



Klimaanalyse Chur und Kanton Graubünden

Beschreibung der Klimaanalyse- und Planhinweiskarte

Impressum

Auftraggeber	Stadt Chur, Dep. Bau Planung Umwelt
Kontaktperson	Marco Cavelti, Leiter Hochbau
Adresse	Masanserstrasse 2 7001 Chur
Datum	06.09.2023
Aktuelle Version	Schlussbericht, 16.11.2023, rev 06.02.2024
Ältere Versionen	-
Projekt	klimamodellierung_chur_21_0248
Datei	Klimaanalyse Chur und Kanton Graubünden_20240206.docx
Erstellt durch	Dr. Michael Schmutz
Kontrolliert durch	08.09.2023 Dr. Anne-Kathrin Weber
Genehmigt durch	08.09.2023 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

1	Einleitung	5
2	Modellgestützte Klimaanalyse	6
2.1	Modellperimeter und Kartenausschnitte	6
3	Klimaanalysekarten	8
3.1	Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) 8	
3.2	Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte mit Strömungsfeld.....	10
3.3	Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte und nächtliche Überhitzung	12
4	Planhinweiskarten	14
4.1	Planhinweiskarte Tag.....	14
4.2	Planhinweiskarte Nacht.....	15
5	Interpretationsbeispiel Lacuna Quartier.....	17
6	Klimaszenarien.....	22
6.1	Datengrundlage	22
6.2	Klimaindikatoren	23
6.3	Klimaszenarien im Überblick.....	25
6.4	Entwicklung von Klimaindikatoren	28

Abbildungen

Abbildung 1:	Übersicht der Kartenausschnitte für die Stadt Chur und den Kanton Graubünden	6
Abbildung 2:	Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET).....	9
Abbildung 3:	Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET). Ausschnitt Stadt Chur.....	10
Abbildung 4:	Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte mit Strömungsfeld.	11
Abbildung 5:	Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte mit Strömungsfeld. Fokus Stadt Chur.....	12
Abbildung 6:	Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte und nächtliche Überhitzung.	13
Abbildung 7:	Planhinweiskarte Tag mit Fokus auf die Stadt Chur.....	14
Abbildung 8:	Planhinweiskarte Nacht mit Fokus auf die Stadt Chur.....	15
Abbildung 9:	Planhinweiskarte Nacht, Ausschnitt Lacuna-Quartier.	17
Abbildung 10:	Planhinweiskarte Tag, Ausschnitt Lacuna-Quartier.....	18

Abbildung 11: 3D Gebäude- und Vegetationsdarstellung (swissBUILDINGS3D 2.0, swisstopo) des Lacuna-Quartiers sowie des westlich gelegenen EFH-Quartiers.	19
Abbildung 12: Rasterzellen mit hoher Vegetation (grün) in der Modellierung. Ausschnitt Lacuna-Quartier.	19
Abbildung 13: Nächtliches Windfeld im Raum Lacuna-Quartier.....	21
Abbildung 14: Darstellung der Emissionspfade verschiedener RCP-Szenarien (IPCC 2013)	23
Abbildung 15: Temperatur Zeitreihen an den Standorten Bad Ragaz, Chur und Ilanz für die historischen Messdaten und die Klimaszenarien.	25
Abbildung 16: Klimaindikatoren (Temperatur, Maximumtemperatur, Minimumtemperatur, Tropennächte) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.	26
Abbildung 16: Anomalien von Klimaindikatoren für den Standort Chur gemäss dem mittleren Zukunftsszenario RCP45.	27
Abbildung 17: Klimaindikatoren (Hitzetage, Hitzeperiodenlänge, Tropennächte, Kühlgradtage) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.	30
Abbildung 17: Klimaindikatoren (Frosttage, Heizgradtage, Vegetationsperiode, Vegetationsperiode Start) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.....	31
Abbildung 17: Klimaindikatoren (Hitzetage, Hitzeperiodenlänge, Tropennächte, Kühlgradtage) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.	32

1 Einleitung

Die Stadt Chur und der Kanton Graubünden haben sich im Rahmen laufender oder bevorstehender Klimastrategien im Zeitraum 2021-2022 dafür entschieden, eine planerische Entscheidungsgrundlage basierend auf einer modellgestützten Klimaaanalyse zu erarbeiten. Die modellgestützte Klimaaanalyse 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.

Die modellgestützte Klimaaanalyse für die Stadt Chur und den Kanton Graubünden wurde im Rahmen weiterer Klimaaanalysen im Raum Ostschweiz angefertigt. Die technischen Details bezgl. der modellgestützten Klimaaanalyse sind der separaten Dokumentation für alle beteiligten Projektpartner zu entnehmen:

«Modellgestützte Klimaaanalyse: Technische Dokumentation der modellgestützten Klimaaanalyse und der Umsetzung der Ergebnisse in Klimaaanalysekarten und Planhinweiskarten für die Projektpartner» (2023)

Der vorliegende Kurzbericht gibt einen Überblick über die erstellten Klimaaanalyse- und Planhinweiskarten. Exemplarisch werden die dargestellten Klimaparameter und Prozesse mit dem Fokus auf die Stadt Chur erläutert. Die Diskussion der Karten soll eine Lesehilfe für die dargestellten Inhalte bieten und bei der Interpretation für stadthitzetechnisch relevante Fragestellungen helfen.

2 Modellgestützte Klimaanalyse

2.1 Modellperimeter und Kartenausschnitte

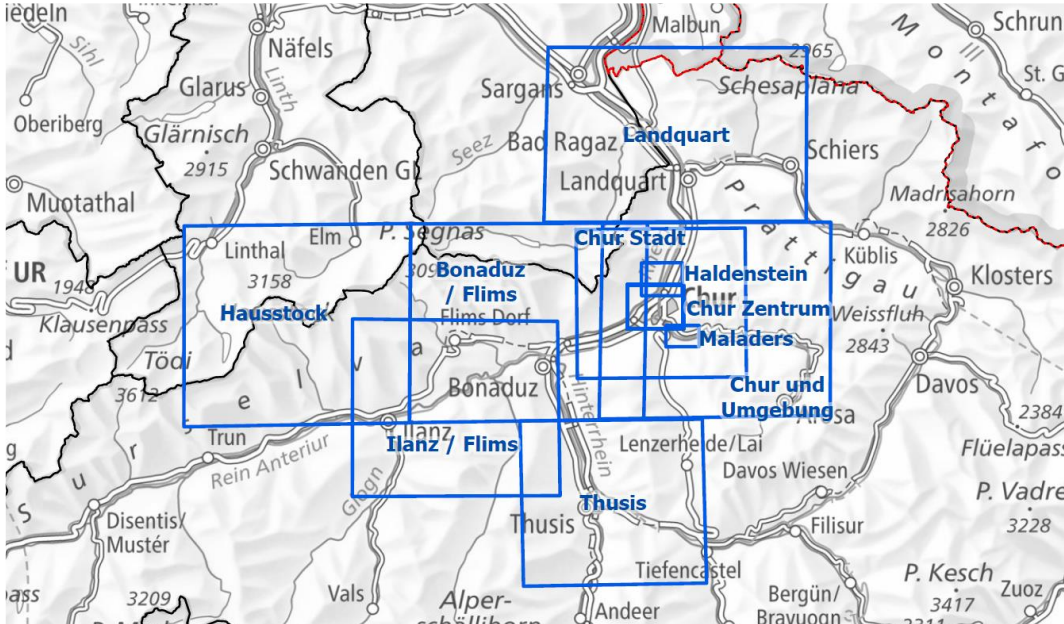


Abbildung 1: Übersicht der Kartenausschnitte für die Stadt Chur und den Kanton Graubünden

Der Kanton Graubünden zählt als Bergkanton zu den bevölkerungsärmsten Kantonen der Schweiz mit einer Bevölkerungsdichte von rund 28 Personen pro Quadratkilometer. Die grösste Gemeinde ist die Stadt Chur mit 38'192 Einwohnern gefolgt von Davos (10'732), Landquart (9'153) und Domat/Ems (8'199) (Stand 31.12.2022). Die restlichen rund 130'000 Einwohner verteilen sich auf die restlichen 97 Gemeinden mit <5'000 Einwohnern. Die meisten grösseren Siedlungen befinden sich entlang des Talbodens des Rheintals zwischen Landquart und Ilanz bzw. Thusis. Die Talachse der Landquart im Prättigau sowie des Inn im Engadin stellen weitere Siedlungsräume mit relevanter Bevölkerungsdichte dar.

Für die vorliegende Klimaanalyse wurde entschieden, den Fokus auf die Stadt Chur, das Rheintal zwischen Landquart, Ilanz und Thusis sowie den unteren Bereich des Prättigaus zu legen. Aufgrund der Höhenlage und der Bevölkerungsverteilung beschränkt sich die Thematik der Stadthitze im Kanton Graubünden vornehmlich auf diesen Bereich des Rheintals. Die höher gelegenen Siedlungsgebiete in der Surselva, dem Engadin oder dem Landwassertal sind aufgrund der Höhe von meist deutlich über 1000 m ü.M. kaum von stadthitzetechnischen Fragestellungen betroffen, aber erfahren im Zusammenhang mit dem Klimawandel insbesondere vermehrt die Folgen diverser Naturgefahren.

Für die in Abbildung 1 ausgewiesenen Kartenausschnitte stehen die folgenden thematischen Karten zur Verfügung:

Klimakarten Nacht Kaltluftvolumenstromdichte und Strömungsfeld
Klimakarten Nacht Kaltluftvolumenstromdichte und Überhitzung
Klimakarten Nacht Lufttemperatur
Klimakarten Tag PET
Planhinweiskarten Nacht
Planhinweiskarten Tag

3 **Klimaanalysekarten**

In den nachfolgenden Abschnitten werden zusammenfassend Ergebnisse aus den Klimaanalysekarten diskutiert. Die jeweiligen Kartenblätter sind zur Orientierung als Abbildungen eingefügt. Für eine Detailbetrachtung sollten jedoch die separat verfügbaren hochauflösenden Karten beigezogen werden.

3.1 **Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)**

Die Klimaanalysekarte der Tagsituation (Abbildung 2) zeigt die modellierte Hitzebelastung auf den menschlichen Körper basierend auf dem Hitzeindex der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET), welcher diverse Parameter wie Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung berücksichtigt. Tagsüber an einem Hitzetag mit geringen Windgeschwindigkeiten zeigen sich dabei insbesondere die direkte Sonneneinstrahlung und die Wärmeabstrahlung der Oberflächen zusammen mit der Lufttemperatur als Haupteinflussfaktoren auf das menschliche Wohlbefinden. Im Überblick lässt sich erkennen, dass sich die grössten Unterschiede in der Wärmebelastung zwischen beschatteten (meist bewaldeten) Flächen und offenen Freiflächen zeigen. In den Höhenlagen zwischen dem Talboden mit 500-700 m ü.M. und den anliegenden Hängen bis rund 1000 m ü.M. weisen die bewaldeten Gebiete mit einer PET zwischen 27°C und 35°C eine mässige Wärmebelastung auf. Im Vergleich dazu lassen sich auf landwirtschaftlichen Freiflächen im Talboden grossflächig PET Werte zwischen 35°C und 41°C erkennen, was einer starken Wärmebelastung entspricht. PET Werte über 41°C, was einer extremen Wärmebelastung entspricht, sind mit Ausnahme südwestorientierter Hanglagen insbesondere im Siedlungsraum zu finden. Gebiete mit keiner oder schwacher Wärmebelastung beschränken sich grossflächig auf Gebiete >1000 m ü.M. und/oder topographisch bedingt auf stark abgeschattete Taleinschnitte.

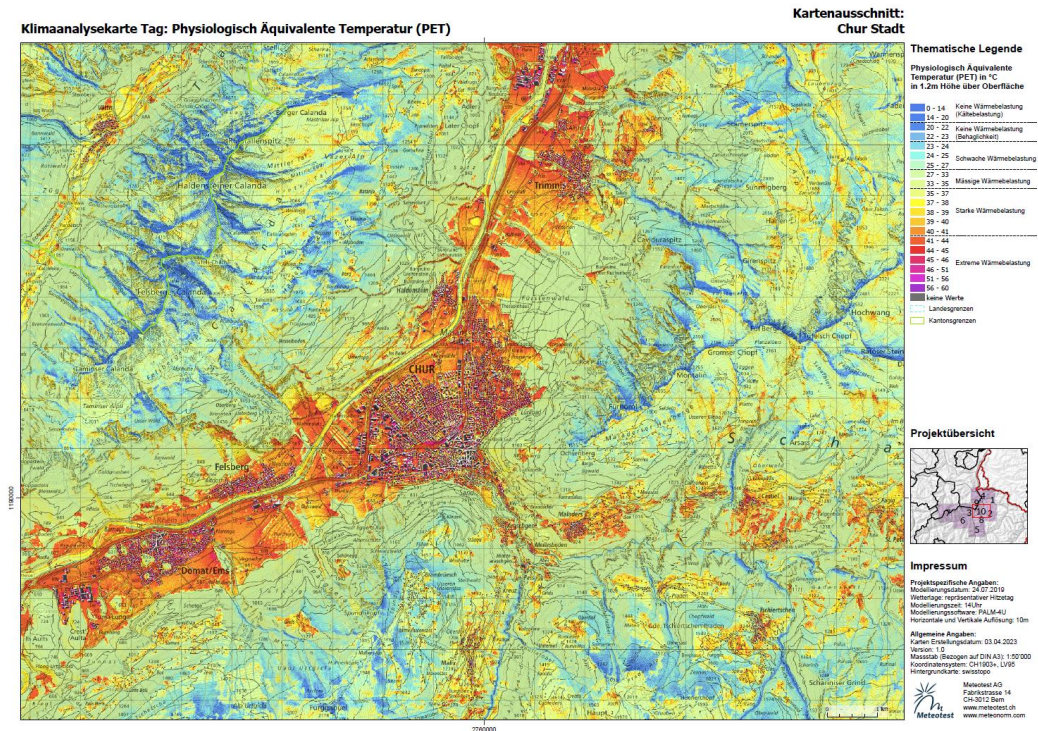


Abbildung 2: Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET).

Das Modellergebnis zeigt mit Fokus auf die Stadt Chur (Abbildung 3) tagsüber eine deutlich höhere Wärmebelastung im Bereich der grossflächig versiegelten Industrie- und Gewerbeflächen im Südosten, sowie in den sehr dicht bebauten Einfamilienhausquartieren mit wenig hoher Vegetation. Im Vergleich dazu zeigt sich beispielsweise im Lacuna Quartier, dass sich der Beschattungseffekt durch hohe Gebäude und hohe Vegetation in einer deutlich reduzierten PET äussert. Die Hitzebelastung ist durch die ausgeprägte Beschattung und offene Bauweise in diesen Quartieren bis zu 10°C (PET) geringer.

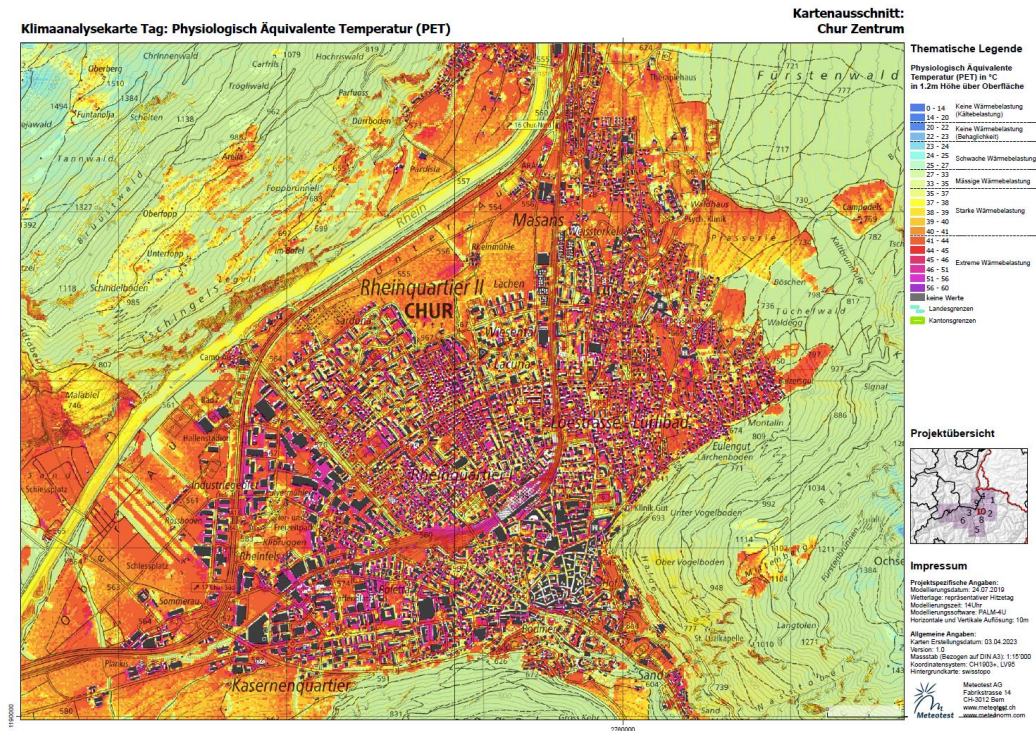


Abbildung 3: Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET). Ausschnitt Stadt Chur.

3.2 Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte mit Strömungsfeld

Die Klimaanalysekarte der Nachtsituation (Abbildung 4) zeigt das nächtliche Strömungsfeld und die lokale Kaltluftvolumenstromdichte. Anhand des Strömungsfeldes lässt sich die Stärke und die Richtung der Kaltluftströmungen erkennen. Zudem hilft Strömungsfeld zum Verständnis der zusammenhängenden Windsysteme, d.h. welche Grünflächen für die Kaltluftversorgung eines Siedlungsgebietes potentiell relevant sind. Grundsätzlich folgen Kaltluftströmungen dem Gefälle. In einem gebirgigen Standort dominieren hangabwärts sowie talabwärts gerichtete Strömungen. Die Hangabwinde schwenken dabei in den meisten Fällen beim Auftreffen auf den Talboden in die talabwärts gerichtete Strömung ein. Nur selten strömen sie lateral über den Talboden hinweg.

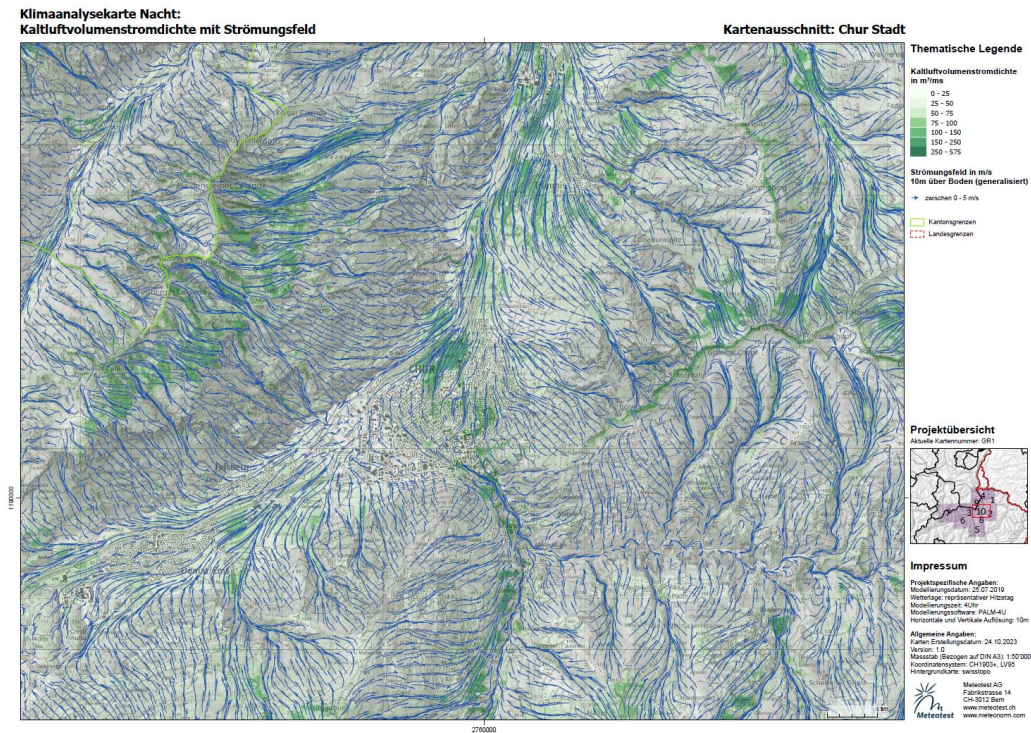


Abbildung 4: Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte mit Strömungsfeld.

Die Stadt Chur weist durch die Lage im Rheintal am Auslauf des Churwaldnertals und des Schanfigg ein von verschiedenen Seiten beeinflusstes Kaltluftströmungsfeld auf (Abbildung 5). Übergeordnet lässt sich der dominante Bergwind des Rheintals erkennen, welcher dem Talverlauf folgend aus Richtung Domat/Ems in Richtung Landquart die Hauptwindrichtung bestimmt. Nördlich von Chur sind Hangabwinde aus dem Gebiet der Haldensteiner Alp erkennbar, welche jedoch am Talboden unmittelbar durch den Rheintaler Bergwind abgelöst werden und nicht bis in das Siedlungsgebiet jenseits des Rheins einzudringen vermögen.

Südlich von Chur steht das Kasernenquartier unter dem Einfluss von Hangabwinden aus dem Bereich des Pizoggel und das Quartier Loestrasse-Lürlibad im Einwirkungsbereich von Kaltluftströmungen ausgehend vom Mittenberg. Die Churer Altstadt und das Sand Quartier werden hingegen durch eine charakteristische Strömung aus dem Churwaldnertal und des Schanfigg durchlüftet. Der Einfluss dieser Strömung reicht entlang der Plessur bis in den Bereich des Rheinquartiers I und II, bevor ein Einschwenken in die Hauptwindrichtung des Tals zu beobachten ist.

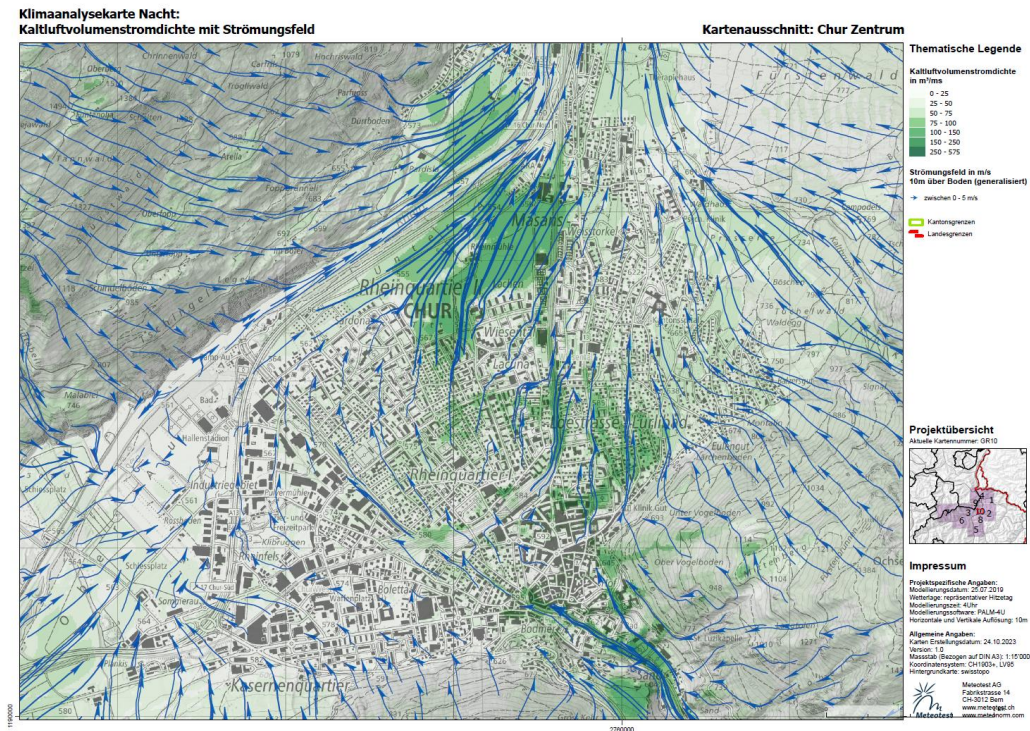


Abbildung 5: Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte mit Strömungsfeld. Fokus Stadt Chur.

3.3 Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte und nächtliche Überhitzung

Die nächtliche Klimaanalysekarte mit der kombinierten Darstellung der Kaltluftvolumenstromdichte, der nächtlichen Überhitzung sowie den Kaltluftleitbahnen (Abbildung 6) gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Wärmebelastung in der Nacht, sowie die wichtigsten Versorgungswege in Bezug auf die Kaltluft. Das Bild der nächtlichen Überhitzung ist in der Stadt Chur sehr heterogen. Die geringste Überhitzung bzw. die effizienteste Abkühlung zeigt sich in den Randbereichen im Südwesten und Nordosten. Im Südosten im Bereich des Kasernenquartiers und des weitläufigen Industrieareals zeigt sich trotz eher schwacher Durchlüftung eine weniger ausgeprägte Überwärmung als im Zentrum. Hierbei werden sich insbesondere die weniger dichte Bebauung sowie die grossen offenen Freiflächen (versiegelt und unversiegelt) begünstigend auswirken. Die stärkste Überhitzung zeigt sich im Bereich des Rheinquartiers I und II, sowie des Quartiers Loestrassen-Lürli- und Bad. Die dargestellten Kaltluftleitbahnen heben die Hauptrichtungen der vorhandenen Kaltluftströmungen hervor, sie sind im Vergleich zum nächtlichen Strömungsfeld weniger detailliert. Sie heben die für die Siedlungsgebiete relevanten Kaltluftleitbahnen hervor.

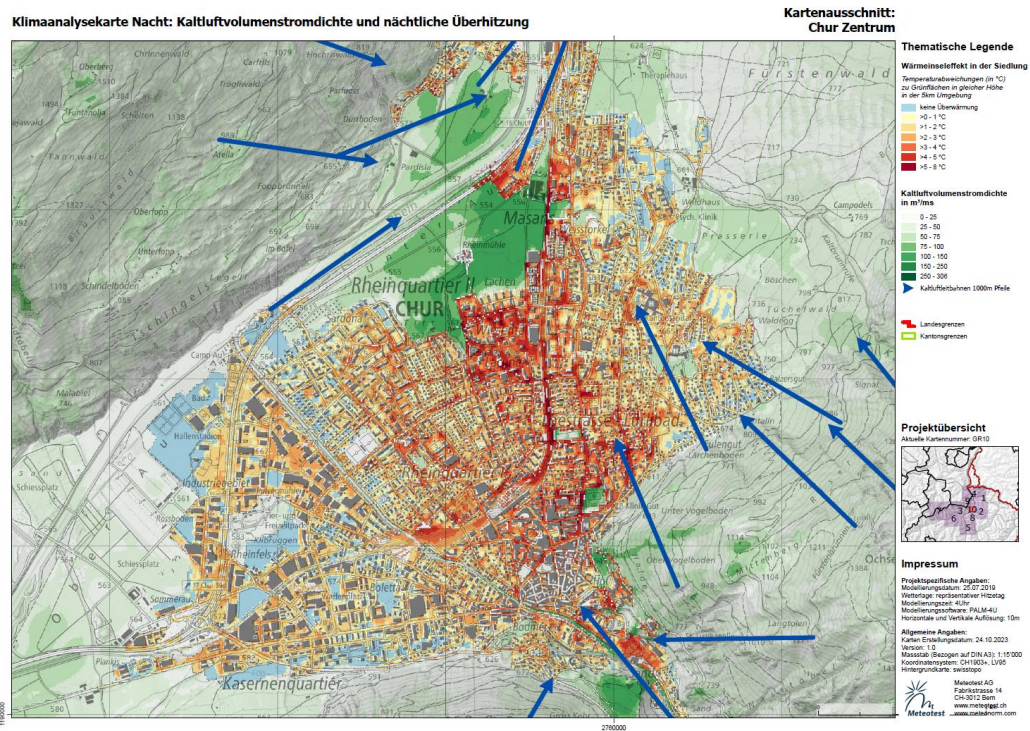


Abbildung 6: Klimaanalysekarte Nacht: Kaltluftvolumenstromdichte und nächtliche Überhitzung.

4 Planhinweiskarten

4.1 Planhinweiskarte Tag

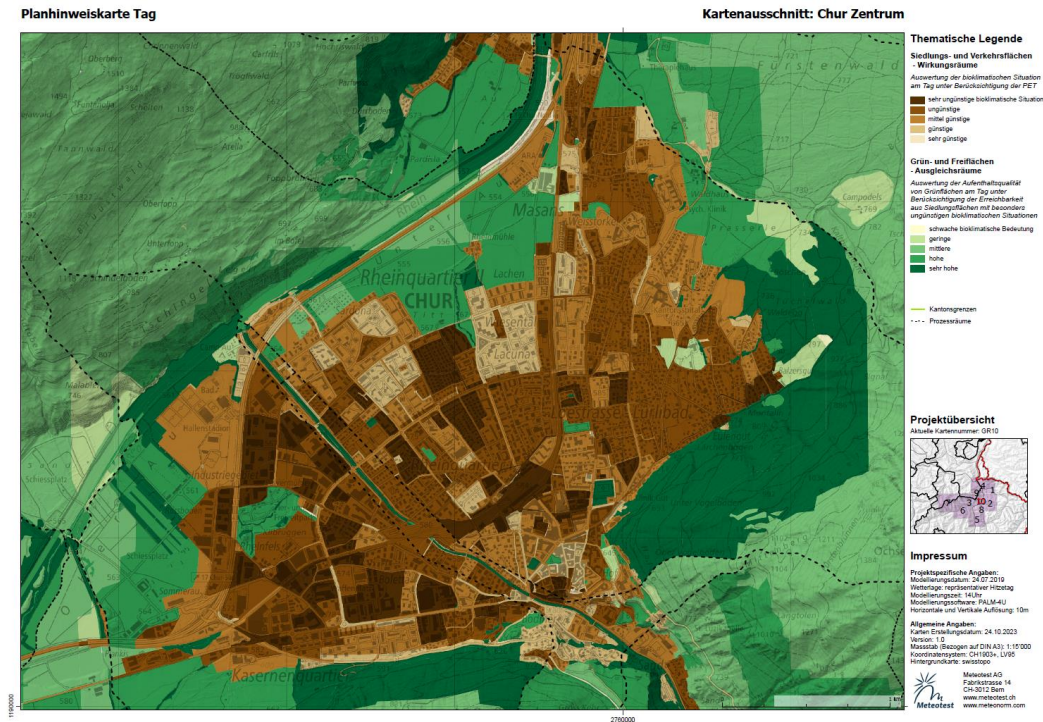


Abbildung 7: Planhinweiskarte Tag mit Fokus auf die Stadt Chur.

Die in der Klimaanalysekarte der Tagsituation (Abbildung 2) dargestellten PET Werte, werden in der Planhinweiskarte in Bezug auf die thermische Belastung in den Siedlungsgebieten und die bioklimatische Ausgleichsfunktion in den Grünflächen bewertet. Innerhalb der Siedlungsflächen findet eine direkte Übersetzung der PET in fünf Bewertungsklassen statt, anhand welcher sich raumplanerische Handlungsgrundsätze ableiten lassen (siehe technische Dokumentation). Grünflächen werden dahingehend beurteilt, inwiefern sich die vorhandenen bioklimatischen Bedingungen als Ausgleichsraum für die hitzebelasteten Siedlungsräume eignen. Beschattete, meist bewaldete Grünflächen wird grossflächig eine mittlere bioklimatische Bedeutung beigemessen. Die Gebiete sind zwar häufig durch bioklimatisch sehr angenehme Bedingungen gekennzeichnet, jedoch auch durch eine fussläufig kritische Distanz zu belasteten Siedlungsgebieten geprägt. Grünflächen mit bioklimatisch hoher oder sehr hoher Bedeutung sind aufgrund der Bedeutung der fussläufigen Erreichbarkeit nur in Siedlungsnähe zu finden. Gute Beispiele hierfür sind die bewaldeten Hänge im Süden von Chur, sowie auch im Bereich Waldhaus im Nordwesten. Der Ansatz der theoretischen fussläufigen Erreichbarkeit gewichtet die Verfügbarkeit von Ausgleichsflächen, welche auch durch den besonders vulnerablen Bevölkerungsteil, wie ältere Personen oder Familien mit Kindern, ohne externe Abhängigkeiten erreicht werden können. Zu beachten gilt es, dass die effektive fussläufige Erreichbarkeit nicht unter

Berücksichtigung der vorhandenen Infrastruktur (vorhandene Fusswege, Barrierefreiheit etc.) beurteilt wurde, sondern lediglich in Bezug auf die höhenkorrigierte Distanz. Eine Erschliessung von Naherholungsgebieten durch den öffentlichen Verkehr ist in dieser Betrachtung ebenfalls nicht miteingeschlossen.

4.2 Planhinweiskarte Nacht

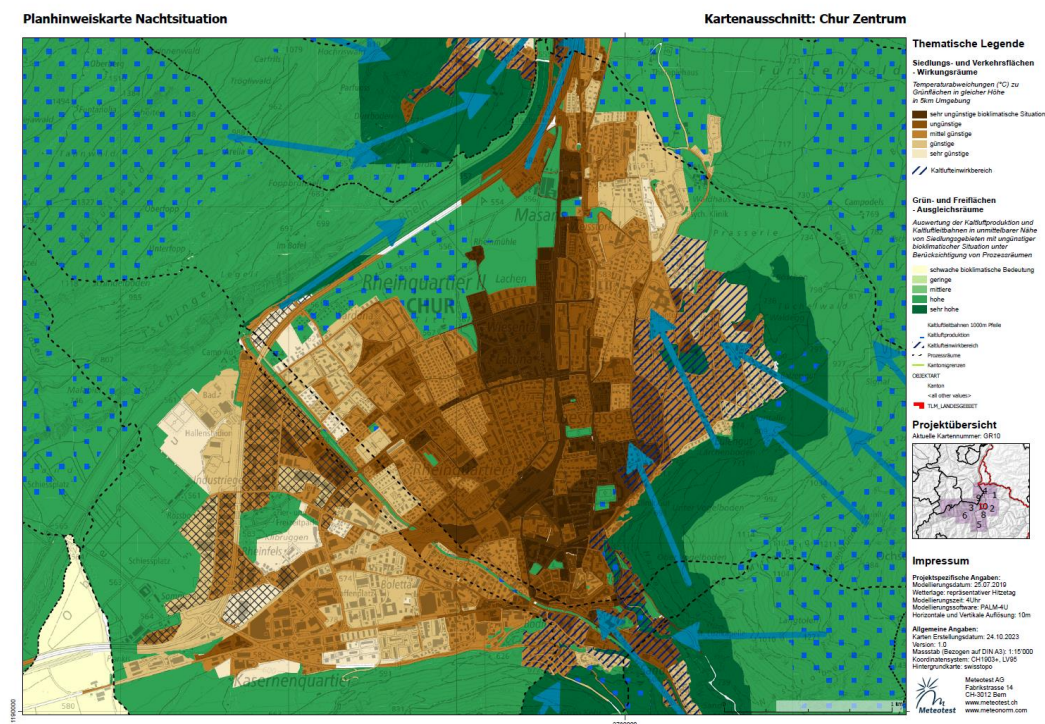


Abbildung 8: Planhinweiskarte Nacht mit Fokus auf die Stadt Chur.

Die in den nächtlichen Klimaanalysekarten dargestellten Klimaparameter werden in der nächtlichen Planhinweiskarte in Bezug auf ihre bioklimatische Relevanz beurteilt.

In den Siedlungsgebieten basiert die Klassierung auf Grundlage der nächtlichen Überwärmung. Arealen bzw. Quartieren mit einer hohen nächtlichen Überwärmung wird eine ungünstige bioklimatische Situation zugewiesen, während beispielsweise die Randbereiche Churs mit geringer nächtlicher Überwärmung eine günstigere bioklimatische Situation bieten.

Die Bewertung der Grünflächen erfolgt unter Berücksichtigung der Kaltluftprozesse und deren Bedeutung für die Siedlungsgebiete. Bei den Grün- und Freiflächen muss berücksichtigt werden, dass die Beurteilung jeweils in direktem Zusammenhang mit den Siedlungsgebieten steht und siedlungserne Grünflächen grundsätzlich eine geringe bis schwache bioklimatische Bedeutung haben, da ihre potentielle Klimafunktion für keinen Siedlungsraum von direkter Relevanz ist. Als Kaltluftentstehungsgebiete oder Bestandteil von grossflächigen Hangabwind- bzw. Bergwindssystemen können diese Räume dennoch wertvoll sein. Es ist

jedoch nicht davon auszugehen, dass kleinräumige Eingriffe einen erkennbaren Einfluss auf umliegende Siedlungsgebiete haben.

Im Bereich der Stadt Chur liegen die Kaltluftentstehungsgebiete vornehmlich im Bereich der Hänge des Rheintals, sowie vereinzelt im Bereich der Freiflächen im Talboden. Wie bereits aus der Betrachtung der Klimaanalysekarte des nächtlichen Windfeldes ersichtlich wurde, liegen die relevanten Kaltluftentstehungsgebiete vor allem im Bereich des Pizoggel, des Mittenbergs sowie der Talachse des Churwaldnertals und des Schanfigg.

Die an das Siedlungsgebiet angrenzenden Grün- und Freiflächen haben grundsätzlich eine mittlere bis hohe bioklimatische Bedeutung. Es muss in diesen Bereichen davon ausgegangen werden, dass Eingriffe in die Struktur insbesondere die Erstellung von Strömungshindernissen, wie grösseren Bauprojekten, das Strömungsverhalten der Kaltluft in relevanter Weise beeinflussen würden. Eine sehr hohe bioklimatische Bedeutung erhalten diejenigen Grün- und Freiflächen, welche Bestandteil einer Kaltluftleitbahn sind und unmittelbar an Siedlungsgebiete angrenzen. In der Stadt Chur sind dies die angrenzenden Grünflächen im Bereich des Mittenbergs und der Talachse in Richtung Araschgen. Diese Grünflächen werden als ausserordentlich schützenswert eingestuft und sollten in der Siedlungsentwicklung besonders berücksichtigt werden.

5 Interpretationsbeispiel Lacuna Quartier

In den Planhinweiskarten werden eine Vielzahl von Informationen verarbeitet und zusammenfassend beurteilt. Für ein besseres Verständnis der finalen Beurteilung ist es hilfreich, verschiedene Klimaparameter bzw. Einflussfaktoren separat zu betrachten und die verschiedenen Layer der Klimaanalysekarten beizuziehen.

Bestimmend für das lokale Klima sind einerseits die statischen Eigenschaften der Bebauung, wie beispielsweise die Oberflächeneigenschaften, die Art und Dichte der Bebauung und der Vegetation oder die geographische Lage, andererseits dynamische Einflussfaktoren, wie die vorherrschenden Windsysteme. Während tagsüber insbesondere statische Eigenschaften massgebend sind (Beschattung, Wärmespeicher), kann nachts die Durchlüftung (Kaltluft) einen wesentlichen Beitrag für ein günstiges Humanbioklima leisten.

Ausgangslage: Das Lacuna-Quartier im nördlichen Teil der Stadt Chur weist basierend auf der Klimamodellierung tagsüber sehr günstige bioklimatische Bedingungen und nachts sehr ungünstige bioklimatische Bedingungen auf (Abbildung 9 und Abbildung 10). Das westlich gelegene Einfamilienhaus (EFH)-Quartier zeigt ein gegensätzliches Muster mit sehr ungünstigen Bedingungen tagsüber und günstigen Bedingungen nachts.



Abbildung 9: Planhinweiskarte Nacht, Ausschnitt Lacuna-Quartier.

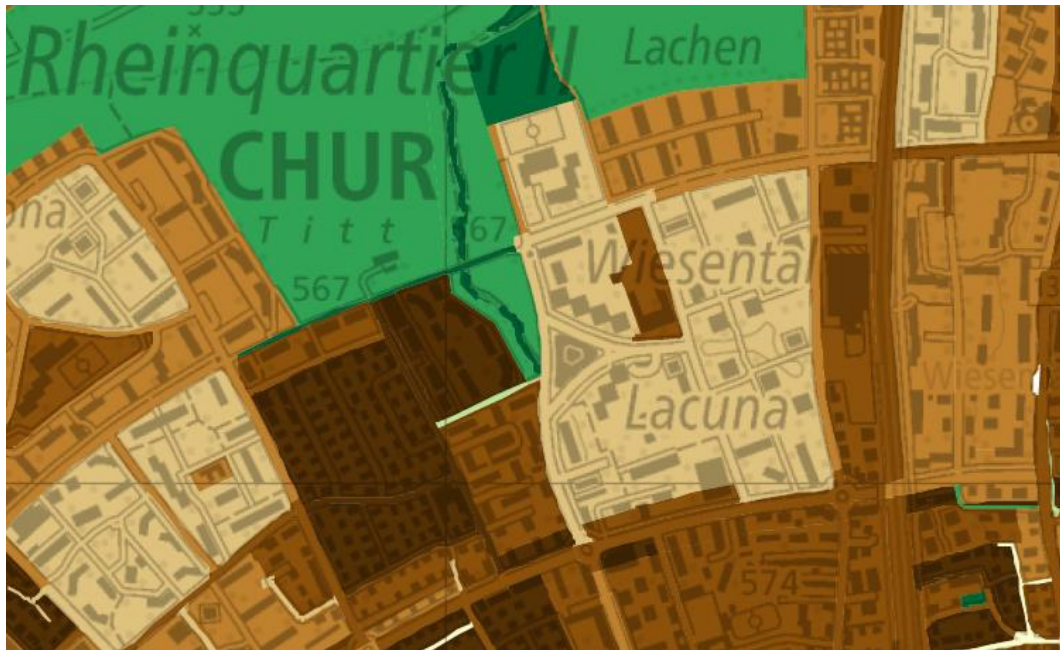


Abbildung 10: Planhinweiskarte Tag, Ausschnitt Lacuna-Quartier.

Bebauung: Die beiden Quartiere unterscheiden sich strukturell sehr deutlich (Abbildung 11). Das Lacuna-Quartier ist geprägt durch eine lockere Bebauung mit mehrstöckigen Gebäuden bzw. Hochhäusern. Die Flächen zwischen den Gebäuden weisen einen hohen zusammenhängenden Grünanteil und eine verhältnismässig hohe Dichte an hoher Vegetation auf (Abbildung 12). Ebenfalls vorhanden ist eine offene Wasserfläche. Das EFH-Quartier ist geprägt von dicht zusammenstehenden, meist zweistöckigen Einfamilienhäusern. Die Gartenanlagen sorgen zwar für einen grossflächigen Grünanteil, der Vegetationsbestand setzt sich jedoch hauptsächlich aus niedriger Vegetation zusammen. Aufgrund der Quartierstrassen und unzähligen Hausvorplätzen/Parkplätzen ist der Anteil an versiegelter Fläche im Vergleich zum Lacuna Quartier höher und der Anteil zusammenhängender Grünflächen kleiner.



Abbildung 11: 3D Gebäude- und Vegetationsdarstellung (swissBUILDINGS3D 2.0, swisstopo) des Lacuna-Quartiers sowie des westlich gelegenen EFH-Quartiers.



Abbildung 12: Rasterzellen mit hoher Vegetation (grün) in der Modellierung. Ausschnitt Lacuna-Quartier.

Tagsituation: Tagsüber zeigt sich exemplarisch der Einfluss der unterschiedlichen Bebauungsstruktur. Im EFH-Quartier ist die Beschattung gering. Bei hohem Sonnenstand wird durch die niedrige Vegetation keine grossflächige Beschattung erreicht und der Energieeintrag durch die Sonne ist hoch. Die wenig beschatteten

versiegelten Flächen, aber auch sonnenexponierte Rasenflächen erhitzen sich dadurch sehr stark, was sich in einer sehr hohen PET und bei vielen Flächen durch eine extreme Wärmebelastung äussert.

Das Lacuna-Quartier profitiert nachmittags insbesondere von der Beschattung durch die Hochhäuser, als auch durch die vielen dicht zusammenstehenden Bäume. Die Wärmebelastung im Lacuna-Quartier ist grossflächig 5-10°C PET niedriger.

Nachtsituation: Nachts zeigt sich ein umgekehrtes Bild, wobei das Lacuna-Quartier aus bioklimatischer Sicht eine ungünstigere Belastungssituation aufweist, da sich ein etwas höheres Temperaturniveau einstellt. Im Falle des Lacuna-Quartiers können hier insbesondere zwei Einflussfaktoren diskutiert werden.

(a) verminderte Wärmeabstrahlung durch hohe Vegetation/Gebäude: Während hohe Vegetation, und im Falle des Lacuna Quartiers insbesondere auch eine in vielen Bereichen geschlossene Vegetationsdecke tagsüber durch den Beschattungseffekt die Überwärmung reduziert, wird nachts eine direkte Wärmeabstrahlung vermindert. In der Nacht besteht an den Oberflächen ein Energieverlust durch Wärmeabstrahlung in den Himmel. Dieser Energieverlust wird wiederum durch einen Energietransport aus der darüberliegenden Luftschicht (sensibler Wärmestrom) sowie aus dem Erdreich (Bodenwärmestrom) kompensiert. Dies führt zu einer Absenkung der oberflächennahen Boden- und Lufttemperaturen. Durch Objekte, welche den Himmel über einer Oberfläche verdecken (z.B. Baumkrone/Gebäudestrukturen), wird die Wärmeabstrahlung verhindert bzw. reduziert und es bleibt mehr Energie in der bodennahen Luftschicht "gefangen" und die Lufttemperatur senkt sich weniger stark. Aus diesem Grund erfahren die niedrigeren Gebäude und kaum durch hohe Vegetation überdeckten Flächen im EFH-Quartier im Vergleich zum Lacuna Quartier eine effizientere thermische Abstrahlung.

(b) mangelnde Durchlüftung: Zusätzlich zur Temperaturabsenkung durch Wärmeabstrahlung kann durch Zufuhr von Kaltluft ("Durchlüftung") auf effiziente Weise eine Temperaturreduktion erzielt werden. Kaltluftströmungen sind aufgrund ihrer Entstehungsweise sehr schwach ausgeprägte Strömungen mit niedriger Fließgeschwindigkeit und sind nicht in der Lage grössere Strömungshindernisse zu überströmen. Die Betrachtung des nächtlichen Windfeldes zeigt, dass die Stadt Chur vorwiegend aus südlicher Richtung angeströmt wird. In grösseren Tälern kann die talabwärts fliessende Luft ("Bergwind", hier v.a. aus Richtung Talausgang Sand) aber durchaus auch grössere Mächtigkeiten erreichen und damit auch in gewissem Masse bebaute Flächen überströmen. Die Windkarte (Abbildung 13) zeigt, dass im Bereich des EFH-Quartiers und auch südlich davon deutliche Kaltluftvolumenströme zu erkennen sind, während im Bereich des Lacuna-Quartiers in Bodennähe kaum ein Kaltlufttransport stattfindet. Die hohen Gebäude und die relativ dichte Vegetation scheint in diesem Bereich eine effiziente Durchlüftung zu verhindern, was den nächtlichen Auskühlungsprozess zusätzlich hindert.

Diese beiden Faktoren führen zusammenfassend dazu, dass das Lacuna-Quartier nachts eine aus humanbioklimatischer Sicht eher schlechte Beurteilung erhält. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass sich die Bewertung auf die Aussenräume in Bodennähe bezieht und gerade in den oberen Bereichen der Hochhäuser durchaus eine Durchlüftung durch die Bergwinde möglich ist. Dies ist in der Bewertung als solches jedoch nicht berücksichtigt.

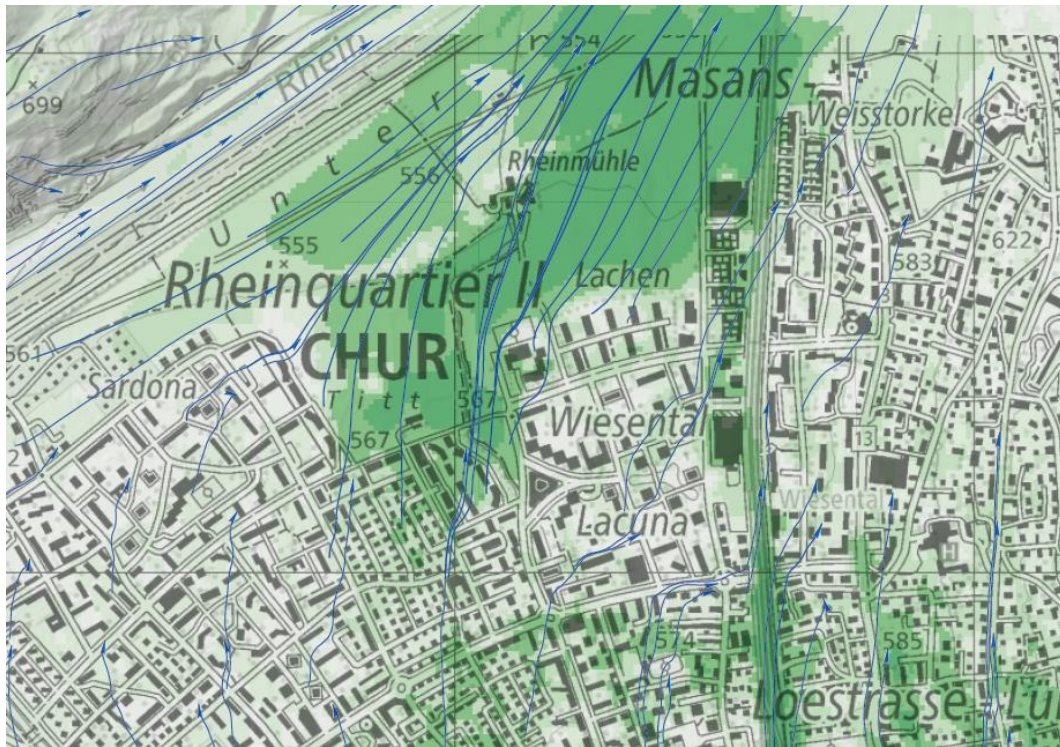


Abbildung 13: Nächtliches Windfeld im Raum Lacuna-Quartier.

6 Klimaszenarien

6.1 Datengrundlage

Mit den CH2018 Klimaszenarien¹ werden für die Schweiz räumlich hochaufgelöste (~2 km bzw. Einzelpunkte) Klimadatensätze für verschiedene Emissions-szenarien zur Verfügung gestellt. Aus den verfügbaren Grundlagedaten hat Meteotest einen mittels geostatistischer Verfahren noch höher aufgelösten (250 m) Klimadatensatz² berechnet, womit lokale räumliche Eigenheiten (Höhe über Meer, Südhänge, kleinere Täler, Siedlungen etc.) aufgelöst werden können. Es wurden drei repräsentative Emissionspfade ausgewählt und räumlich verfeinert (vgl. Abbildung 14):

- RCP 26: maximale Anstrengungen zum Klimaschutz (< +2°C)
- RCP 45: mittleres Szenario (ca. +2.6°C)
- RCP 85: weiter so wie bisher – keine/wenige spezifische Massnahmen (ca. +4.8°C)

Das RCP45 Szenario wird im vorliegenden Bericht als wahrscheinlichster Emissionspfad angenommen. Die RCP26 und RCP85 Szenarien stehen hingegen am unteren bzw. oberen Rand einer wahrscheinlichen Entwicklung. Betrachtet werden die Klimaszenarien für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.

Zur Darstellung der zukünftigen Entwicklung des Klimas wurden Mittelwerte für ausgewählte Dekaden gebildet. Als Referenzperiode wird ein 20-jähriges Mittel des aktuellen Klimas verwendet (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Klimaperioden

Periodenbezeichnung	Zeitraum
2010	2001 – 2020
2030	2026 – 2035
2050	2046 – 2055
2070	2066 – 2075
2090	2086 – 2095

¹ <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien.html>

² https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/externe-studien-be-richte/downscaling-ch2018-berechnung-von-meteo-und-trockenheitsindizes-fuer-die-waldfor-schung.pdf.download.pdf/Downscaling%20CH2018_resultate_final_20210802.pdf

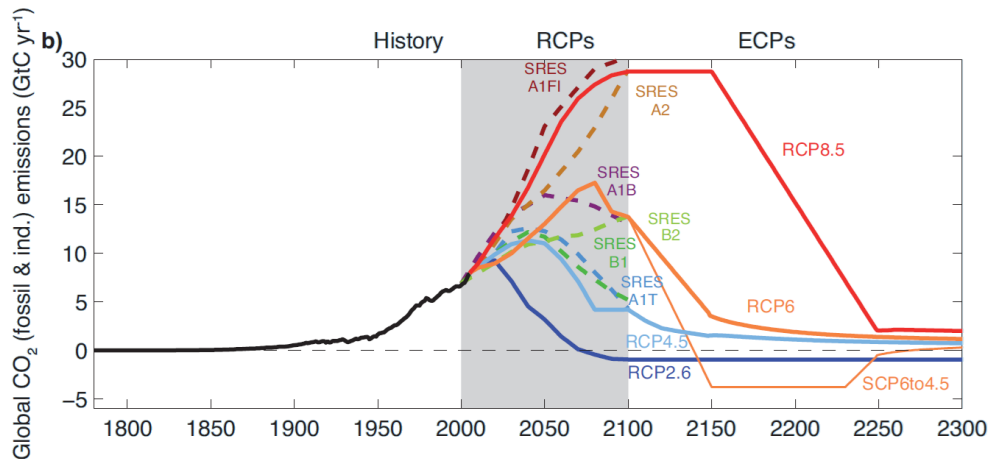


Abbildung 14: Darstellung der Emissionspfade verschiedener RCP-Szenarien (IPCC 2013³)

6.2 Klimaindikatoren

Das vergangene und zukünftige Klima eines Standortes lässt sich anhand verschiedener Indikatoren charakterisieren. In der vorliegenden Analyse werden im Hinblick auf den Fokus «Hitze im Siedlungsgebiet» lediglich Temperatur- und Niederschlags-basierte Indikatoren betrachtet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Temperaturbasierte Klimaindikatoren

Indikator	Kürzel	Beschreibung
Mitteltemperatur	tas	Tagesmittelwert der Lufttemperatur
Maximaltemperatur	tasmax	Tagesmaximalwert der Lufttemperatur
Minimaltemperatur	tasmin	Tagesminimalwert der Lufttemperatur
Tropennächte	tn	Anzahl Tage mit einer Minimaltemperatur >20°C
Hitzetage	hd	Anzahl Tage mit einer Maximaltemperatur >30°C
Frosttage	fd	Anzahl Tage mit einer Minimaltemperatur < 0°C
Heizgradtage	hdd	Summe der täglichen Differenzen zwischen einer angestrebten Innentemperatur von 20°C und der mittleren Tagestemperatur aller Heitztage (<12°C)
Kühlgradtage	cdd	Summe der täglichen Differenzen zwischen einer angestrebten Innentemperatur von 18.3 °C und der mittleren Tagestemperatur aller Kühltag (>18.3°C).
Hitzeperiodenlänge	hpl	Anzahl aufeinanderfolgender Hitzetage
Niederschlag	pr	Niederschlagsmenge
Niederschlagstage	rd	Anzahl Tage mit Niederschlag

³ <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Indikator	Kürzel	Beschreibung
Starkniederschlagstage	hrd	Anzahl Tage mit Starkniederschlag > 20mm
Vegetationsperiodenlänge	vp	Anzahl Tage zwischen Start und Ende der Vegetationsperiode
Vegetationsperiode Start	vs	Start der Vegetationsperiode wenn die Temperatur an fünf aufeinanderfolgenden Tagen 5°C nicht unterschreitet und die Tageslänge mindestens 10h beträgt (frühestens Mitte Februar).
Vegetationsperiode Ende	ve	Ende der Vegetationsperiode wenn die Temperatur an fünf aufeinanderfolgenden Tagen 5°C nicht überschreitet oder die Tageslänge weniger als 10h beträgt (spätestens Ende Oktober).

6.3 Klimaszenarien im Überblick

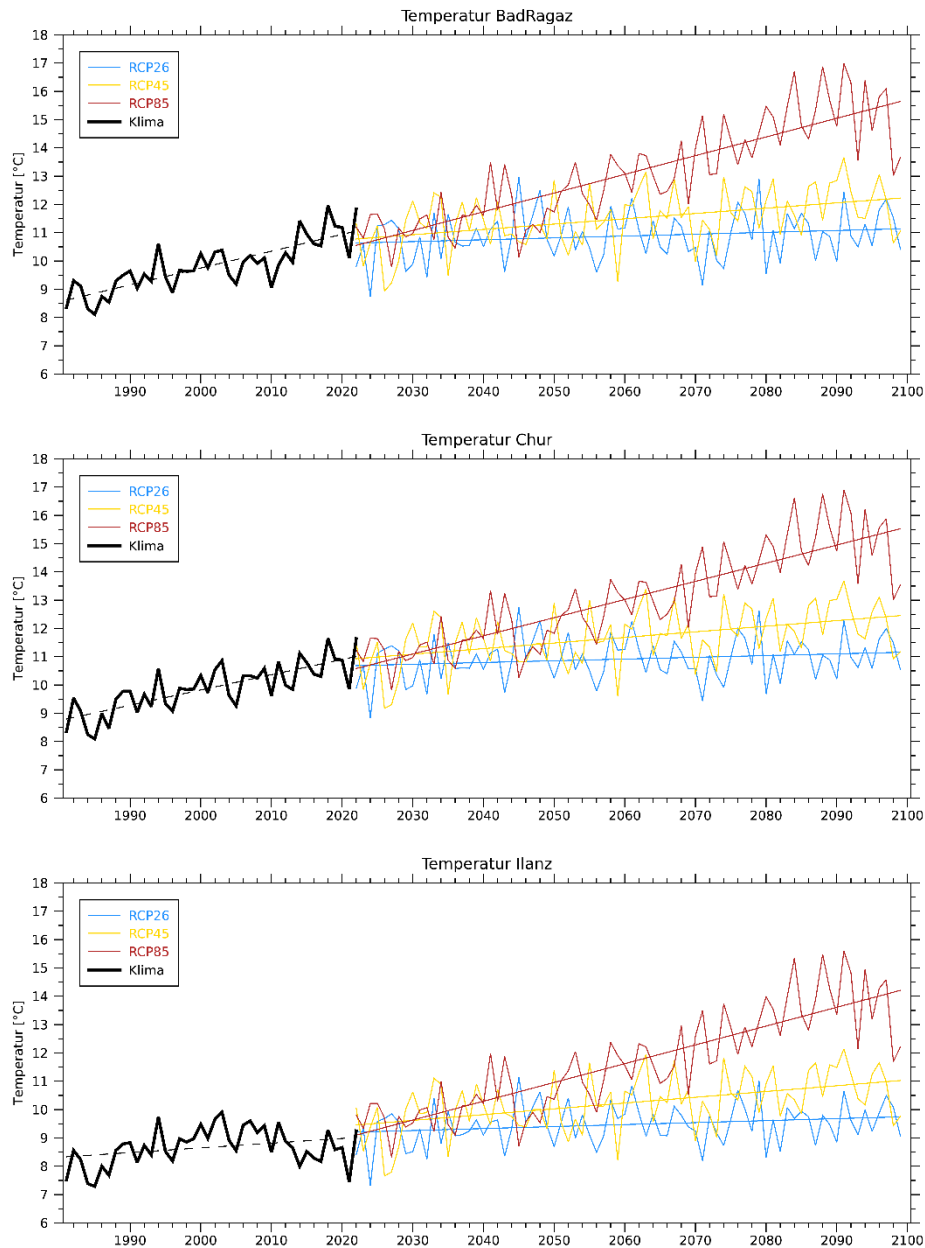


Abbildung 15: Temperatur Zeitreihen an den Standorten Bad Ragaz, Chur und Ilanz für die historischen Messdaten und die Klimaszenarien.

In Abbildung 15 sind die historische Zeitreihe der Temperatur sowie die drei Zukunftsszenarien für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz dargestellt. Das «worst case» Szenario RCP85 zeigt bis Ende des Jahrhunderts eine unveränderte Temperaturzunahme, was bis 2100 einer Temperaturanomalie von rund 5.1°C in Bezug auf die Periode 2001-2020 entsprechen würde. Das tiefe Szenario RCP26 zeigt ab dem heutigen Zeitpunkt einen leichten Temperaturanstieg bis Mitte des Jahrhunderts und bis 2100 ein gleichbleibendes Niveau. Die Anomalie (Differenz zu 2001-2020) würde sich bei rund 0.7°C einpendeln. Das mittlere

Szenario RCP45 zeigt einen schwächeren aber ebenfalls bis Ende des Jahrhunderts deutlichen Temperaturanstieg. Die Anomalie (zu 2001-2020) würde im Mittel aller Modelle ca. 2.6°C betragen. Der Verlauf der Messwerte der letzten 40 Jahre zeigt im linearen Trend an den Standorten Bad Ragaz und Chur jedoch deutlicher in Richtung des Verlaufs des RCP85 Szenarios was bis Ende des Jahrhunderts einer Temperaturzunahme von 2.5-5°C entsprechend würde.

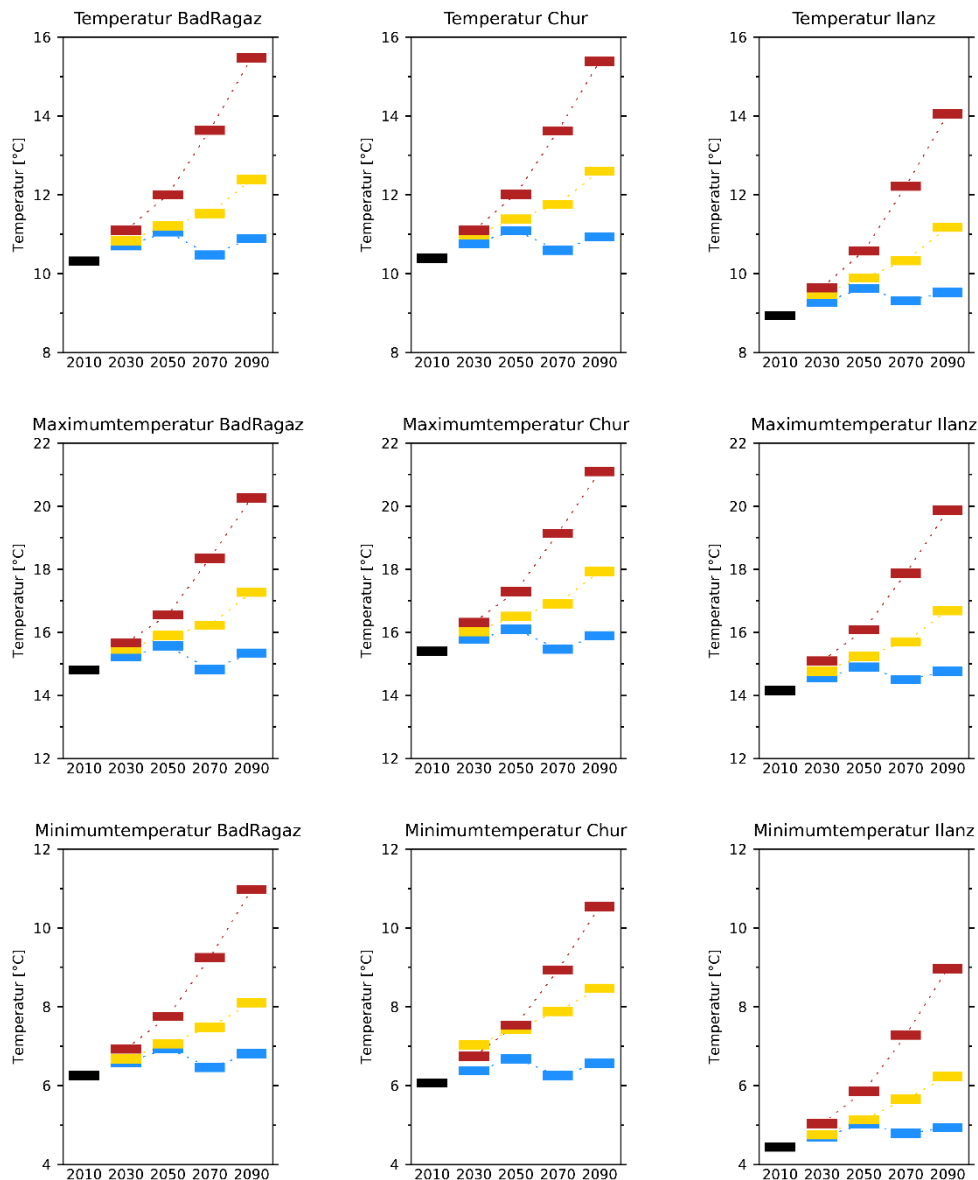


Abbildung 16: Klimaindikatoren (Temperatur, Maximumtemperatur, Minimumtemperatur, Tropennächte) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.

In Abbildung 16 sind die Mittelwerte der Mittel-, Maximum- und Minimumtemperatur für verschiedene Dekaden bis Ende des Jahrhunderts im zeitlichen Verlauf dargestellt. Die zugrundeliegenden Muster und Trends der Maximum- und

Minimumtemperaturen unterscheiden sich nur geringfügig von den Mitteltemperaturen. Gegen Ende des Jahrhunderts zeichnen sich leicht erhöhte Anomalien der Maximaltemperaturen von 0.3-0.5°C ab, was einem allgemein beobachtbaren Muster entspricht. Das bedeutet, dass die Temperaturextreme im Wärmebereich stärker zunehmen als die Mitteltemperaturen, was gerade auch hinsichtlich der Thematik «Hitze im Siedlungsgebiet» die Situation zusätzlich verschärfen wird. In Abbildung 17 sind die Anomalien der Temperaturen sowie weiterer Klimaindikatoren in der Übersicht für den Standort Chur und das Szenario RCP45 dargestellt. Auf die Entwicklung einzelner Klimaindikatoren wird im nachfolgenden Kapitel eingegangen.

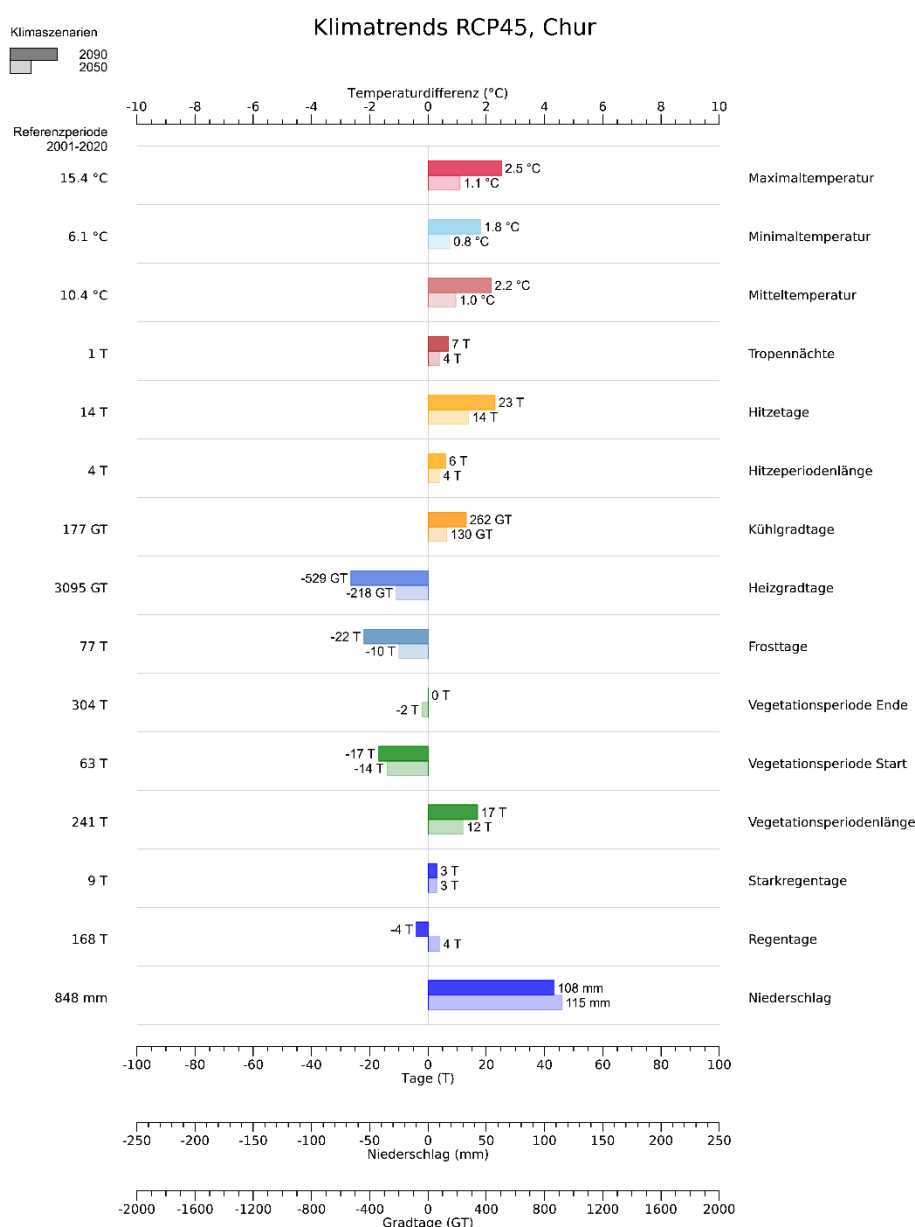


Abbildung 17: Anomalien von Klimaindikatoren für den Standort Chur gemäss dem mittleren Zukunftsszenario RCP45.

6.4 Entwicklung von Klimaindikatoren

In Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 ist die zeitliche Entwicklung der in Tabelle 2 aufgeführten Klimaindikatoren für das heutige Klima und die drei verschiedenen Klimaszenarien dargestellt.

Entwicklung im Bereich «Hitze»

In der Referenzperiode 2001-2010 weisen alle drei Standorte ca. 10 Hitzetage pro Jahr auf, d.h. Tage mit einer Maximaltemperatur von 30°C oder mehr. Mit zunehmenden Temperaturen und insbesondere den noch stärker ansteigenden Maximaltemperaturen nimmt die Anzahl Hitzetage deutlich zu. In Bad Ragaz und in Chur dürften bereits 2030 mindestens 20 Hitzetage pro Jahr registriert werden. Aufgrund des höhenbedingt etwas niedrigeren Temperaturniveaus in Ilanz, ist die Zunahme der Hitzetage an diesem Standort zeitlich verzögert. Gemäss dem mittleren Szenario RCP45 ist bis Ende des Jahrhunderts in Chur und Bad Ragaz mit rund 30-35 Hitzetagen pro Jahr zu rechnen. Bezüglich der Dauer von Hitzeperiode – also aufeinanderfolgender Hitzetage – unterscheiden sich die drei Standorte kaum. Während heute 3-4 aufeinanderfolgende Hitzetage beobachtet werden, sind zukünftig auch Hitzeperioden von einer Woche oder länger zu erwarten. Analog zur zunehmenden Hitze tagsüber treten auch nachts vermehrt Grenzwertüberschreitungen auf und es werden häufiger Tropennächte vorkommen und beispielsweise in Chur an bis zu 10 Tagen im Jahr das nächtliche Klima bestimmen. Auf der Höhenstufe von Ilanz sind Tropennächte wahrscheinlich erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts mit relevanter Häufigkeit beobachtbar.

Entwicklung im Bereich «Kälte»

Die stete Zunahme der Mitteltemperatur als Folge des Klimawandels lässt nicht nur die Temperaturextreme im Sommer häufiger werden, sondern führt gleichzeitig auch zu einer Verringerung von Kenntagen im Kältebereich. In Abbildung 19 sind die Anzahl Frosttage in Bad Ragaz, Chur und Ilanz in der zeitlichen Entwicklung dargestellt. Vor allem in den beiden Szenarien RCP45 und RCP85 zeigt sich, dass die Anzahl Frosttage im Schnitt um rund 30 Tage zurückgehen wird. Die wärmeren Winter sind weniger von Bedeutung in Bezug auf die humanbioklimatische Situation, können aber in Themenbereichen wie Tourismus, Naturgefahren oder auch in der Landwirtschaft von grosser Relevanz sein. Gerade in Bezug auf das Pflanzenwachstum bedeuten die steigenden Temperaturen im Winter beispielsweise im Bereich von Chur oder Bad Ragaz eine um bis zu zwei Wochen verlängerte Vegetationsperiode, wobei insbesondere der Start der Vegetationsperiode früher im Jahr stattfinden wird.

Entwicklung im Bereich «Niederschlag»

Der Niederschlag ist in den Zukunftsmodellen mit deutlich grösserer Unsicherheit behaftet als die Temperaturwerte. In der Tendenz zeigt sich im Churer Rheintal in allen Modellen eine leichte Zunahme der Niederschlagsmenge. Gleichzeitig ist die Entwicklung der Anzahl Regentage zwischen den Modellen aber auch sehr unterschiedlich. Eine Tendenz, welche mit grösserer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, ist die Zunahme von Extremereignissen. Dies zeigt sich wiederum

etwas deutlicher in den verschiedenen Modellen, welche allesamt eine tendenzielle Häufung von Starkniederschlagsereignissen zeigen.

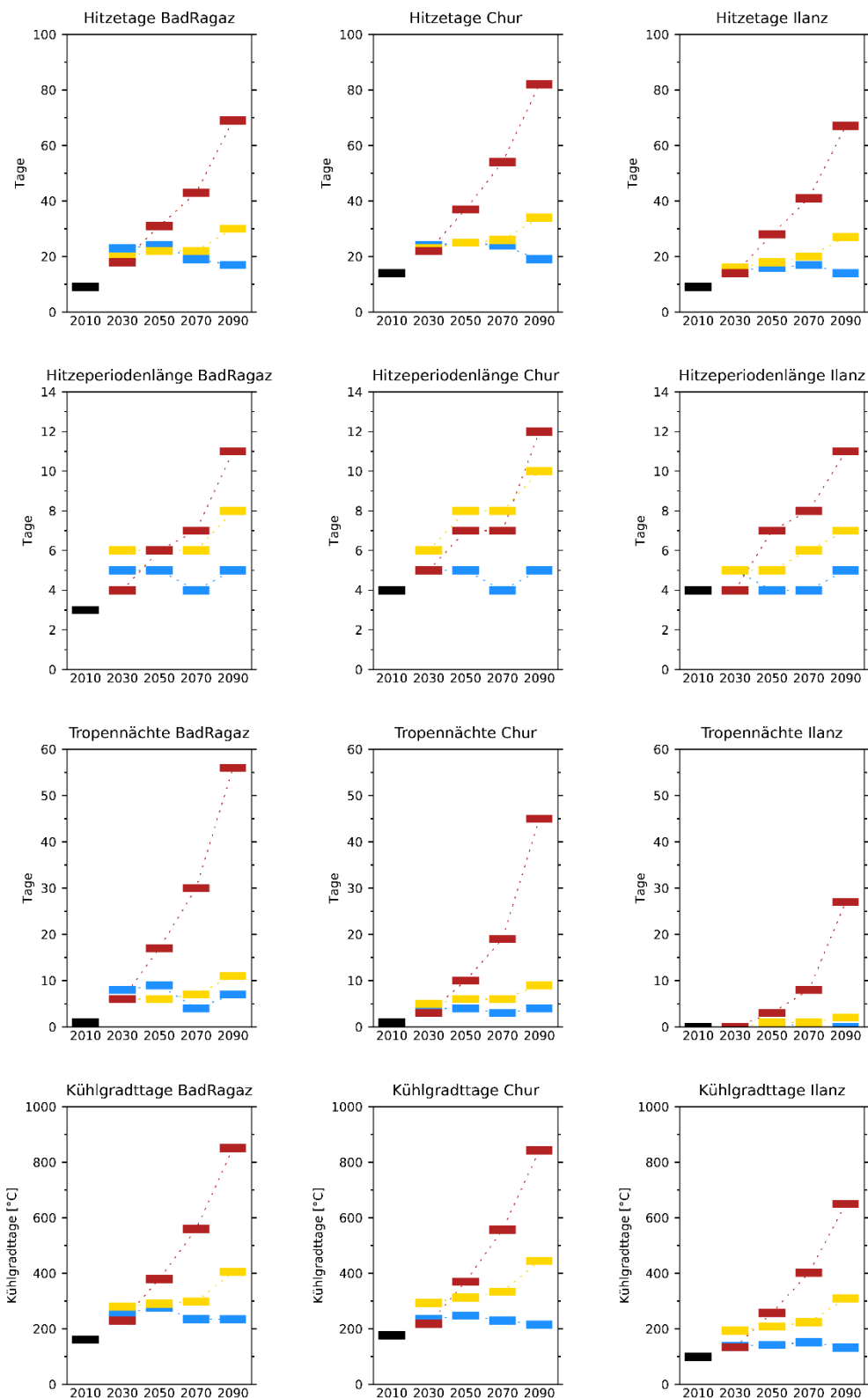


Abbildung 18: Klimaindikatoren (Hitzetage, Hitzeperiodenlänge, Tropennächte, Kühlgradtage) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.

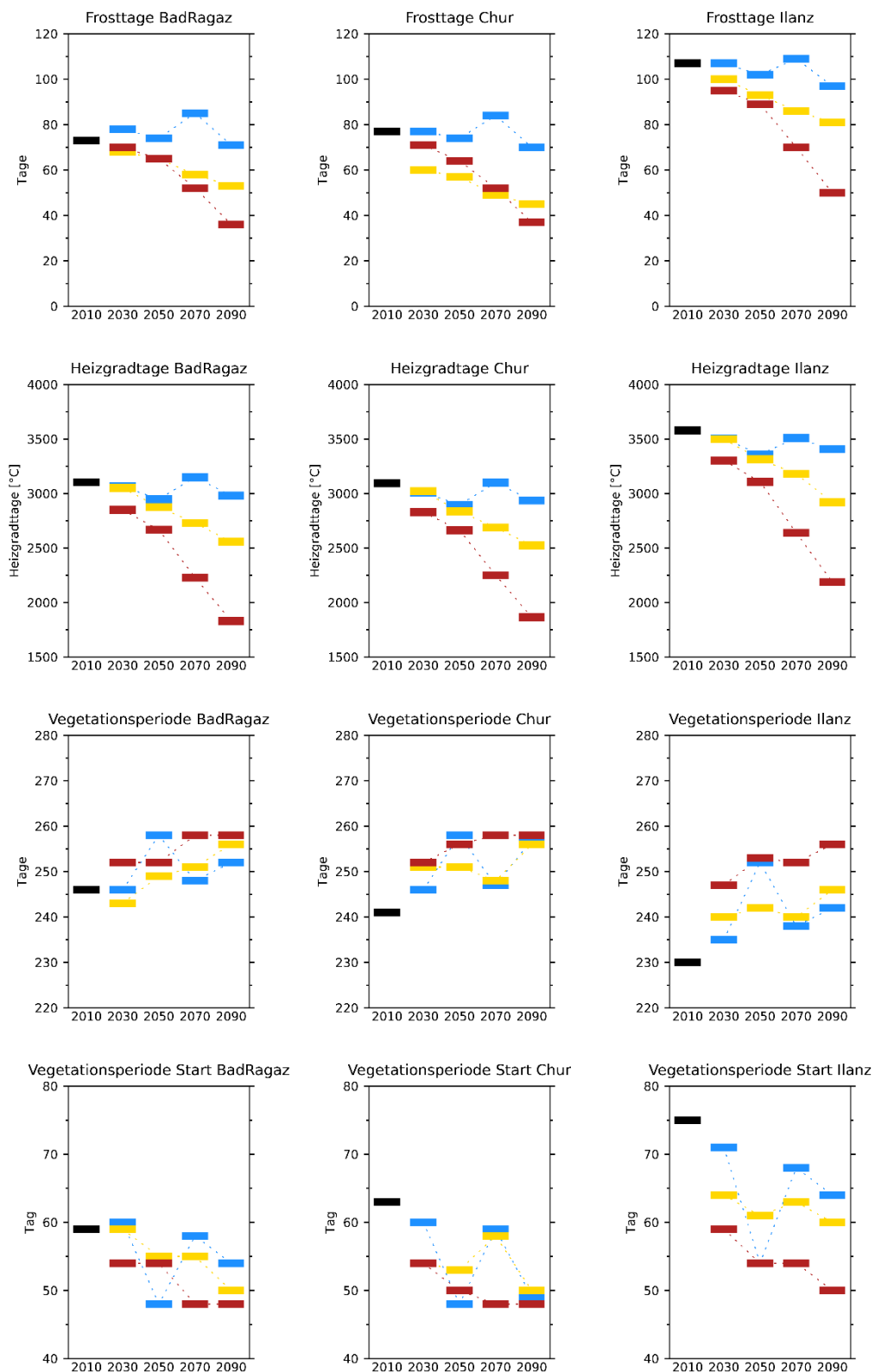


Abbildung 19: Klimaindikatoren (Frosttage, Heizgradtage, Vegetationsperiode, Vegetationsperiode Start) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Ilanz.

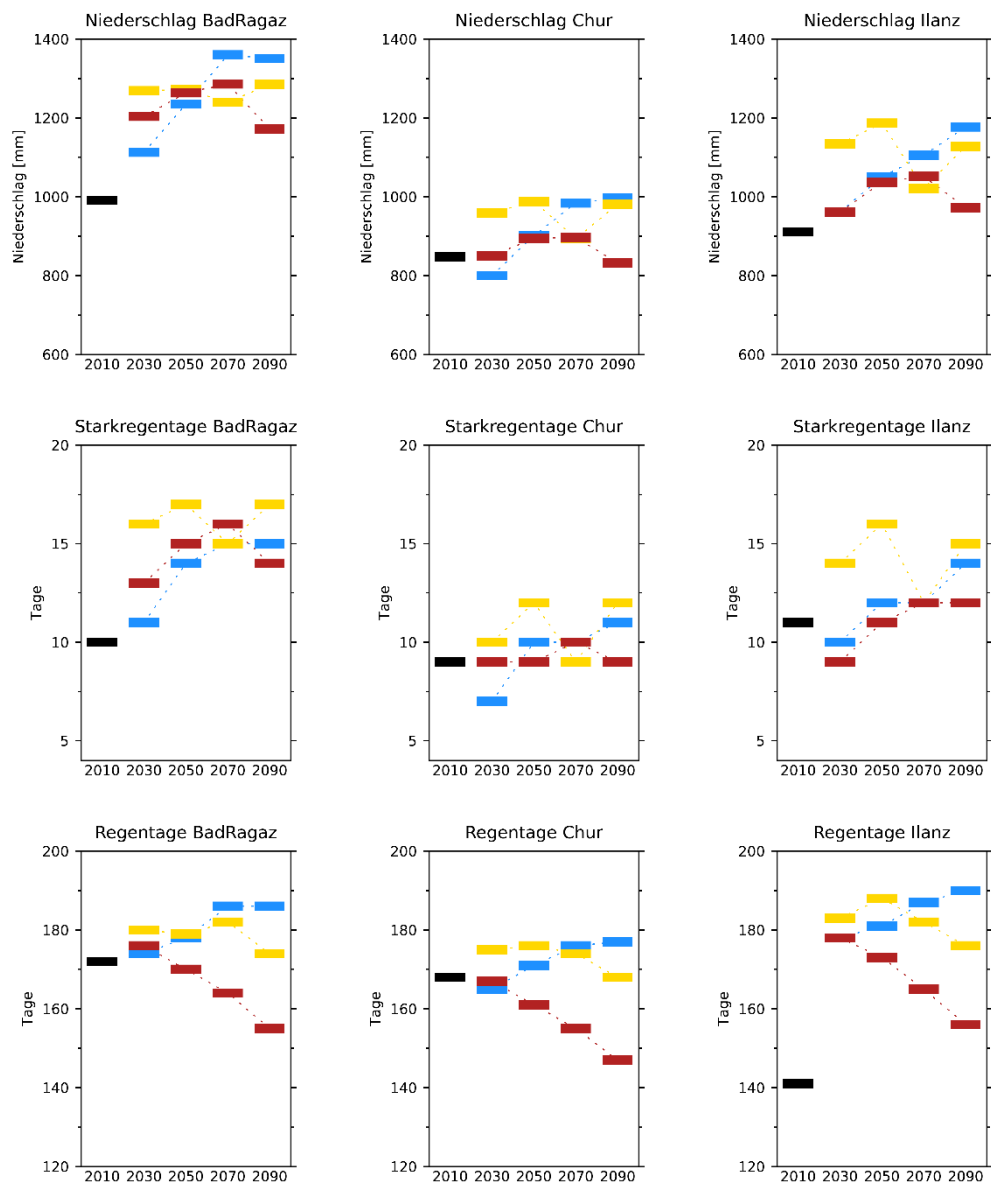


Abbildung 20: Klimaindikatoren (Niederschlag, Starkregentage, Regentage) für die Standorte Bad Ragaz, Chur und Illanz.