 Eistagen. Gemittelt über einen Zeitraum von 30 Jahren ist mit 25 Eistagen und 89 Frosttagen zu rechnen. Sommertage sind in der Stadtgemeinde häufig anzutreffen, im Durchschnitt ist

pro Jahr mit 52 Tagen über 25°C zu rechnen. Sommertage sind für viele Menschen meist noch erträglich, eine starke Belastung stellen die Hitzetage dar. In Ried ist pro Jahr durchschnittlich mit 11 Tagen mit Temperaturen über 30°C zu rechnen.

Nach derzeitigem Wissenstand zur zukünftigen Klimaentwicklung in Oberösterreich werden sich die positiven und negativen Trendwerte weiter verstärken (siehe nächstes Kapitel).

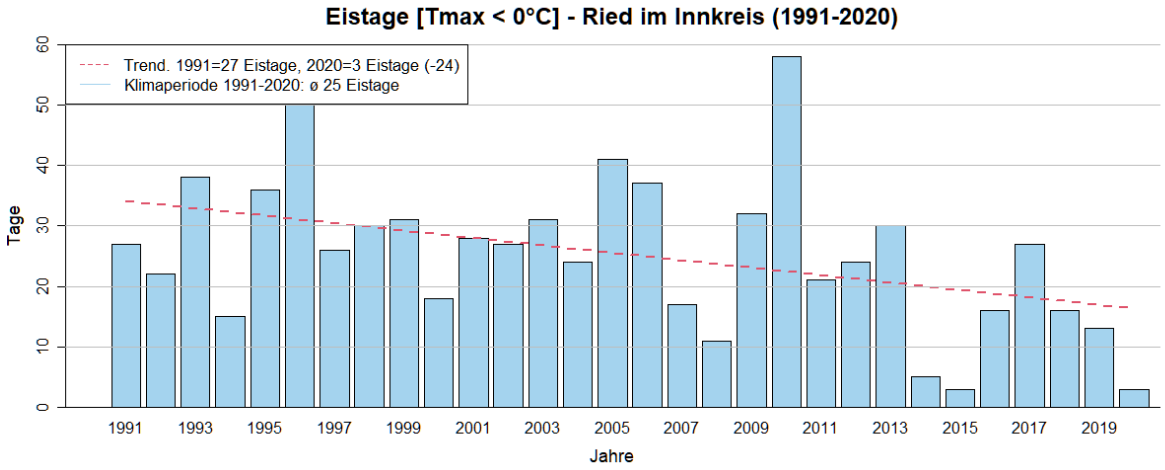

Abbildung 4: Eistage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

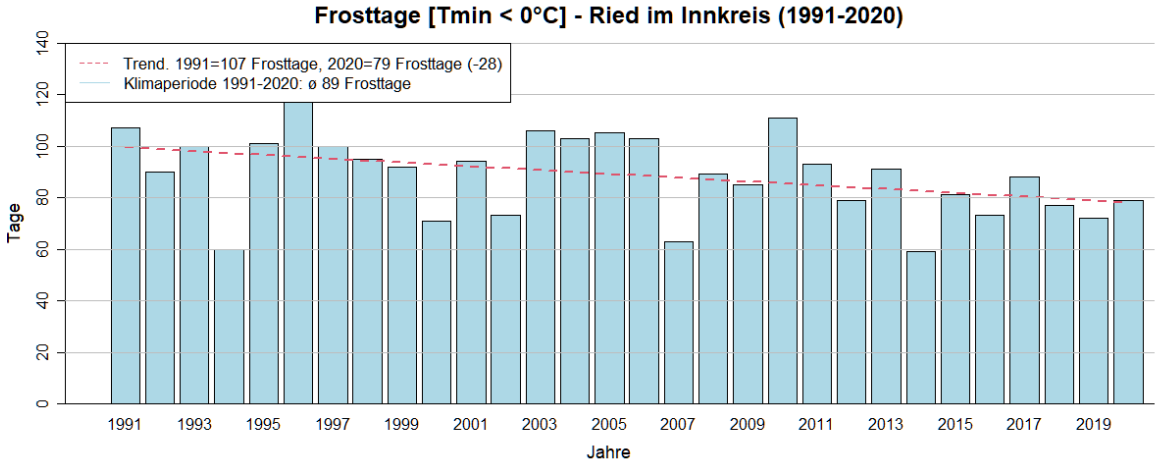

Abbildung 5: Frosttage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

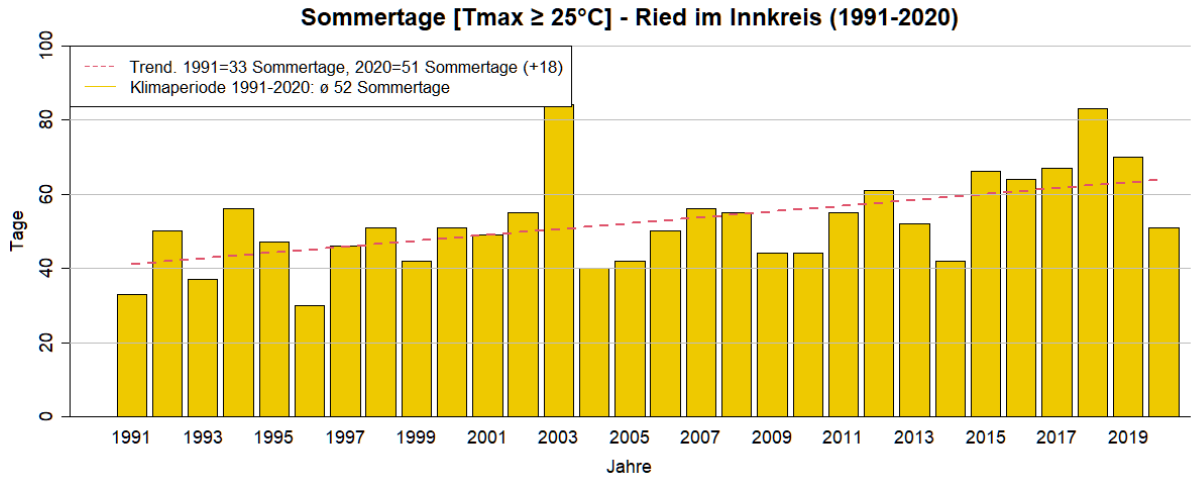

Abbildung 6: Sommertage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

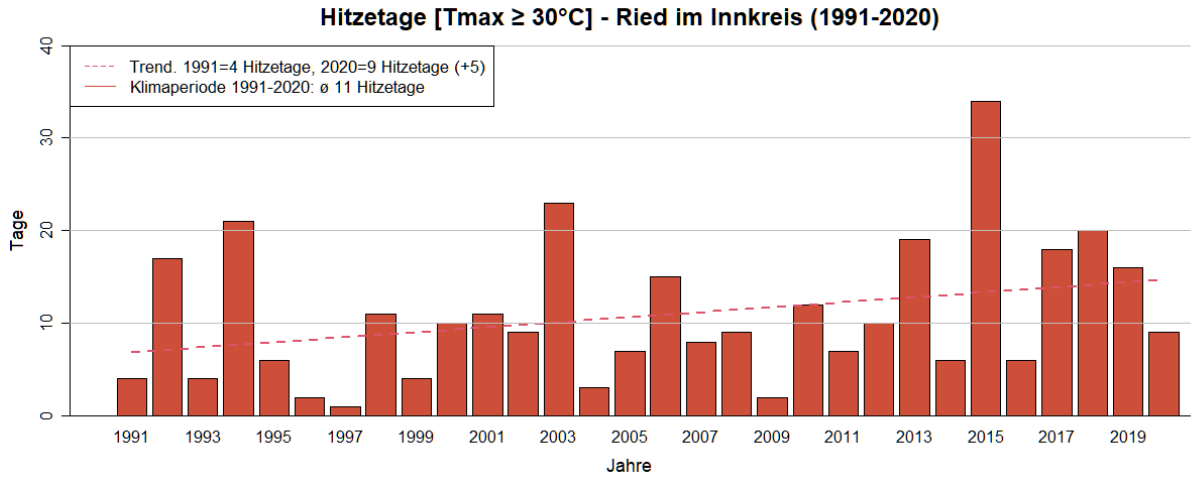

Abbildung 7: Hitzetage, langjähriges Mittel (1991-2020) an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

4.3. Relative Feuchte, Niederschlag und Schneefall

Die relative Feuchte beschreibt das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Menge an Wasserdampf in der Luft und der maximalen Menge, die bei der aktuellen Temperatur in der Luft enthalten sein könnte. Die relative Feuchte ist ein wichtiger Faktor für das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit, da sie die Verdunstung von Schweiß beeinflusst und somit das Hitzeempfinden verstärken oder mildern kann. In Bezug auf das Stadtklima ist die relative Feuchte oft von der Umgebung abhängig, einschließlich der Bodenfeuchte und der Vegetationsbedeckung. Städte haben oft eine geringere

relative Feuchte als ländliche Gebiete aufgrund von Versiegelung, Bodenbedeckung und menschlichen Aktivitäten, die zu einer Erhöhung der Temperatur und damit zu einer Abnahme der relativen Feuchte führen können.

Der Tagesgang der relativen Luftfeuchte verläuft u-förmig, so auch der Jahresgang. Das Maximum der Feuchte ist in den Wintermonaten zu finden, ein Minimum im Sommer. Grund für diese Verteilung ist die temperaturabhängige Wasserdampfaufnahme der Luft; bei gleichbleibendem Wasserdampf nimmt die relative Feuchte mit zunehmender Temperatur ab. In Ried im Innkreis ergibt sich aus der langjährigen Betrachtung der relativen Feuchte ein Jahresmittel von 77 % (vgl. Abbildung 8).

Bei der Betrachtung des Niederschlags wird in der Regel die Monatssumme des Niederschlags sowie die maximale 24-Stunden-Niederschlagssumme in Millimetern ausgewertet. Ein Millimeter Niederschlag entspricht dabei einem Liter Wasser pro Quadratmeter. In der Stadt Ried im Innkreis beträgt die durchschnittliche Niederschlagsmenge über einen Zeitraum von 30 Jahren 990 mm pro Jahr. Die höchsten Niederschlagsmengen treten in den Sommermonaten Mai bis August auf. Eine zeitliche Analyse des Niederschlags über die letzten 30 Jahre zeigt keine erkennbaren Trends, da der jährliche Niederschlag eng um den Mittelwert von 990 mm liegt (vgl. Abbildung 9).

Ein Schneefalltag ist ein Tag, an dem innerhalb von 24 Stunden mindestens 1 mm Niederschlag in Form von Schnee registriert wird. In Ried im Innkreis gibt es im Durchschnitt (gemittelt über 30 Jahre) 12 Schneefalltage pro Jahr. Für die Jahre 2014, 2018, 2019 und 2020 liegen keine Daten vor (vgl. Abbildung 10).

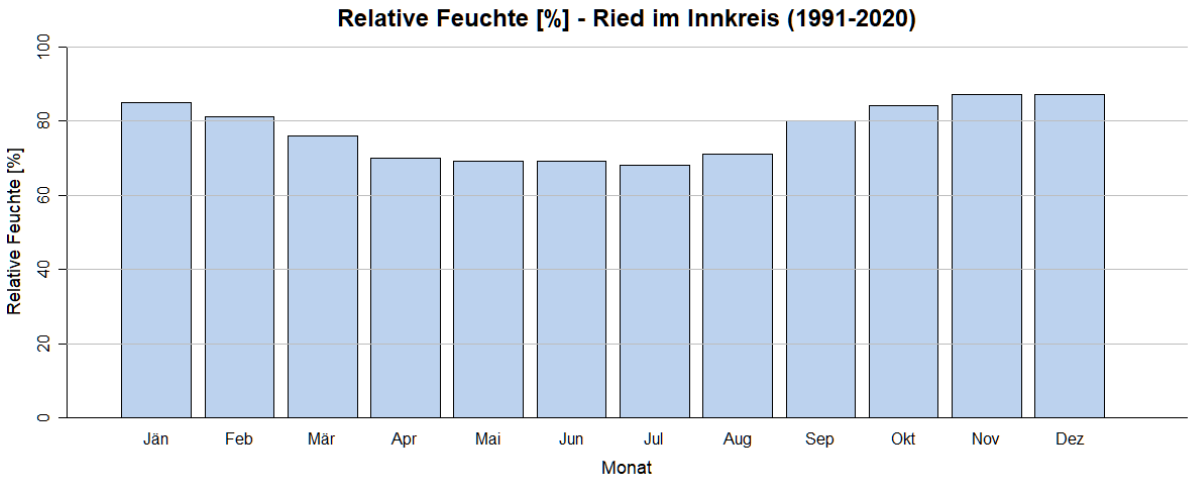

Abbildung 8: Jahresgang der relativen Feuchte in Prozent an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

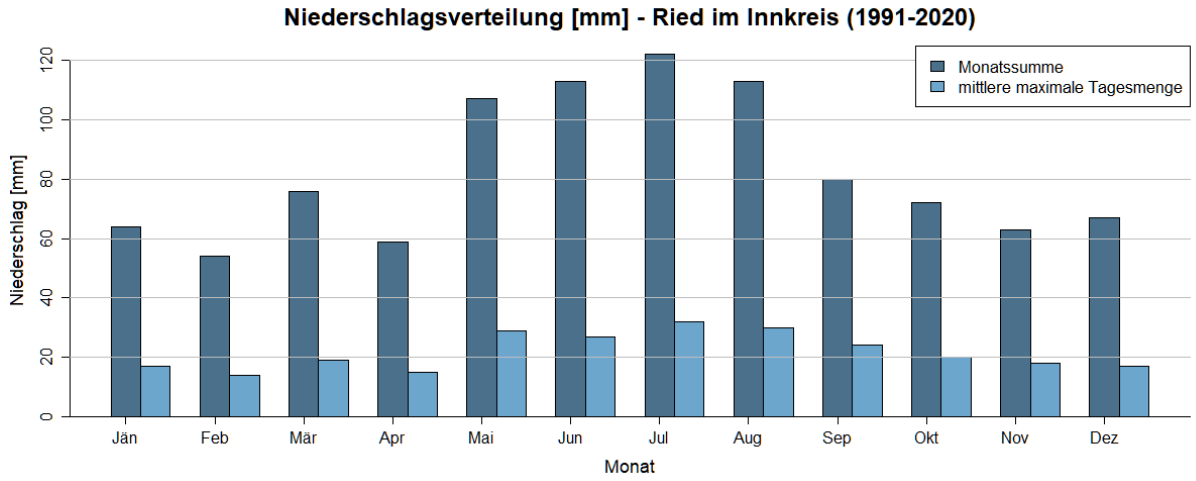

Abbildung 9: Mittlerer Jahresgang des Niederschlags (Monatssumme und max. Tagesmenge) in Millimeter an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

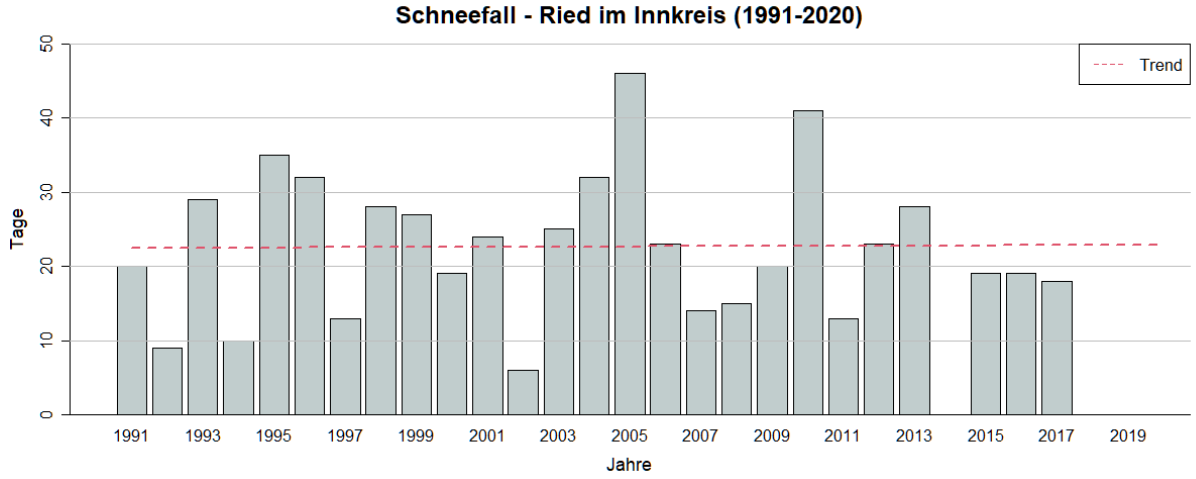

Abbildung 10: Schneefalltage an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

4.4. Sonnenscheindauer

Die Anzahl der Sonnenstunden in Österreich ist abhängig von der geografischen Lage und der Jahreszeit. Im Allgemeinen ist die Sonneneinstrahlung im Osten und Südosten des Landes höher als im Westen und Norden. Im Durchschnitt verzeichnet Österreich etwa 2000 Sonnenstunden pro Jahr. In der Stadt Ried wurden über einen Zeitraum von 30 Jahren durchschnittlich 1882 Sonnenstunden pro Jahr gemessen. Dabei erreicht die Anzahl der Sonnenstunden im Mittel ihr Maximum im Monat Juli (vgl. Abbildung 11).

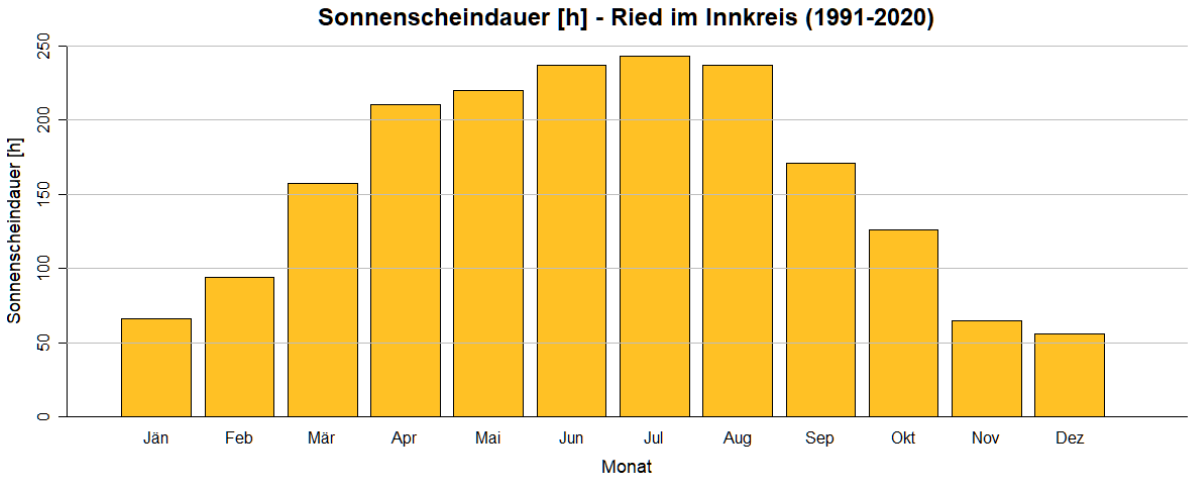

Abbildung 11: Mittlerer Jahresgang der Sonnenscheindauer in Stunden an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

4.5. Windverhältnisse

Das Windverhalten in Mitteleuropa wird maßgeblich durch die Großwetterlage und die damit verbundene Luftdruckverteilung bestimmt. In der Regel wehen in Mitteleuropa kräftige, von West nach Ost gerichtete Winde. In der folgender Abbildung 12 wurden die Windrichtungen nach Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst, Winter) Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, West und Nordwest ausgewertet. An der GeosphereAustria Station Ried werden die Winde in einer Höhe von etwa 10 Metern über dem Boden gemessen. Es zeigt sich, dass die häufigste Windrichtung in Ried West ist, gefolgt von Ost.

Die Beaufort-Skala bietet eine praktische Methode zur Kategorisierung von Windgeschwindigkeiten in verschiedene Intervalle. Der stärkste Wind wird mit Geschwindigkeiten von 17,2 bis 20,7 m/s in der Kategorie 8 eingeordnet. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, war die mittlere Windgeschwindigkeit in Ried während der letzten Klimanormalperiode im März am höchsten und im Herbst am geringsten. Im Jänner treten im Durchschnitt fünf Tage mit stürmischen Winden auf, was in Kombination mit den niedrigen Temperaturen in diesem Monat für viele Menschen in der Regel als unangenehm empfunden wird.

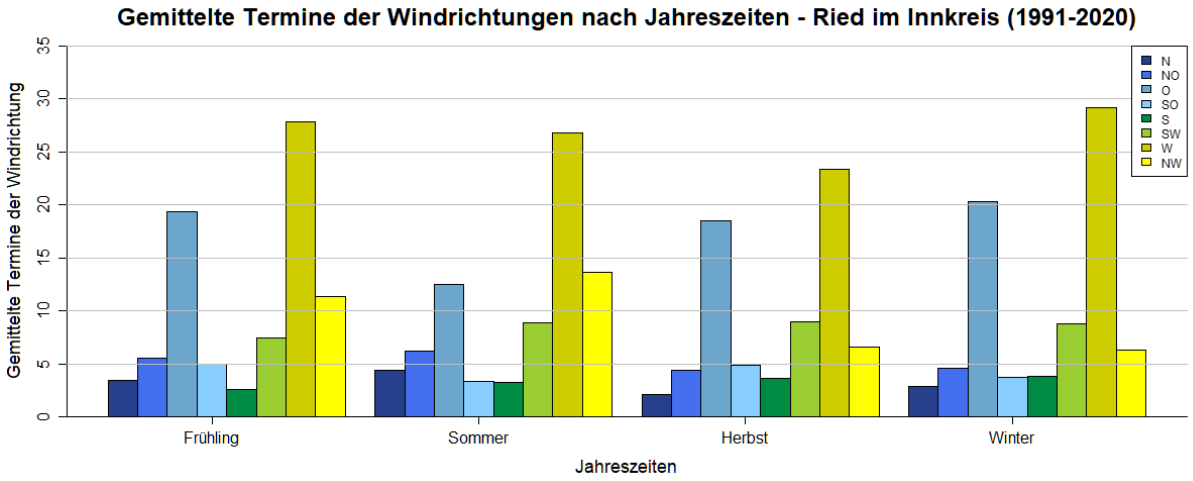

Abbildung 12: Gemittelte Termine der Windrichtung für die Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst und Winter an der GeosphereStation Austria Ried im Innkreis

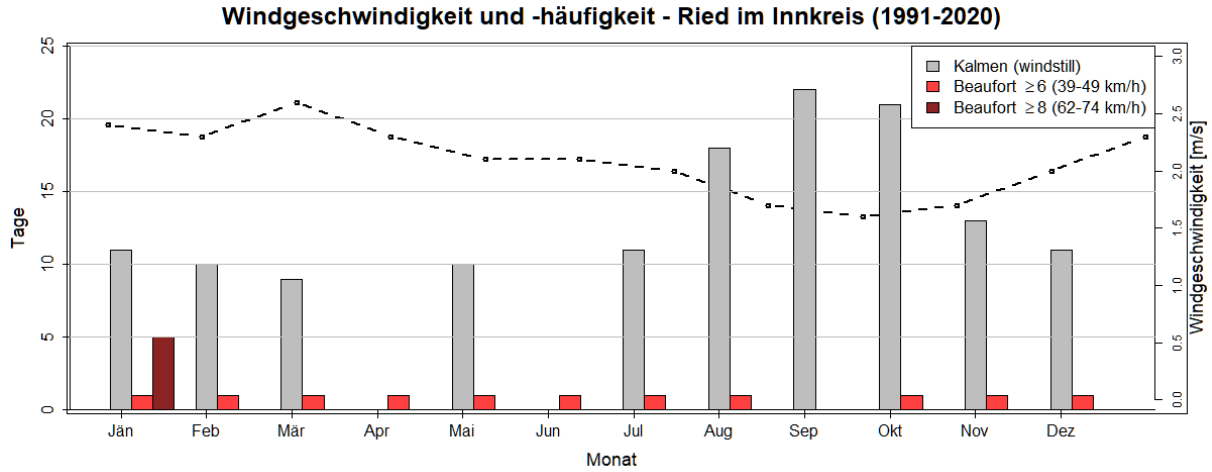

Abbildung 13: Mittlere Windgeschwindigkeiten in Meter pro Sekunde, sowie durchschnittle Tage mit Windstille, Beaufortstufe größer gleich 6 und 8 an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

4.6. Vegetationsperiode

Der Klimawandel zeigt sich auch in phänologischen Veränderungen, die eine unmittelbare Reaktion auf die globalen Temperaturentwicklungen darstellen. In Ried im Innkreis ist ein Trend zu immer früheren Blühzeiten zu verzeichnen, trotz witterungsbedingter Schwankungen von Jahr zu Jahr. Im Vergleich dazu dauerte es im Jahr 1991 noch 113 Tage (bis zum 23. April), bis die Vegetation begann und die ersten Blüten zu sehen waren. Im Jahr 2018 hingegen waren es nur noch 86 Tage (bis zum 27. März) bis zum Vegetationsbeginn, was eine deutliche Veränderung innerhalb von knapp drei Jahrzehnten darstellt. Für die Jahre 2017, 2019 und 2020 liegen keine Daten vor.

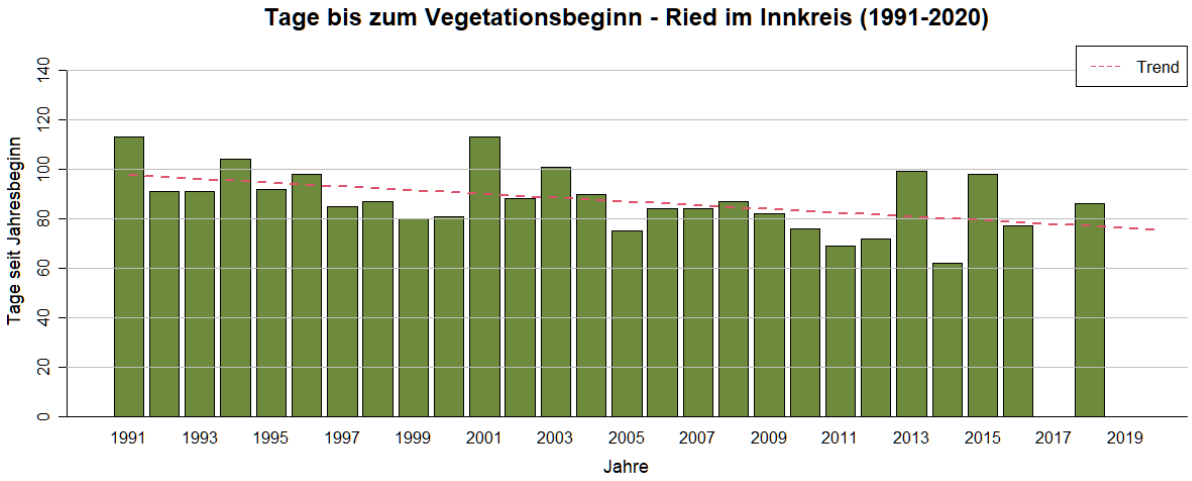

Abbildung 14: Tage ab Beginn des Jahres bis zum Vegetationsbeginn an der GeosphereAustria Station Ried im Innkreis

4.7. Zukünftiges Klima Österreich - Oberösterreich

Zukünftige Klimaentwicklungen können anhand von sogenannten Representative Concentration Pathways (RCP) abgeschätzt werden. Die Szenarien legen unterschiedliche Treibhausgaskonzentrationen sowie Strahlungsantriebe fest. Das RCP4.5 ist das sogenannte Klimaschutz-Szenario, das RCP8.5 ist das business-as-usual Szenario, bei dem keine politischen Maßnahmen im Hinblick des Klimaschutzes getroffen werden. Im Rahmen des Projekts ÖKS15 /11/ wurden mittels Klimamodellen auf Basis der Szenarien die hervorgerufenen Klimaänderungen für Österreich berechnet.

Die Berechnungen ergeben, dass es bei dem Parameter Temperatur in ganz Österreich zu einer deutlichen Erhöhung, sowohl bei den jährlichen als auch bei den saisonalen Prognosen kommt. In naher Zukunft wird in beiden Szenarien ein ähnlicher Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur erwartet. Jedoch wird in der fernen Zukunft im RCP8.5-Szenario eine wesentlich stärkere Temperaturzunahme als im RCP4.5-Szenario prognostiziert. Die Erwärmung wird im Winter in beiden Szenarien am stärksten ausgeprägt sein und im Frühling am schwächsten.

Es wird erwartet, dass in der nahen Zukunft ein Anstieg von Hitze- und Sommertagen, insbesondere in Lagen unterhalb von 1000 m erfolgen wird. In der fernen Zukunft wird ein deutlich höherer Anstieg von Hitzetagen erwartet; insbesondere im Sommer und in niedrig gelegenen Regionen. Die höchsten Änderungen an Hitzetagen werden in naher Zukunft (2021-2050) in der Südoststeiermark und im Burgenland erwartet; in ferner Zukunft (2071-2100) werden in einem RCP4.5 Szenario zusätzlich die Bundesländer Niederösterreich und Oberösterreich stark betroffen sein; in einem RCP8.5 Szenario

könnten nur südwestliche Regionen von einer Zunahme an Hitzetagen verschont bleiben. (vgl. Abbildung 15)

Die Vegetationsperiode wird in der nahen Zukunft nur im RCP8.5-Szenario signifikant um durchschnittlich 20 Tage verlängert. In der fernen Zukunft ergibt sich eine noch stärkere Verlängerung von 32,7 Tagen im RCP4.5- und 61,1 Tagen im RCP8.5-Szenario. Österreich wird in beiden Szenarien eine Zunahme der Kühlgradtage erfahren. In der fernen Zukunft werden sich die Szenarien jedoch deutlich unterscheiden, wobei RCP4.5 einen Anstieg von etwa 94°C (Kd) und RCP8.5 einen Anstieg von 221,7°C (Kd) aufweisen wird. Die Heizgradtage in ganz Österreich werden deutlich abnehmen.

Die Anzahl der Frosttage im Jahr nimmt in beiden Szenarien in der nahen Zukunft bereits ab. Für die ferne Zukunft ergibt sich in RCP8.5 eine markant stärkere Abnahme. Die Anzahl der Eistage nimmt ähnlich deutlich ab. Die Änderung der Frost-Tau-Wechseltage von Oktober bis November tritt erst in der fernen Zukunft deutlich hervor. Im Jänner und Februar werden erst in der fernen Zukunft größere Gebiete mit einem deutlichen Signal angezeigt.

Die Niederschläge variieren stark in Raum und Zeit, was zu weniger verlässlichen Aussagen führt. Erst in der fernen Zukunft und nur vereinzelt oder in größeren zusammenhängenden Gebieten zeigen sich in ganz Österreich signifikante Änderungen der Jahresniederschlagsumme, insbesondere im RCP8.5-Szenario, bei dem die durchschnittliche Niederschlagsmenge um 8,7 % steigt. Die meisten Veränderungen treten entlang des Alpenhauptkamms und im Hochland nördlich der Donau auf, wobei das Umland von Linz die größte Zunahme mit 18 % aufweist.

Im Winter wird vor allem im Nordosten Österreichs eine deutliche Zunahme von durchschnittlich 30% prognostiziert, während im Frühling von einer Zunahme von etwa 18 % im Bereich der nördlichen Kalkalpen und des nördlichen Alpenvorlands ausgegangen wird. Im Sommer gibt es bis auf wenige kleinräumige Ausnahmen keine deutlichen und interpretierbaren Veränderungen.

Die Modelle liefern kaum interpretierbare Ergebnisse für die Anzahl der Niederschlagstage. Nur für die ferne Zukunft im RCP8.5-Szenario sind im Sommer größere zusammenhängende Gebiete entlang der nördlichen Kalkalpen und des nördlichen Alpenvorlands mit einer deutlichen Abnahme von mehr als 4 Tagen sichtbar.

Die Änderungen der maximalen Tagesniederschläge werden erst in der fernen Zukunft für größere zusammenhängende Gebiete deutlich und nehmen im Jahresdurchschnitt zu, insbesondere im RCP8.5-Szenario mit einer Zunahme von 23,5 %. Ähnlich verhält es sich mit den 5-Tagesmaxima, bei denen eine abgeschwächte Zunahme erst in der fernen Zukunft und ausschließlich im RCP8.5-Szenario deutlich erkennbar ist. Im Winter gibt es in weiten Teilen Nord- und Ostösterreichs

Zunahmen zwischen 20 % und 40 %. Es wurden keine interpretierbaren Änderungen für Trockenepisoden und Niederschlagsepisoden durch die Klimaszenarien festgestellt.

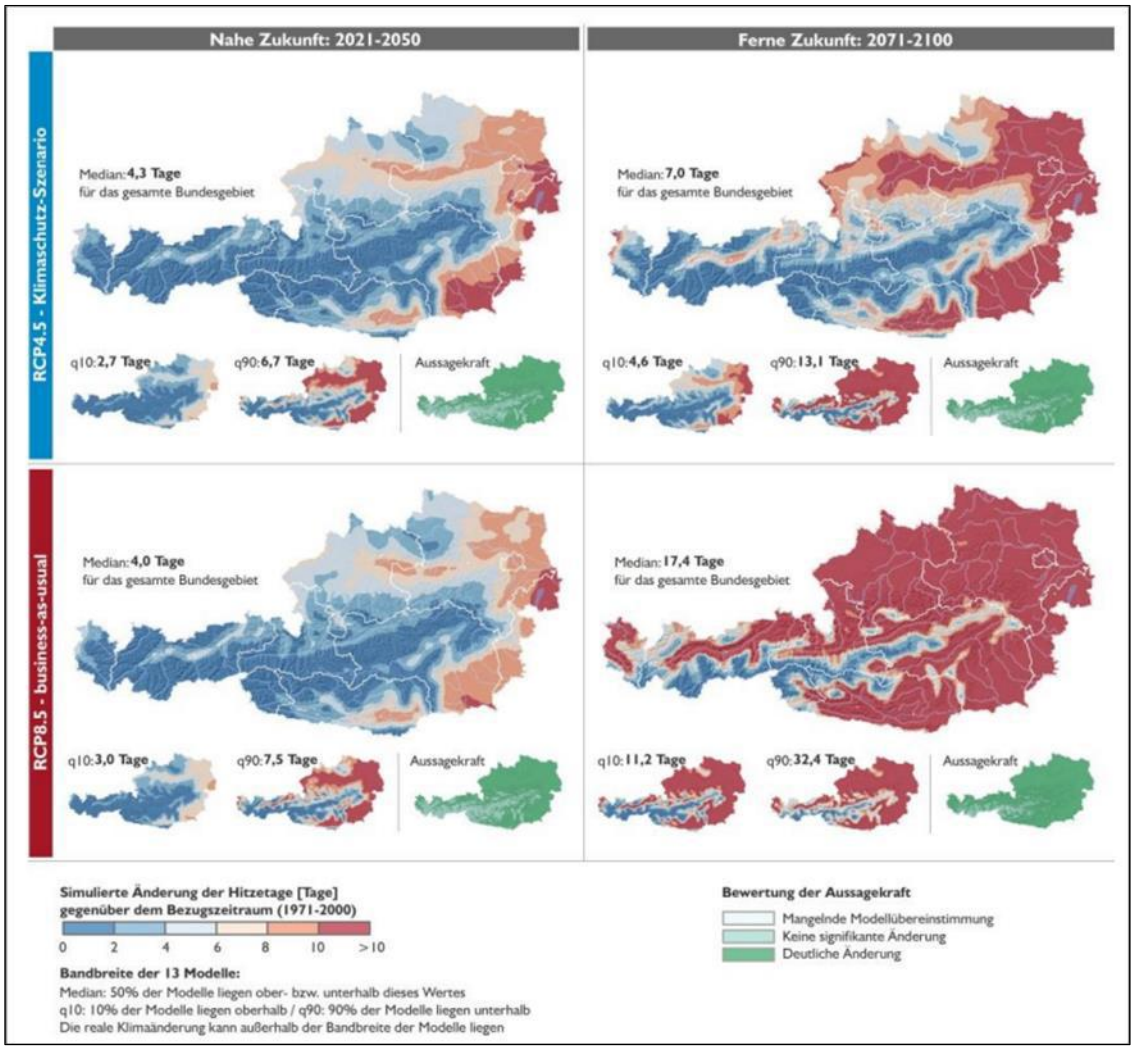

Abbildung 15: Simulierte Änderung der Hitzetage gegenüber dem Bezugszeitraum (1971-2000). Quelle: OKS15 /10/

Im Bundesland Oberösterreich kann bis in das prognostizierte Jahr 2100 mit folgenden klimatischen Veränderungen aufgrund des Klimawandels gerechnet werden:

- Die prognostizierte Temperaturzunahme wird in den nächsten 30 Jahren (2021-2050) unter einem RCP4.5-Szenario im Mittel +1,3°C und unter einem RCP8.5-Szenario im Mittel +1,4°C betragen.
- Die prognostizierte Temperaturzunahme wird in den nächsten 80 Jahren (2071-2100) unter einem RCP4.5-Szenario im Mittel +2,3°C und unter einem RCP8.5-Szenario im Mittel +3,9°C ausmachen.
- Als logische Konsequenz ansteigender Temperaturen sind Hitzetage, es kommen in den nächsten 80 Jahren (2071-2100) unter einem RCP4.5-Szenario weitere +8 Hitzetage hinzu; ohne

Anstrengungen im Klimaschutz unter einem RCP8.5-Szeanrio dürften +20 Hitzetage hinzukommen.

- Bis Ende des Jahrhunderts (2071-2100) sind unter einem RCP4.5-Szenario +3 Tropennächte prognostiziert; unter einem RCP8.5-Szenario +10 Tropennächte.

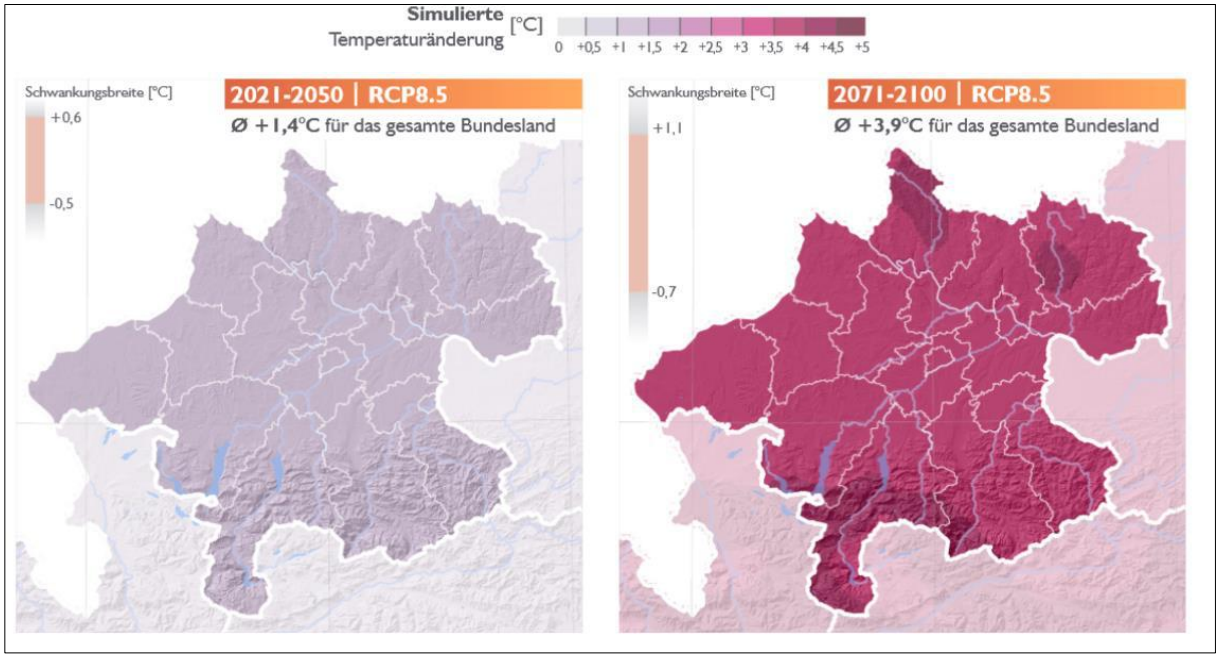

Abbildung 16: Simulierte Temperaturänderung in Grad unter einem RCP8.5 – Szenario für das Bundesland Oberösterreich. Quelle: OKS15 /10/

5. Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse

5.1. Grundlagendaten

Für die Klimamodellierungen müssen alle klimatisch relevanten Strukturen einbezogen werden. Für die Geländestrukturen wurde auf das Digitale Geländemodell des Landes Oberösterreich (Auflösung 1m) zurückgegriffen. Die höchste Erhebung der Stadtgemeinde Ried im Innkreis liegt mit rund 495m ü. NN im südlichen Gemeindegebiet, während der niedrigste Punkt mit rund 414m ü. NN im Norden liegt. Das Gemeindegebiet fällt insgesamt mit einer maximalen Höhendifferenz von rund 80m von Süd nach Nord ab.

Eine zentrale Bedeutung in der Klimamodellierung kommt der Oberflächenstruktur zu. Für eine möglichst exakte Abbildung dieser müssen verschiedene Nutzungsklassen differenziert und Oberflächencharakteristika zugewiesen werden. Grundlage dafür bildet die Digitale Katastralmappe (DKM) des BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) und zu Verfügung stehende Orthofotos des Landes Oberösterreich. Eine Übersicht der Nutzungen nach DKM bietet Abbildung 17, wobei zur übersichtlichen Darstellung des gesamten Gemeindegebiets verschiedene Nutzungsstrukturen in übergeordnete Klassen gruppiert wurden. Große Schotterflächen, wie zum Beispiel im Bereich des Messegeländes, wurden anhand von Luftbildern ausgewiesen.

Wie bereits beschrieben, haben die Gebäude einen entscheidenden und prägenden Einfluss auf das Stadtklima. Für die Modellierung wurde vom Land Oberösterreich ein dreidimensionales Baukörpermodell (Stand 2017) angekauft. Alle nach 2017 stattgefundenen Bauprojekte sowie bereits absehbare bzw. fixierte Projekte wurden händisch hinzugefügt. Eine Übersicht der berücksichtigten Baukörper befindet sich in Abbildung 18.

Die Stadtgemeinde Ried verfügt über einen Baumkataster. Da dieser jedoch nur Bäume im öffentlichen Raum erfasst und diese auch nicht vollständig abbildet, wurden die bestehenden Baumstandorte und natürlichen Beschattungsflächen der Stadtgemeinde aus dem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) des Landes Oberösterreich abgeleitet. Berücksichtigt wurden alle Vegetationsstrukturen über 2m Höhe. Es sei darauf hingewiesen, dass die exakte Anzahl und Verortung von Bäumen von der Realität abweichen kann, da beispielsweise große Baumkronen teilweise als mehrere Bäume gewertet werden oder auch Strukturen wie Straßenlaternen oder Stromleitungen als Bäume identifiziert werden. Diese Standorte wurden auf Grundlage der Luftbilder manuell bestmöglich aus den ermittelten Baumstandorten entfernt. Eine Übersicht über die Baumstandorte zeigt Abbildung 19.

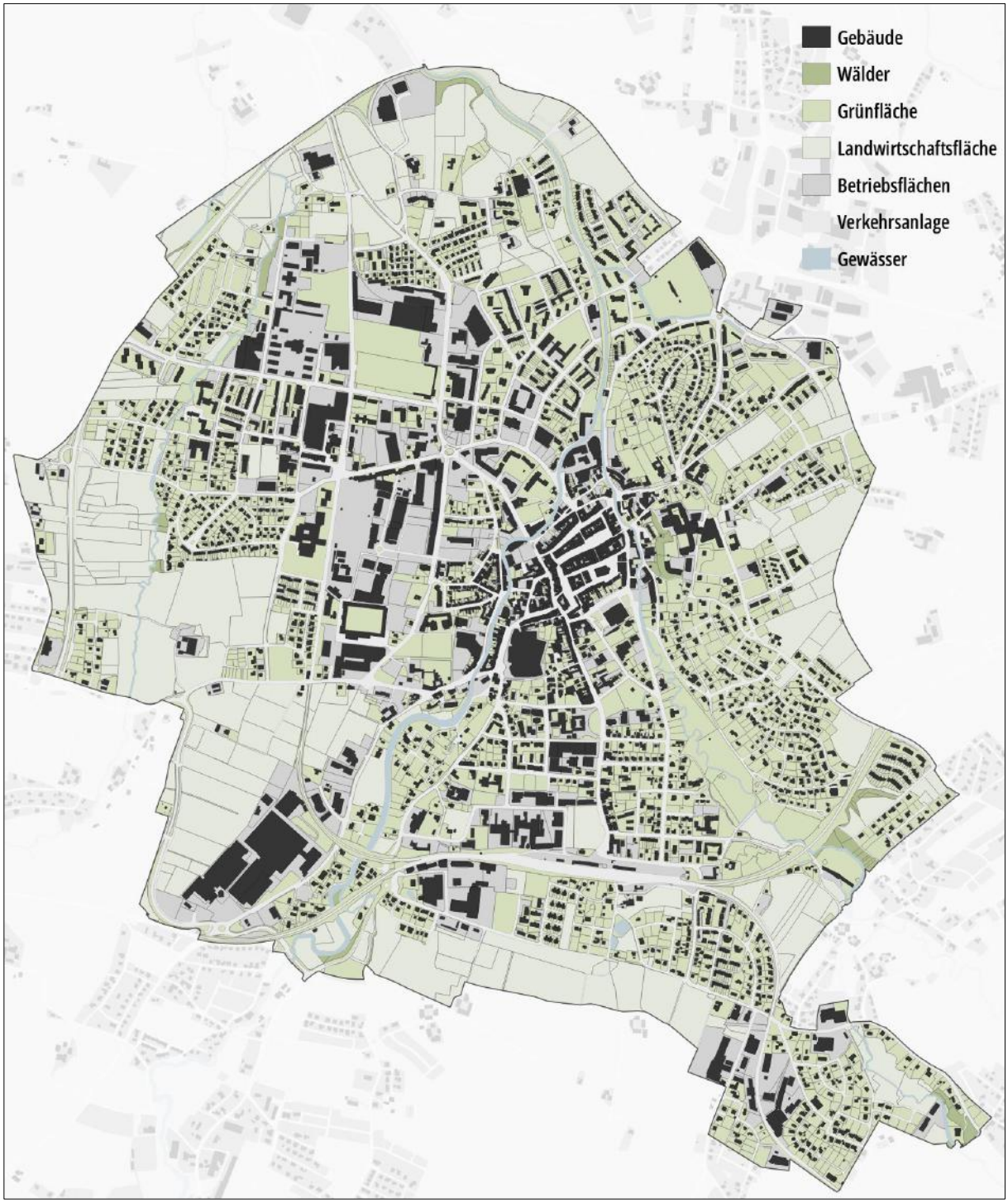

Abbildung 17: Flächennutzung auf Grundlage der DKM.

Abbildung 18: Berücksichtigte Baukörper

Abbildung 19: Baumstandorte ermittel aus dem DOM des Landes Oberösterreich

5.2. Mikroklimamodell Envimet

Für die Untersuchung des Mikroklimas der Stadtgemeinde Ried im Innkreis wird das Modell ENVI-met in der Version 5.0.1 verwendet /1/. ENVI-met ist ein dreidimensionales Mikroklimamodell, welches die Wechselwirkungen zwischen Oberfläche, Vegetation, Boden und Luft in einer städtischen Umgebung berücksichtigt und in einer sehr hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung simuliert.
Die Baukörper und die Oberflächengestalt sind wichtige Eingangsdaten für die Modellierung, da die Höhe der Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflussen. Als Ausgangsdaten für die Modellierung werden das Baukörpermodell, der Oberflächentyp nach Flächennutzung (Asphalt, Gras etc.), der Baumbestand und das Gelände (Digitales Geländemodell Land OÖ) der Stadtgemeinde Ried herangezogen.
Der in 3D nachgebauten Stadtgemeinde werden anschließend die für einen “typischen Hitzetag” geltenden meteorologischen Parameter gesetzt. Die meteorologischen Eingangsparameter für die Simulation eines Hitzetages wurden in Anlehnung an die Auswertung der langjährigen Klimadaten in Ried, siehe Kapitel 4, angesetzt.
Für die Simulation wurde ein typisch heißer Tag im Sommer gewählt: der 15. Juli, mit einer Minimaltemperatur von 20°C und einer Maximaltemperatur von 32°C. Eine Minimaltemperatur von 20°C bedeutet, dass eine Tropennacht vorherrscht. Ein Hitzetag gefolgt von einer Tropennacht ist für die Menschen sehr unangenehm, der Körper kommt auch in der Nacht nicht zur Ruhe. Weiters wurde, typisch für einen Hitzetag, eine geringe Feuchte, keine Bewölkung und ein sehr schwacher Westwind von 1 m/s festgelegt.
Eine Übersicht der Modellkonfiguration ist in folgender Abbildung zu sehen:

Tabelle 2: Modellkonfiguration Envimet

Modellparameter	Beschreibung
Modellversion	ENVI-met 5.0.1
Größe des Modellgebiets [m]	4960 m x 4867 m x 75 m
Auflösung [m]	8 x 8 x 3
Anzahl der Gitterzellen	620 x 609 x 25

Settings Meteorologie	
T_MIN [°C]	20
T_MAX [°C]	32
WINDGESCHWINDIGKEIT [M/S]	1
WINDRICHTUNG [°]	270

5.3. Kaltluftabflussmodell KLAM_21

Derzeit wird von der GeoSphere Austria (ehemals ZAMG) im Auftrag des Landes Oberösterreich eine großräumige regionale Klimaanalyse ausgearbeitet, die auch das Stadtgebiet von Ried im Innkreis beinhaltet. Im Zuge dieser Analyse wurde bereits eine Kaltluftsimulation durchgeführt auf deren Rohdaten-Ergebnisse für die vorliegende Untersuchung zurückgegriffen werden konnte. Die Verarbeitung der Simulationsergebnisse, aufbauende Berechnungen und die Darstellungen wurden von Rosinak & Partner ZT GmbH durchgeführt.

Für die Berechnungen des Kaltluftgeschehens wurde das vom Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickelte Kaltluftabflussmodell KLAM_21 genutzt. Dieses Modell ist ein zweidimensionales Simulationsmodell und wurde speziell für Kaltluftabflüsse und die Ansammlung von Kaltluft entwickelt. Mit diesem Modell können Fragestellungen im Hinblick auf die Standort-, Stadt- und Regionalplanung beantwortet werden, wie beispielsweise Entstehungsgebiete von Kaltluft, Kaltluftstauereignisse sowie die Verringerung der Wärmebelastung durch Kaltluftzufuhr. Die physikalische Basis des Modells bildet eine vereinfachte Bewegungs- und Energiebilanzgleichung. Mit der Energiebilanzgleichung wird der Energieverlust = Kälteinhalt der Kaltluftschicht bestimmt. Die Kaltlufthöhe wird anschließend aus der Höhenabhängigkeit der Abkühlung berechnet. Ergebnisse der Simulation sind die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe, sowie die mittlere Fließgeschwindigkeit. Anschließend kann aus dem Produkt der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft und der Kaltlufthöhe der Kaltluftvolumenstrom berechnet werden.

Die Größe des Modellgebiets der KLAM_21 Rechnung wurde so gewählt, dass alle möglichen Kaltlufteinzugsgebiete erfasst werden. Das Modellgebiet reicht von Ellreching im Nordwesten bis nach Untertiefenbach im Nordosten; sowie von Großweiffendorf im Südosten bis nach Pattigham nach Südwesten. Das Untersuchungsgebiet hat eine Größe von etwa 18 km (O-W) x 16 km (N-S).

Die Kälteproduktionsrate resultiert aus der vorgegebenen Landnutzungsklasse. Im Modell stehen 9 Nutzungsklassen zur Verfügung; jeder Nutzungsfläche ist eine unterschiedliche Rauigkeit als Maß für den Widerstand fest vorgegeben.

5.4. Modellierung Luftschadstoffe

Auf Grundlage der Verkehrszahlen von 2019 wurde vom Land Oberösterreich eine Luftschadstoffuntersuchung für das Gebiet Stadtgebiet von Ried im Innkreis durchgeführt, deren Ergebnisse in dieser Untersuchung dargestellt und erörtert werden.
Um die Schadstoff Immissionen im Untersuchungsgebiet Ried flächendeckend darzustellen, wurden Ausbreitungsrechnungen mithilfe des Modellsystems GRAMM/GRAL durchgeführt. Dieses Modell wurde vom Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz entwickelt.
Das GRAMM-Modell wurde verwendet, um die Windverhältnisse in einem großen Gebiet (43,0 x 32,3 km) zu simulieren und die Ausbreitung von Luftschadstoffen zu bestimmen. Die Modellierung berücksichtigte meteorologische Daten von der permanenten Messstation Ried der ZAMG sowie die Geländestruktur, Bebauungen und unterschiedliche Bodennutzungen. Zur Bestimmung der Immissionskonzentrationen wurde das Lagrange'sche Partikelmodell GRAL herangezogen, wobei ein Auszählgitter mit einer horizontalen Abmessung von 4 m und einer vertikalen Abmessung von 2 m verwendet wurde, um die räumlichen Gradienten der Konzentrationen genau zu erfassen. Die Quellgruppen Straßenverkehr, Industrie und Hausbrand wurden bei der Ausbreitungsrechnung berücksichtigt und mit einem multiplikativen Ansatz aus Aktivität und Emissionsfaktor berechnet. Die Aktivitätsdaten des Straßenverkehrs basieren auf Verkehrszählungen aus den Jahren 2012 bis 2020 und wurden mit dem Emissionskataster OÖ verknüpft, um die Emissionsfaktoren zu berechnen. Die Daten zur Emissionsberechnung aus industriellen Tätigkeiten und zufolge des Hausbrandes basieren ebenfalls auf dem Emissionskataster OÖ. Bei der Immissionsmodellierung wurde ein jahreszeitlicher Zyklus der Emissionsfrachten berücksichtigt.

6. Ergebnisse

6.1. Thermische Belastung

Zur Bestimmung der Aufenthaltsqualität während eines Hitzetages in der Stadt Ried wurde die PET um 14 Uhr in einer Höhe von 1,5 m über Grund ausgewertet. Diese Uhrzeit wurde für die Analyse gewählt, da nicht nur die direkte Einstrahlung der Sonne, sondern auch die Wärmeabstrahlung von Gebäuden und aufgeheizten Böden zum Tragen kommt.
Die betrachtete Uhrzeit an jenem simulierten Hitzetag stellt für die gesamte Stadtgemeinde eine Belastung dar. PET-Werte ≤ 29°C (leichte Wärmebelastung) sind an dem betrachteten Simulationszeitpunkt eher eine Ausnahme. Eine leichte Wärmebelastung ist an Orten zu finden, an denen entweder hohe Vegetationsdichte vorherrscht, oder an denen sich in einem größeren Umkreis keine asphaltierten Böden oder Gebäude befinden. Beispiele für eine leichte Wärmebelastung sind der Waldfriedhof, der Stadtpark, Bäche, sowie größere Grünflächen wie im Südwesten der Stadtgemeinde. Alle weiteren Flächen weisen unter den vorgegeben meteorologischen Bedingungen moderate Wärmebelastung bis extremer Hitzestress auf. Flächen an denen starker Hitzestress PET ≤ 41°C auftritt sind beispielsweise der Bahnhof von Ried, das Messegelände und das Stadtzentrum. Im Stadtzentrum sorgt die Wärmeabstrahlung der Gebäude um die Mittagszeit für eine Erhöhung der Temperaturen, der Wind kommt durch die erhöhte Rauigkeit ebenfalls zum Erliegen. Als negative Folge sind einzelne Abschnitte von extremen Belastungen mit PET ≥ 41°C (Bsp. Schwanthalergasse) betroffen.

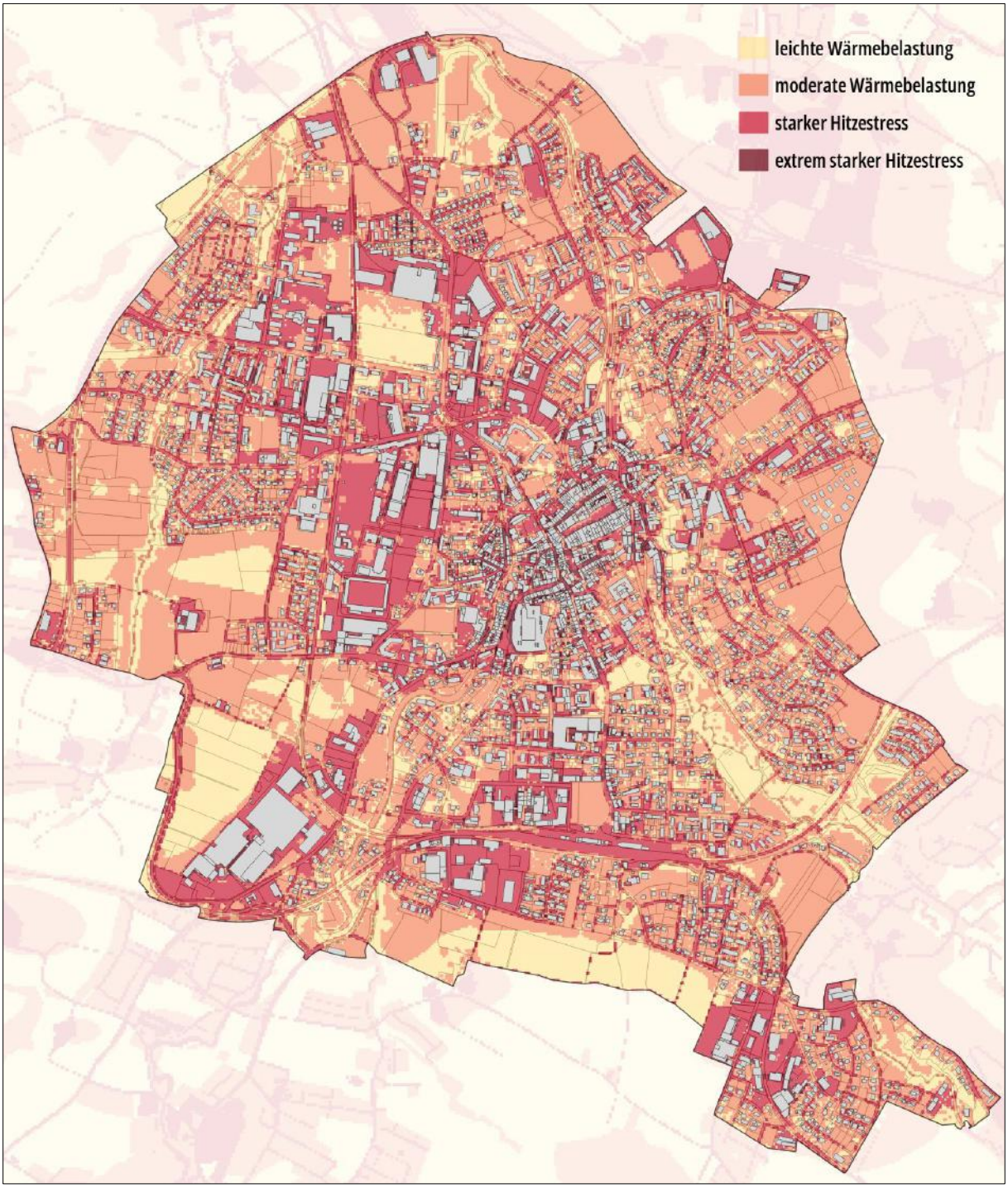

Abbildung 20: Thermische Belastung (PET) an einem Hitzetag um 14 Uhr. (Karte ohne Maßstab, Original im Anhang)

6.2. Kaltluftströmungsfeld

Die Kaltlufthöhe und Kaltluftströmung sind wichtige Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushalts. Für die Beurteilung des Kaltlufthaushalts der Stadtgemeinde Ried wurde ein weitläufiges Gebiet betrachtet, um alle möglichen Kaltluftzufuhren zu berücksichtigen. Der Simulationszeitpunkt wurde kurz vor Sonnenaufgang bestimmt, um die maximal mögliche Abkühlung einer Strahlungsnacht zu berücksichtigen.

Für die Zufuhr der Kaltluft für die Stadtgemeinde ist im Wesentlichen die südlich gelegene Hügelkette - Hausruck verantwortlich. Der auf etwa 700 m Höhe gelegene Wald produziert Kaltluft, die aufgrund von Schwerkraft zu Fließen beginnt. Änderungen der Geländeneigungen können beschleunigend oder bremsend wirken. Die Kaltluft wird also in das Stadtgebiet von Süden angeströmt. Entlang Antiesen gelangt Kaltluft in die Stadtgemeinde. Die Fließkraft kommt jedoch rasch wieder zum Erliegen, da die erhöhte Rauigkeit der Gebäude, als auch des Parks mit hohen Bäumen ein Hindernis für die Kaltluft darstellen.

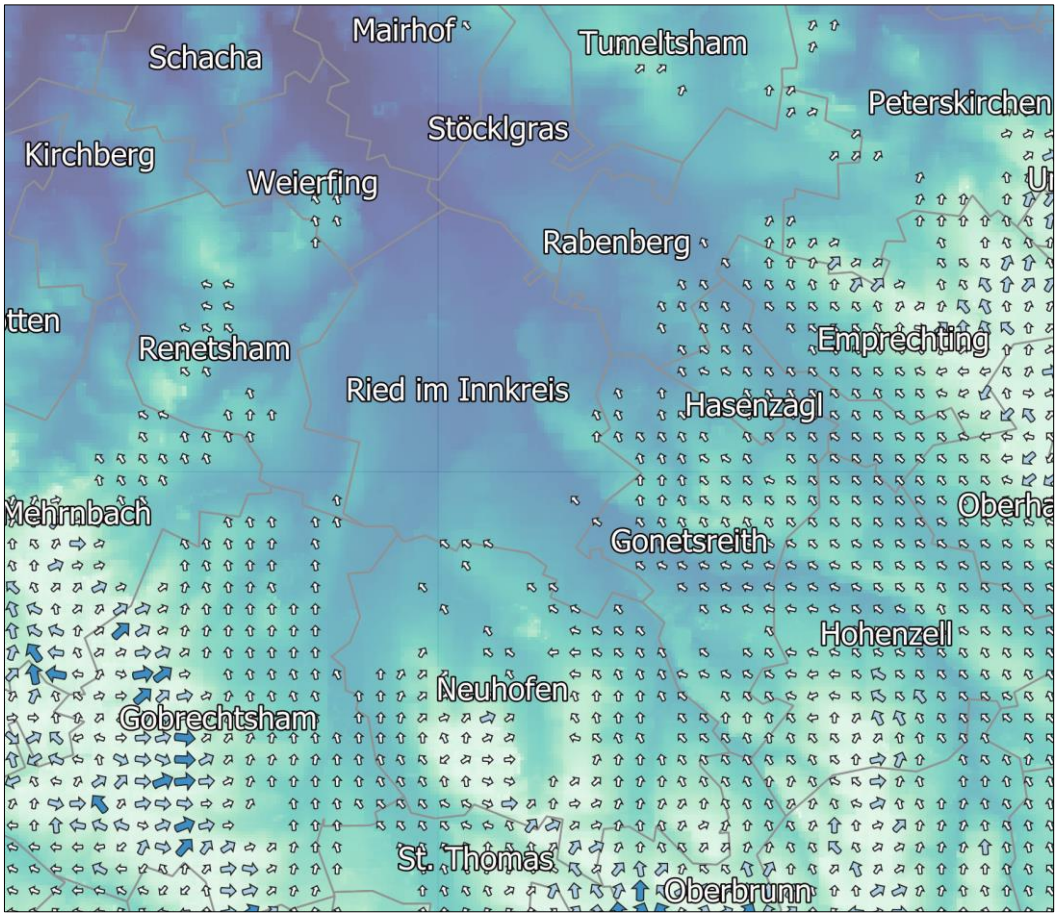

Abbildung 21: Ausschnitt Kaltlufthöhe und Strömungsfeld kurz vor Sonnenaufgang. (Karteausschnitt ohne Legende und Maßstab, Original im Anhang)

6.3. Kaltluftvolumenstrom

Der Kaltluftvolumenstrom lässt sich mathematisch durch die Multiplikation der Strömungsgeschwindigkeit, der vertikalen Ausdehnung und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts beschreiben. Mit anderen Worten, der Kaltluftvolumenstrom gibt an, wie viel Kaltluft (in m³) pro Sekunde durch einen bestimmten Querschnitt, beispielsweise einer Leitbahn, fließt. Da die Ergebnisse des Modells Klam_21 keinen natürlichen Querschnitt widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der Rasterzellenbreite als rasterbasierte Volumenstromdichte darstellen, muss der Begriff "Kaltluftvolumenstrom" hier etwas angepasst werden.

Die Kaltluftvolumenstromkarte zeigt eine großflächige Region, bei der erneut der Zeitpunkt der Simulation kurz vor Sonnenaufgang gewählt wurde. Im Vergleich zu den umliegenden Gemeinden sind auf der Karte in der Stadtgemeinde Ried eher niedrige Werte des Kaltluftvolumenstroms zu verzeichnen, was auf die langsameren Fließgeschwindigkeiten zurückzuführen ist. Die Hauptzuflüsse des Kaltluftvolumenstroms liegen hauptsächlich im Süden, Südosten und Südwesten der Stadtgemeinde.

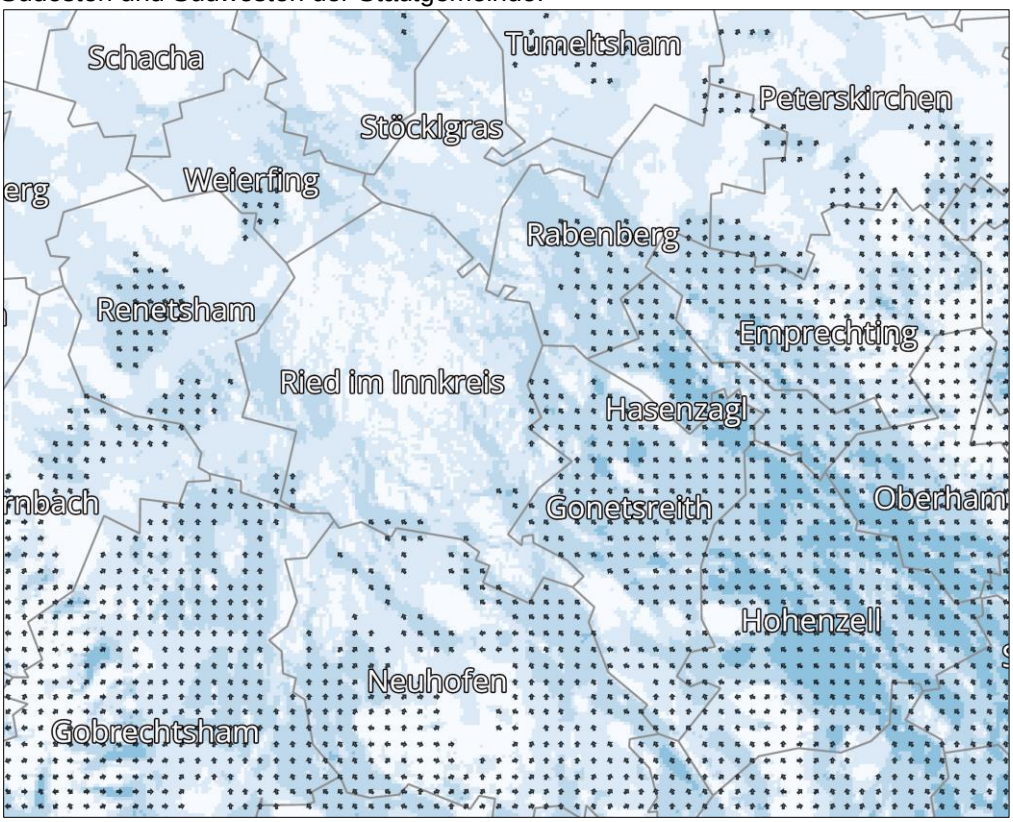

Abbildung 22: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Windfeld kurz vor Sonnenaufgang. (Kartenausschnitt ohne Maßstab und Legende, Original im Anhang)

.

6.4. Luftschadstoffe

In Ried werden die höchsten Immissionen vor allem im innerstädtischen Bereich entlang der Weberzeile und der Rainerstraße erreicht. Hier sind sowohl die höchsten Konzentrationen von Stickstoffdioxid (NO_X) als auch von Feinstaub (PM_{10}) zu verzeichnen. In Ried wurde ein NO_2-Jahresmittelwert von 19,2 µg/m³ modelliert, der Grenzwert liegt bei 35 µg/m³. Für den Schadstoff PM_{10} wurde ein Jahresmittelwert von 15,1 µg/m³ modelliert, wobei der Grenzwert von 40 µg/m³ ebenfalls nicht überschritten wurde. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass derzeit der Straßenverkehr in Ried die höchsten Belastungen verursacht. Eine hohe Verkehrsdichte und enge Straßenschluchten sorgen für schlechte Austauschbedingungen und verursachen hohe Konzentrationen von Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}).

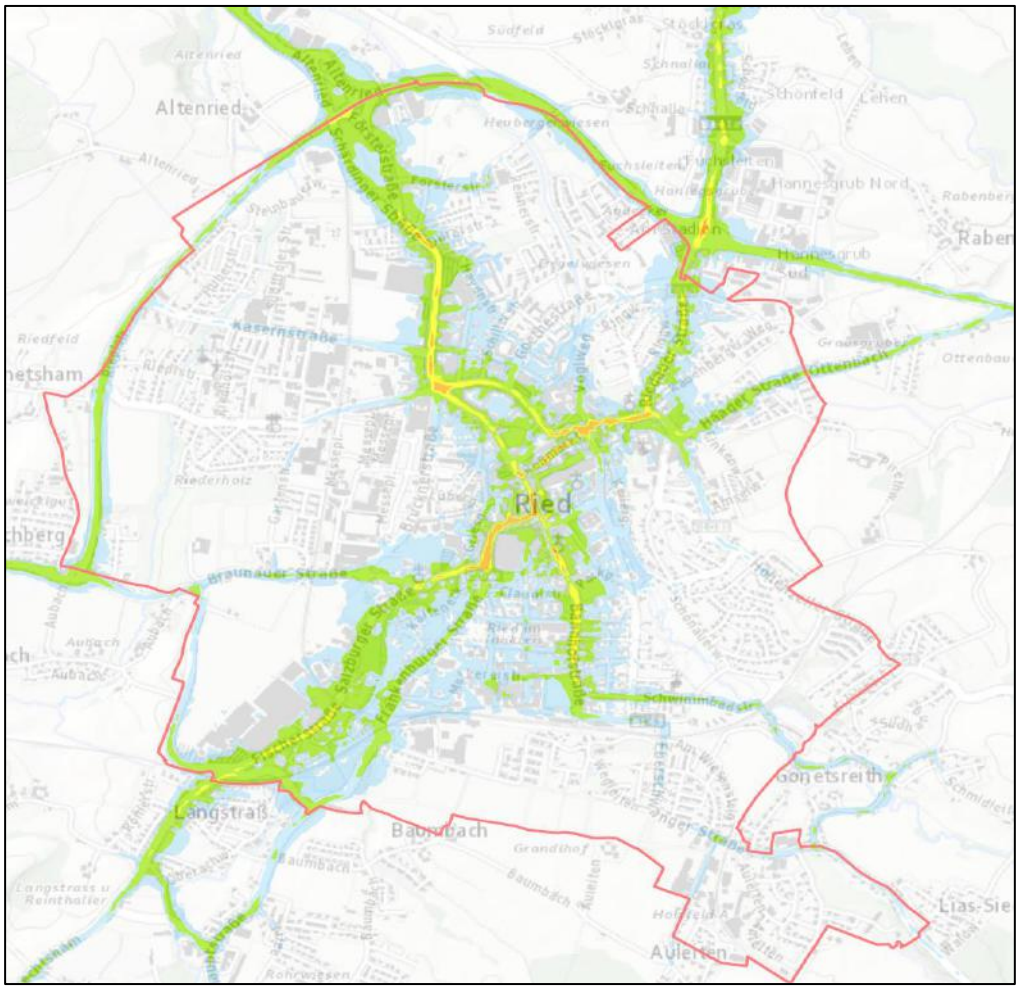

Abbildung 23: NO_2 Belastung im Jahresmittel. (Kartenausschnitt ohne Maßstab und Legende, Original im Anhang)

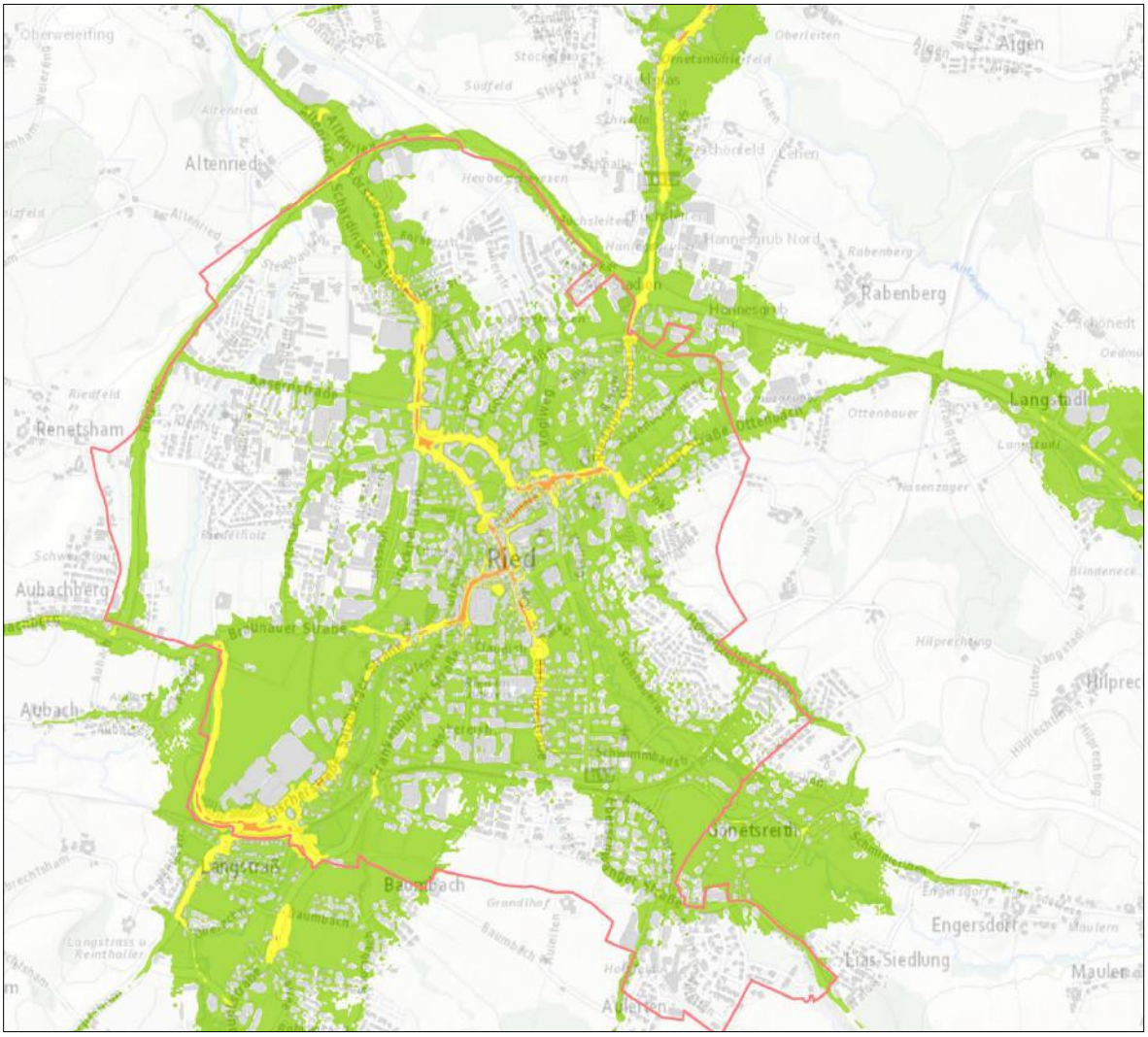

Abbildung 24: PM_{10} Belastung im Jahresmittel. (Quelle, Land OÖ. Kartenausschnitt ohne Maßstab und Legende, Original im Anhang)

6.5. Flächenversiegelung

Unter Bodenversiegelung versteht man eine Befestigung von Böden mit Beton, Asphalt oder Pflastersteinen, die die Durchlässigkeit für Luft und Wasser einschränkt. Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie unbebaute Flächen sind davon betroffen.

Die Auswirkungen der Bodenversiegelung sind vielfältig: Die Versickerung von Regenwasser wird behindert, was das Grundwasser und den Wasserhaushalt beeinträchtigt. Überschwemmungen bei Starkregen können die Folge sein. Auch das Kleinklima leidet unter der Versiegelung, da der Boden im Sommer keine Kühlung durch Verdunstungswasser liefert und Pflanzen nicht gedeihen können.

Eine weitere negative Konsequenz ist der Verlust der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Die Bodenfauna wird durch die Versiegelung vernichtet, was wiederum wichtige Funktionen für den Erhalt und die Neubildung von fruchtbaren Böden beeinträchtigt. Eine Entsiegelung ist nur mit hohen Kosten und in vielen Fällen nur eingeschränkt möglich. Auch danach bleibt die Bodenstruktur gestört und eine Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit in vorheriger Qualität ist nicht möglich.

In Ried im Innkreis sind rund 40% des gesamten Gemeindegebiets versiegelt. Zum Vergleich: in Österreich sind im Durchschnitt rund 18% des Dauersiedlungsraums versiegelt /12/. Rund 25% des Gemeindegebiets entfallen auf asphaltierte Verkehrsflächen und Flächen an und um Betriebsgebäude, rund 16% werden von Gebäuden versiegelt. Nicht nur aus genannten ökologischen Gründen ist eine derart hohe Versiegelung ungünstig. Auch klimatisch hat eine hohe Flächenversiegelung negative Auswirkungen, da die Folgen von Hitzeperioden und Starkregenniederschläge verstärkt werden.

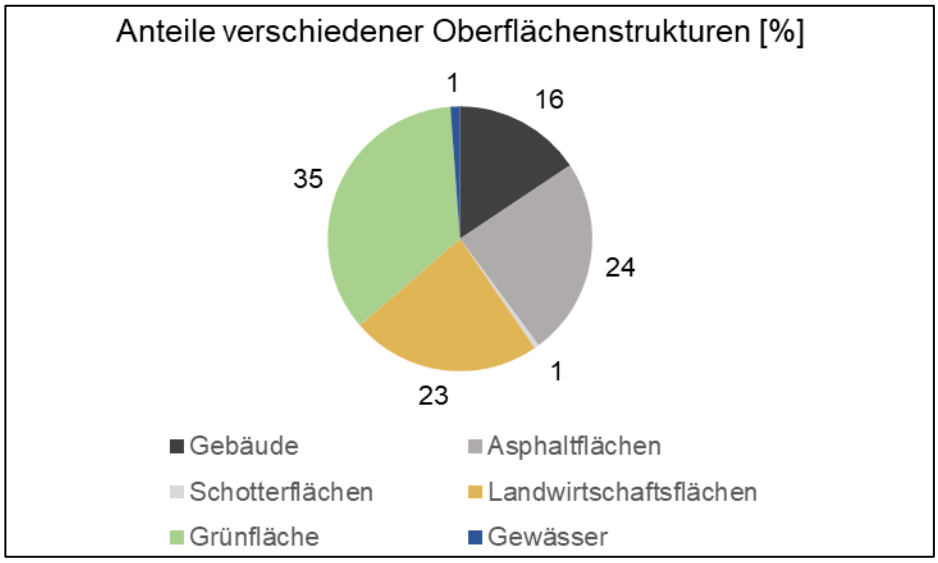

Abbildung 25: Anteile verschiedener Oberflächenbeschaffenheiten im Rieder Stadtgebiet.

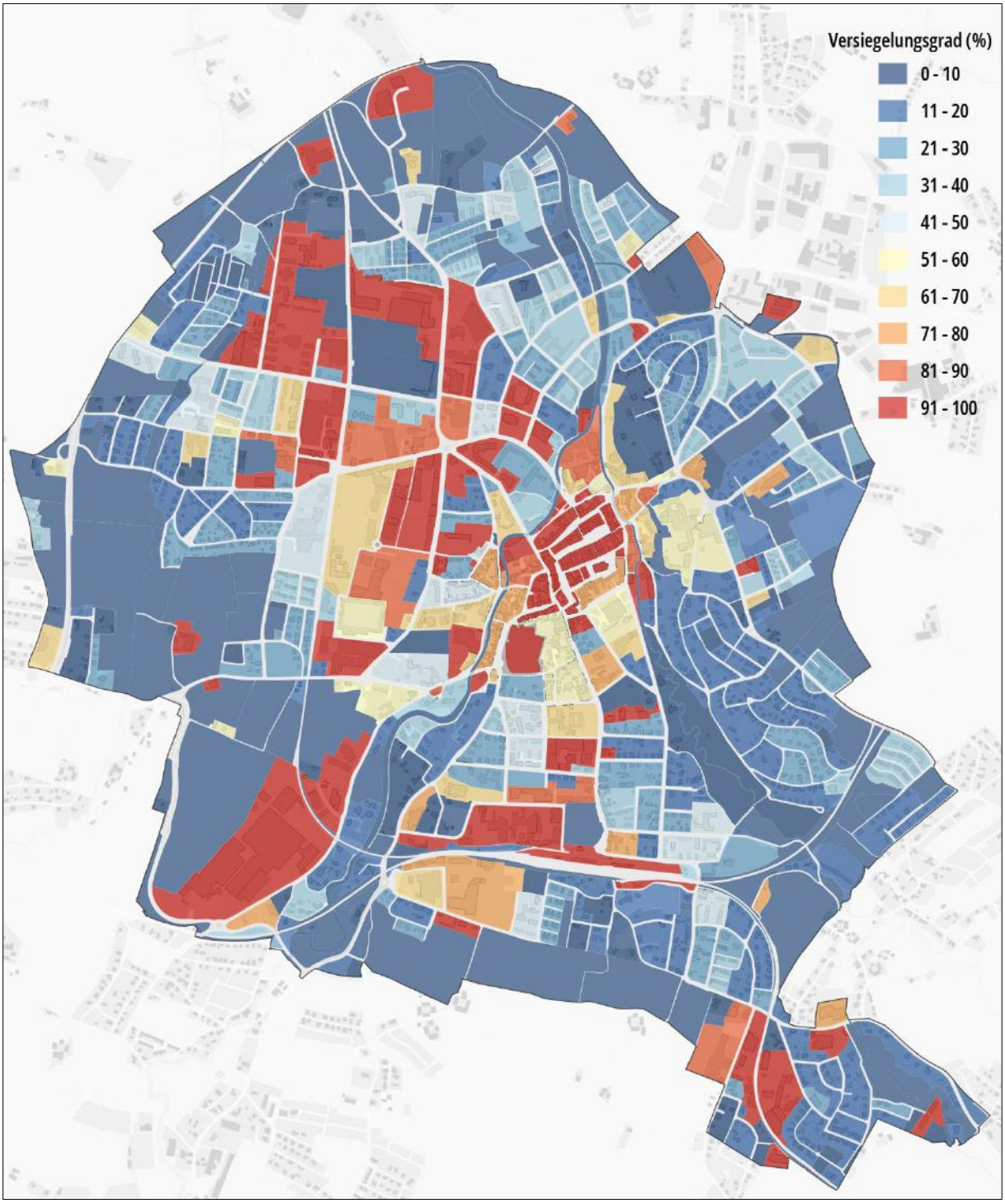

Abbildung 26: Grad der Versiegelung in Prozent. (Karte ohne Maßstab, Original im Anhang)

6.6. Beschattung

Bäume tragen auf zwei verschiedene Weisen zur Abkühlung des Klimas bei: durch Schattenspende und durch Transpiration. Während des Transpirationsprozesses verdunstet Wasser aus den Stomata auf der Unterseite der Blätter eines Baumes. Hierbei wird Wärme aus der umgebenden Luft aufgenommen, um das Wasser verdampfen zu lassen. Dadurch kühlt sich die Umgebungsluft ab. Je mehr Wasser pro Tag verdunstet, desto stärker ist die Abkühlung der Umgebungsluft. Grünflächen und Bäume sind daher essentiell für den lokalen Ausgleich des Wärmeinseleffekts in bebauten Gebieten. In Ried im Innkreis befindet sich innerhalb des Stadtgebiets und in der angrenzenden Umgebung kein großflächiges Wald- bzw. Forstgebiet. Die natürliche Beschattung im Stadtgebiet beschränkt sich bei den öffentlichen Flächen hauptsächlich auf den Stadtpark und den Friedhof und stellenweise entlang der Fließgewässer. Ansonsten findet sich eine Beschattung nur auf kleinen Flächen von Einzelbäumen und auf privaten Grünflächen. Die folgende Abbildung zeigt den Beschattungsgrad der Quartiersflächen in Ried im Innkreis

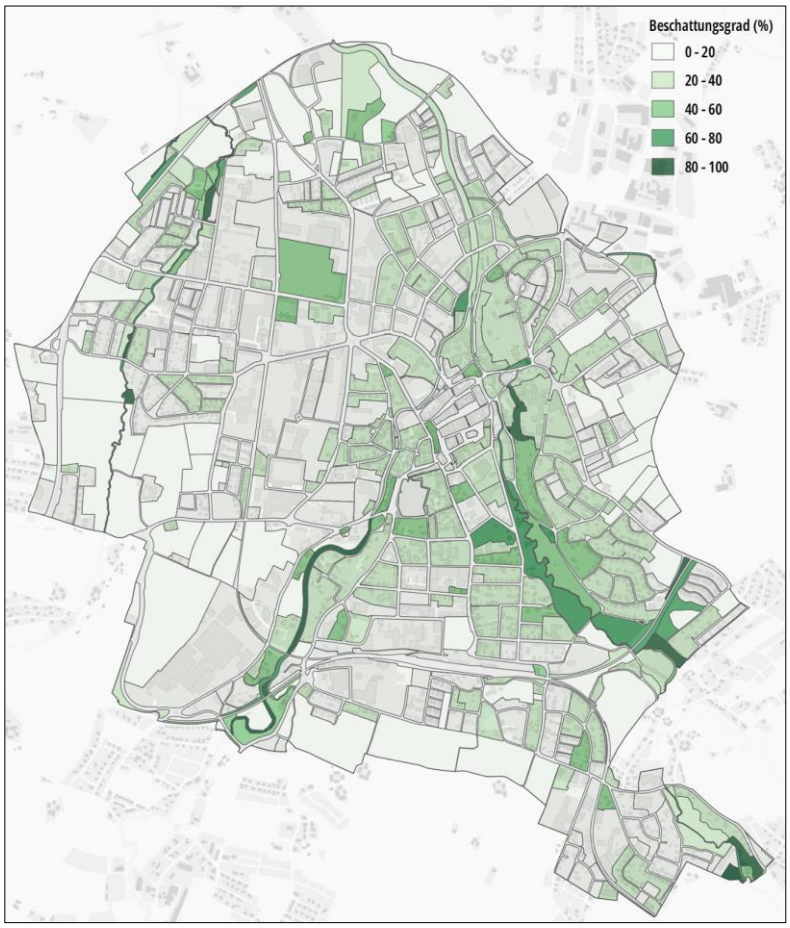

Abbildung 27: Natürlicher Beschattungsgrad durch Bäume in Prozent. (Karte ohne Maßstab, Original im Anhang)

6.7. Klimaanalysekarte

Um Zusammenhänge zwischen der Funktion von Grünflächen und bebauten Gebieten zu verstehen, ist es wichtig, die unterschiedlichen klimatischen Eigenschaften dieser Bereiche voneinander abzugrenzen. Die Kaltluftzufuhr von Grünflächen variiert beispielsweise stark, und in urbanen Gebieten kann die bioklimatische Situation aufgrund von unterschiedlichen Bebauungsstrukturen und Standorten stark schwanken. Um diese Unterschiede in den Karten für Klimaanalysen und Planungshinweise zu berücksichtigen, wurden die Blöcke basierend auf ihrer Nutzung klassifiziert und mit den Ergebnissen der Klimaparameter aus Modellberechnungen (wie Versiegelungsgrad, Windgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom, Kaltluftproduktionsrate und PET) verbunden. Darauf aufbauend wurden die Flächen verschiedenen Klimatopen zugeordnet. Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren und Bedingungen relativ homogen sind. Folgende Faktoren wirken sich in erster Linie aus:

- Flächennutzung, Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad
- Oberflächenstruktur, Rauigkeit
- Relief
- Vegetationsart/-struktur
- Lage im Stadtgebiet

Die folgende Abbildung beschreibt die Charakteristik der unterschiedlichen Klimatope nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 und allgemeine Planungshinweise für diese. Im Rieder Stadtgebiet kommt aufgrund der beschriebenen nicht vorhandenen Wald- bzw. Forstflächen das Klimatop „Waldklima“ nicht vor.

Tabelle 3: Klimatope nach VDI-RL /5/

Signatur	Klimatop	Beschreibung
	Gewässerklima	Hoher klimatischer Einfluss auf Gewässerfläche selbst und unmittelbare Nahbereiche (am Tag kühlend). Aufgrund der geringen Rauigkeit von Gewässeroberflächen werden Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt. **Planungshinweise**: Undurchlässige Strukturen (z.B. geschlossenen Bebauung oder dichte Hecken bis hin zu Waldflächen) am Uferrand vermeiden.
	Freilandklima	Überwigend über unbewaldeten, vegetationsbestandenen Außernbereichen. Zeichnen sich durch ungestörte Tagesgänge der Lufttemperatur und -feuchte und weitgehende unbeeiträchtigen Windströmungsbedingungen aus und wirken als Kaltluftentstehungsgebiete. Können hohe Ausgleichsfunktion für die human-biometeorologische belasteten bebauten Bereiche besitzen. **Planungshinweise**: Auffostungs- und Siedlngsmöglichkeiten nur entsprechend der lokalklimatischen Verhältnisse; Erhaltung des Kaltluftentstehungspotenzials.
	Waldklima	Hoher und dichter Baumbestand mit hoher Filterwirkung. Kaltluftentstehungsgebiet oberhalb des Kronenraums. Flächen erweisen sich aufgrund der geringen thermischen Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. **Planungshinweise:** erhalten und ausbauen, soweit nicht direkt in relevantem Kaltluftabfluss
	Klima innerstädtischer Grünflächen	Flächen mit hohem Vegetationsanteil deren klimatische Verhältnisse ausreichend großer innerstädtischer Park- und Grünanlagen sind zwischen denen von Freiland- und Waldklima einzustuen. Klimatische Reichweite hängt von Größe und Form, sowie Austtattung und Anbindung an die Bebauung ab. Mikroklimatische Kühlungeffekte in Abhängigkeit von Verdunstungsleistung und Beschattung sind auch bei geringer Flächengröße nachweisbar. Bei enger Vernetzung können auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen. **Planungshinweise:** erhalten und möglichst vernetzen sowie offene Randbebauung erhalten oder anstreben (Förderung des Luftaustauschs)
	Vorstadtklima	Ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen. Wird durch eine grün geprägte Flächennutzung und Oberflächenstruktur geformt. Es überwiegt der Einfluss des unbebauten Geländeanteils und daher meist gute Durchlüftung und leichte Dämpfung der Tagesgänge der Klimaelemente Lufttemperatur, -feuchte, Wind und Strahlung. Planungshinweise: weitere Versiegelung vermeiden
	Stadtrandklima	Unterscheidet sich vom Vorstadtklima durch dichtere Bebauung und einem geringeren Grünflächenanteil. Es handelt sich dennoch um eine lockere Bebauung mit relativ günstiger Durchgrünung. Hieraus resultiert eine schwächere Ausprägung der Überwärmung. **Planungshinweise:** Grünflächenvernetzung zum Freiland erhalten oder schaffen; hohe und geschlossenen Bauformen und verriegelnde Bebauung zum Umland vermeiden
	Stadtklima	Hoher Versiegelungsgrad, ausgeprägte Oberflächenrauhigkeit und geringe Grünflächenanteile, daher deutlich überwärmt. Tagsüber treten hohe strahklungbeeinflusste Lufttemperaturen auf, die zu Hitzestress führen. **Planungshinweise:** Entsiegelung, Blockentkernung und -begrünung, Fassaden- und Dachbegrünungen anstreben, hohe Verkehrsdichte vermeiden
	Innenstadtklima	Sehr hoher Versiegelungsgrad, hohe Oberflächenrauigkeit sowie geringer Grünflächenanteil, der jediglich durch Einzelbäume sowie kleine Rasen- oder Strauchvegetation charakterisiert ist. Stärkste mikroklimatische Veränderungen im Stadtgebiet, vor allem starker Wärmeinseleffekt und starke Windfeldveränderungen. Human-biometeorologoisch sehr ungüstig. **Planungshinweise:** siehe Stadtklima
	Gewerbe- und Industrieklima	Bedingt durch den hohen Versieglunggrad in Kombination mit erhöhten Emissionen kommt es verstärkt zu lufthygienischen und human-biometeorologischen Belastungssituationen. Planungshinweise: Dach- und Fassadenbegrünung, Begrünung von Parkplätzen, Flächenbegrünung und -vernetzung

+ Klimaökologische Qualität -

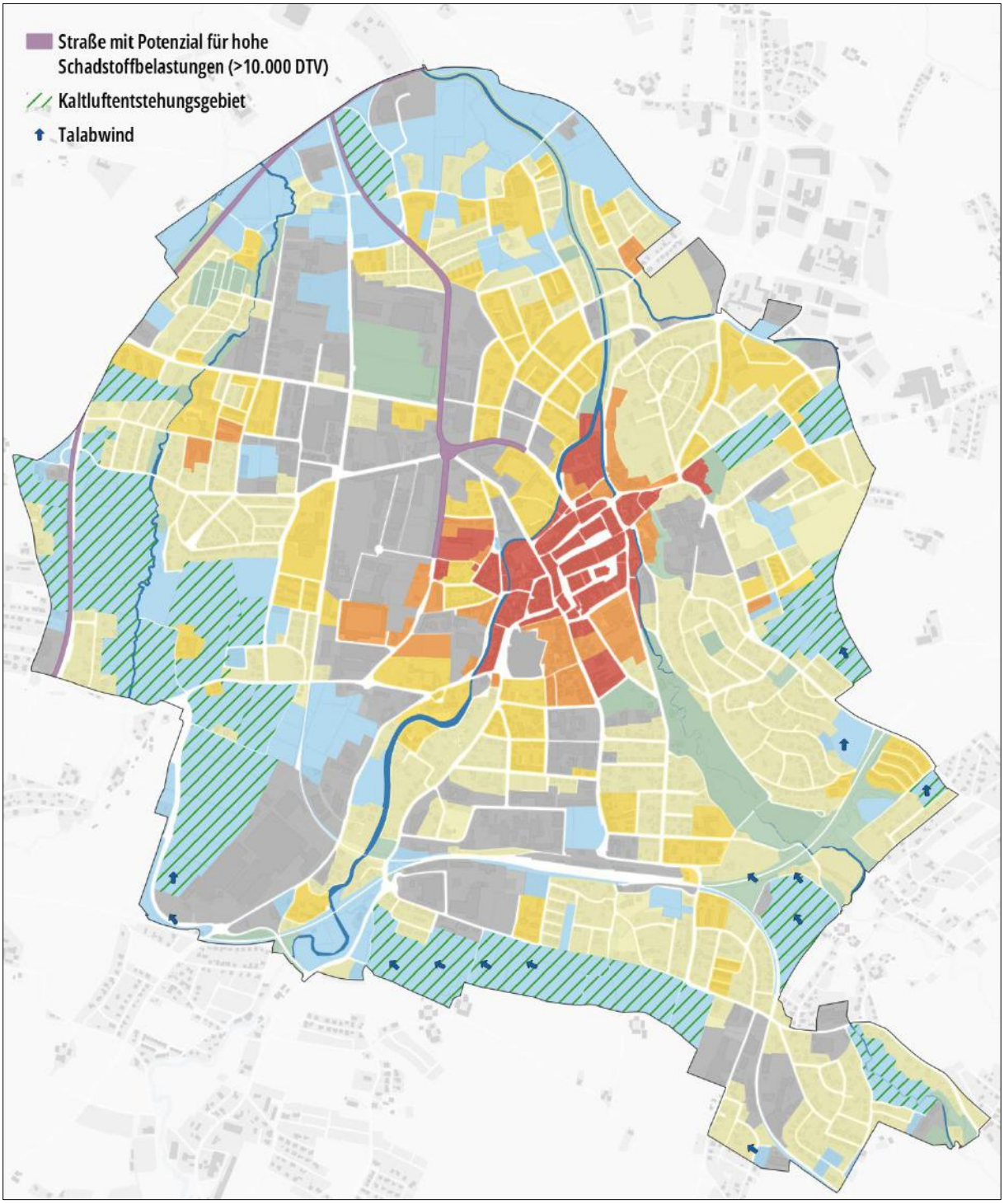

Abbildung 28: Klimaanalysekarte. (Karte mit fehlender Legende und ohne Maßstab, Original im Anhang)

7. Planungshinweiskarte

Angelehnt an die VDI 3787 Blatt 1-Richtlinie wurde die bioklimatische Belastung der Siedlungsflächen und die Bedeutung der Grünflächen als Ausgleichsraum bewertet. Anhand dieser Bewertungen werden den Flächen Planungshinweise zugeschrieben.

7.1. Vorgehensweise und Standardisierung

Die Ergebnisse der Modellierungen und Klimaanalysekarte zeigen das Geschehen in Bezug auf absolute Werte während einer autochthonen Sommerwetterlage. Die Bewertung in den Planungshinweiskarten basiert hingegen auf Unterschieden in den meteorologischen Parametern zwischen verschiedenen Gebieten. Dies ermöglicht eine Beschreibung von Belastungen und die Ableitung von Planungshinweisen, die unabhängig von einer spezifischen Wetterlage sind.

Um die Beurteilungskriterien untereinander und mit anderen Untersuchungen vergleichen zu können, müssen die Variablen standardisiert werden. Diese Standardisierung erfolgt mittels einer z -Transformation, sodass die Variablen dimensionslos unter Beibehaltung der Relationen ausgewertet werden können.

$$\mathrm{z} = \frac{\chi - \mu}{\sigma}$$

z standardisierter Wert der Variablen

χ Ausgangswert der Variablen χ

μ arithmetisches Mittel

σ Standardabweichung

Durch den Mittelwert und die obere und untere S_1-Schranke (Standardabweichung) werden die Bewertungskategorien von Gunst- zu Ungunstfaktoren eines Standorts bestimmt. Die bewerteten Kategorien der Planungshinweiskarte beinhalten Hinweise auf die klimatische Empflindlichkeit von Flächen gegenüber Nutzungsänderungen oder baulichen Eingriffen.

7.2. Bewertung der Siedlungs- und Gewerbeflächen (bioklimatische Belastung)

Zur Bewertung der Siedlungs- und Gewerbeflächen wurde der humanbioklimatische Index PET herangezogen. Die bioklimatische Bewertung ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen der Siedlungsflächen. Dies hat auch einen gewissen Einfluss auf die Situation innerhalb von Gebäuden, jedoch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren Faktoren ab und kann im Zuge dieser Untersuchung nicht ausgewiesen werden.

Folgende vier Planungshinweiskategorien wurden nach VDI-Richtlinie /5/ in Ried im Innkreis ausgewiesen:

Tabelle 4: Signaturen der Siedlungsgebiete in der Planungshinweiskarte nach VDI-RL /5/ und dazugehörige Planungshinweise

Signatur	Kategorie	Planungshinweise Siedlungsflächen	
	Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen	Vornehmlich verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind. Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig. Als Aufwertungs- und Sanierungsmaßnahmen kommen Erhöhung des Vegetationsanteils und Verringerung des Versieglungsgrads infrage. Für die Auswirkung auf die menschliche Gesundheit wird empfohlen, lokale Gunsträume (Freiräume mit Vegetation und Schatten) zu erhalten und zu schaffen.	klimaangepasst sanieren
	Bebautes Gebiet mit bedeutender klimarelevanter Funktion	In diesen Bereichen können Art und Dimension der vorhandenen Bebauung sehr unterschiedlich sein. Die Gebiete weisen allesamt eine erhebliche klimatische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Weitere Bau- und Versieglungsmaßnahmen führen zu negativen Auswirkungen auf die klimatische Situation. Für diese Flächen wird eine Erhöhung des Vegetationsanteils empfohlen. Bei nutzungsändernden Planungen in diesen Bereichen sind klimatische Detailuntersuchungen notwendig.	
	Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion	Diese Siedlungsräume weisen eine geringe klimatische Empfindlichkeit auf. Darunter fallen z.B. locker bebaute und durchgrünte Siedlungen, die nachts entsprechend abkühlen. Bei einer Intensivierung der Nutzung sollte darauf geachtet werden, dass die in diesem Gebiet vorhandene Dimension der Bebauung beibehalten werden sollte. Solche geringfügigen und der Umgebung angepassten Nutzungsänderungen ziehen keine wesentlichen klimatischen Änderungen mit sich. Eine zusätzliche Versiegelung ist minimal zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen.	klimasensibel entwickeln
	Bebautes Gebiet mit geringer klimarelevanter Funktion	Diese Gebiete weisen aufgrund ihrer Lage und ihrem hohen Vegetationsanteil keine hohen thermischen Belastungen auf und beeinträchtigen benachbarte Gebiete nicht. Zusätzliche Entwicklungen sollten nichtsdestotrotz klimasensibel ausgeführt werden, sodass keine thermische Belastung entsteht, die sowohl auf die Fläche selbst als auch auf angrenzende Gebiete negative Auswirkungen hat.	

7.3. Bewertung der Grünflächen (Ausgleichsräume)

Für die Bewertung von Grünflächen werden der Kaltlufthaushalt in der Nacht und die Aufenthaltsqualität am Tag herangezogen. Dafür wurde der Kaltluftvolumenstrom via z-Transformation klassifiziert und die „Ausstattung“ der Freiflächen (z.B. Beschattung, Entfernung zu belasteten Siedlungsgebieten, Aufenthaltsqualität etc.) ausgewertet.

Folgende zwei Planungshinweiskategorien wurden nach VDI-Richtlinie /5/ in Ried im Innkreis ausgewiesen:

Tabelle 5: Signaturen Grünflächen in der Planungshinweiskarte nach VDI-RL /5/ und dazugehörige Planungshinweise

Signatur	Kategorie	Planungshinweise Grün- und Freiflächen	
	Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung	Diese Flächen weisen eine hohe Emfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen auf. Es handelt sich um klimaaktive Bereiche mit direktem Bezug zum Siedlungsraum, wie lokalklimatische Ausgleichsräume und Flächen mit vergleichsweise hohem Kaltluftvolumenstrom. Bauliche Veränderungen und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu starken klimatischen Beeinträchtigungen. Diese klimaaktiven Freiflächen gilt es zu bewahren und ihre Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Weiteres sind nach Möglichkeit Vernetzuungen dieser Flächen, anzustreben. Sollten trotz klimatischer Bedenken in solchen Gebieten Planungen in Erwägung gezogen werden, sind dafür klimatische Detailunterscuhungen notwendig.	erhalten und vernetzen
	Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung	Diese Flächen weisen eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungänderungen auf. Auf diesen Freiflächen entstehende Kalt- und Frischluft fließt entweder nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete oder es liegt nur eine geringe Kaltluftproduktion vor. Auf derartigen Flächen ist aus klimatischer Sicht eine klimaangepasste und maßvolle Bebauung möglich. Klimatische bedeutsame lokale Gegebenheiten wie Talsohlen, Schneisen, Bachöäufe usw. sind jedoch bei der Planung zu berücksichtigen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen, die Schaffung von Dach- und Fassadenbegrünungen und möglichst geringe Gebäudehöhen sowie windoffene Gebäudeanordnungen zu empfehlen.	erhalten

Abbildung 29: Planungshinweiskarte. (Karte ohne Legende und Maßstab, Original im Anhang)

7.4. Hinweise zum Umgang mit der Planungshinweiskarte

Die Bewertungskarte bietet eine Übersicht über stadtklimatisch relevante Strukturen und ihre Bedeutung. Im Falle einer Nutzungsänderung können Grün- und Siedlungsflächen auf ihre Empfindlichkeit hin eingeschätzt werden. Aufgrund ihrer wichtigen Funktionen im Stadtökosystem ist es ratsam Grünflächen unversiegelt zu lassen. Falls dennoch Eingriffe vorgesehen sind, können entsprechende Maßnahmen aus der Empfindlichkeit abgeleitet werden. Auch Siedlungsflächen sind bei Planungen zu berücksichtigt. Die Analyse der klimaökologischen Funktionen ermöglicht eine fundierte Ersteinschätzung von Planungsvorhaben. Für detaillierte Aussagen und Untersuchungen müssen jedoch klimatisch empfindliche Bereiche geprüft werden. Räumlich hochauflösende Aussagen zu Wirkungen einzelner Gebäude und Verschattungen sind auf Basis der Bewertungskarte nicht möglich.

Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass bei der Entscheidung über Maßnahmen zur Klimaanpassung neben den vorliegenden klimatischen Bewertungen auch soziale Aspekte berücksichtigt werden müssen. Zu besonders vulnerablen Gruppen zählen Personen mit niedrigem Einkommen, armuts- oder ausgrenzungsgefährdete Personen, energiearme Personen, ältere Menschen, Kinder, chronisch kranke Personen, Menschen mit Migrationshintergrund, Alleinerziehende, Menschen mit Behinderung, Frauen und Personen mit niedrigem Bildungsstand /13/.

Die Planungshinweiskarte ist eine wichtige Grundlage für zukünftige Stadtplanungen und Entwicklungsstrategien. Besonders wichtige Teile der Planungshinweiskarte, wie zum Beispiel der Schutz von sehr bedeutenden Ausgleichräumen, ist daher auch rechtlich bindend zu verankern.

8. Empfehlungen

In Ried im Innkreis ist die Flächenversiegelung überdurchschnittlich hoch, was die Auswirkungen des Klimawandels auf das Lokalklima verstärkt. Es ist zu beachten, dass jede neue Entwicklung auf unberührtem Grün- und Freiraum zusätzliche Umweltbelastungen und Flächenverbrauch mit sich bringt. Der Flächenverbrauch hat einen "kumulativen Effekt", was bedeutet, dass nicht die Größe einer Einzelfläche ausschlaggebend ist, sondern der Effekt der Gesamtzahl von "kleinen" Flächennutzungsänderungen. Ein zentrales Ziel für die Anpassung an den Klimawandel für Ried im Innkreis ist also die Reduktion der versiegelten Flächen. Dafür könnten Verkehrsflächen und Betriebsflächen für die Begrünung verfügbar gemacht werden (z.B. durch mehr Hoch- und Tiefgaragen und generelle Reduktion des Kfz-Verkehrs). Ist die Versiegelung weiterer Flächen unvermeidbar, kann eine Kompensation durch die Entsiegelung an anderer Stelle erfolgen.

Die Lage der Stadtgemeinde bedingt eine ungünstige Durchlüftungs- und Abkühlungssituation bei beschriebenen autochthonen Wetterlagen. Dies hat zu Folge, dass die nächtliche Abkühlung und der Luftaustausch zur Verminderung der Luftschadstoffbelastung geringer sind, als in günstigeren Kaltluftlagen. Daher sind die Reduktion von Schadstoffen und die Schaffung von hochwertigen lokalen Ausgleichsflächen wie beispielsweise Grünflächen besonders zentral, um der Überhitzung und der Schadstoffbelastung auf Quartiersebene entgegenzuwirken. Hochwertige großflächige Ausgleichflächen bilden derzeit nur der Stadtpark und der Friedhof, welcher für eine Freizeitnutzung nur sehr eingeschränkt nutzbar ist. Die Schaffung von Ausgleichsflächen in allen Stadtteilen ist anzustreben, sodass Bewohner:innen vor allem bei Hitzestress überall fußläufig Zugang zu qualitativ hochwertigen Erholungsflächen mit Beschattung haben.

Im Folgenden sind einige allgemeine Maßnahmen zusammengefasst, die auf verschiedenen Planungsebenen wirken.

Regionalplanung

Bei der Regionalplanung ist auf übergeordnete klimatische Phänomene in der Mesoskala zu achten wie beispielsweise Kalt-/Frischluftentstehungsgebiete, Kalt-/Frischluftleitbahnen. Für eine regionale Klimaanalyse kann die langfristige Klimaauswertung der GeoSphere Austria als Grundlage herangezogen werden.

Stadtentwicklungs-/Flächennutzungsplanung

Bei der Planung von Stadtentwicklungen oder der Nutzung von Flächen ist das Mesoklima und das Mikroklima zu berücksichtigen. Hier einige Beispiele dazu:

- Vernetzung von Grünräumen: Die Vernetzung von Grünflächen bezieht sich auf die Schaffung von Verbindungen zwischen verschiedenen Grünflächen wie Parks, Wäldern, Naturreservaten und anderen natürlichen Gebieten. Vorteile davon sind: Schaffung von Lebensräumen, Verbesserung der Luftqualität, Reduzierung Hitzeinseln, Erholungsgebiete schaffen.
- Freihalten von Kaltlufteinzugsgebieten: zb. Schaffung von Schutzzonen, Sensibilisierung in der Öffentlichkeit, Freihalten von Bebauung.
- Verschattung von Parkplätzen, Straßen, Plätzen: hier bietet sich die Verschattung von großkronigen Bäumen an.
- Wasserflächen in öffentlichen Räumen: infolge der Verdunstung des Wassers wird ein kühlender Effekt erreicht. Beispielen sind: Springbrunnen, Wasserspiele, Wasservernebler.
- Entsiegelung: hier eignen sich großflächige Abstellplätze für Kfz; in Abhängigkeit der Nutzung kann über den Einsatz von Pflasterrasen, Rasengittersteinen nachgedacht werden. Bei zusätzlicher Versiegelung kann eine Kompensation mittels Begrünung an anderen Orten erfolgen.
- Grüne Infrastruktur: Die Schaffung von grünen Infrastrukturen wie Parks, Grünflächen und Baumpflanzungen kann dazu beitragen, das lokale Mikroklima zu verbessern, indem sie Schatten und Abkühlung bieten.
- Verkehrsberuhigung: Die Reduzierung des Verkehrs, die Förderung von Fahrradwegen und Fußgängerzonen und die Einrichtung von Grünstreifen entlang von Straßen können dazu beitragen, die Luftqualität zu verbessern.
- Lufthygiene verbessern: Beispiele sind Verkehrsberuhigung, Förderung erneuerbarer Energien, Gebäudeeffizienz, Grünflächen.

Bebauungsplanung

Bei der Planung von Gebäuden spielt das Mikroklima eine wichtige Rolle, da es maßgeblich von der Umgebung abhängt. Bei der Bebauung von Freiflächen und der Nachverdichtung von bestehenden Siedlungsflächen sollte mithilfe von Detailstudien zur Durchlüftung und thermischen Komfort durchgeführt werden, um die Planung möglichst klimasensibel auszuführen. Es gibt viele lokale Maßnahmen, die dazu beitragen können, auf kleinräumige Klimamodifikationen

einzugehen und das Mikroklima in einem bestimmten Gebiet zu verbessern. Hier sind einige Beispiele:

- Gründächer: Gründächer sind eine Möglichkeit, um das Mikroklima in der Umgebung zu verbessern, indem sie Schatten und Kühleffekte bieten und zur Reduzierung der Hitzeinseln beitragen.
- Begrünung von Gebäuden: Die Begrünung von Gebäuden, wie zum Beispiel die Installation von vertikalen Gärten oder Hängepflanzen, kann dazu beitragen, die Luftqualität zu verbessern und die Temperaturen in der Umgebung zu senken.
- Beschattung erhöhen: mit beispielsweise Pflanzen oder Bäumen.
- Regenwassermanagement: Durch die Einrichtung von Regenwassermanagementsystemen wie Regentonnen, Dachrinnen und wasserdurchlässigen Oberflächen kann das Mikroklima verbessert werden, indem eine bessere Bewässerung und Abkühlung der Umgebung ermöglicht wird.
- Ausrichtung des Gebäudes für besseren Windkomfort: Die Ausrichtung des Gebäudes sollte in Bezug auf die vorherrschende Windrichtung optimiert werden. Wenn das Gebäude so ausgerichtet ist, dass es den Wind abfängt, kann dies zu starken Windböen und unangenehmen Windverhältnissen im Außenbereich führen.
- Energetische und thermische Gebäudesanierung: Durch den Einsatz von moderner Gebäudetechnik, wie zum Beispiel einer intelligenten Gebäuderegelung, kann der Energieverbrauch von Gebäuden reduziert werden, was wiederum dazu beiträgt.
- Wahl des richtigen Materials: Helle oder weiße Materialien können dazu beitragen, die Sonnenstrahlen zu reflektieren und die Aufnahme von Wärme im Gebäude zu reduzieren.

9. Literaturverzeichnis

/1/ NASA Global Climate Change. (2021, May 26). The consequences of changing Earth's temperature. NASA. https://climate.nasa.gov/effects/

/2/ ZAMG. (n.d.). Die Klimaveränderung in Österreich. https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationen-zum-klimawandel/klimawandel-in-oesterreich

/3/ European Commission. (2020, September 17). EU proposes to increase its 2030 climate target to at least 55%. European Commission - European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1610

/4/ IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp

/5/ VDI 3785 Blatt 1 (2008): Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Beuth Verlag, Berlin.

/6/ VDI 3787 Blatt 2 (2021): Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. Beuth Verlag, Berlin.

/7/ VDI 3787 Blatt 2 (2021): Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. Beuth Verlag, Berlin.

/8/ VDI 3787 Blatt 4 (2020): Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung. Beuth Verlag, Berlin.

/9/ VDI 3787 Blatt 5 – Lokale Kaltluft (2003): Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL. Beuth Verlag, Berlin

/10/ Deutscher Wetterdienst (2021): Stadtklima. Wetter- und Klimalexikon. Online: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102558

/11/ ZAMG, WEGC, & Z_GIS (2015): ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich. Download online verfügbar: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/oeks15.html

/12/ Umweltbundesamt (2021): Bodenverbrauch in Österreich
https://www.umweltbundesamt.at/news21062

/13/ BMPSK (2021): Soziale Folgen des Klimawandels in Österreich.