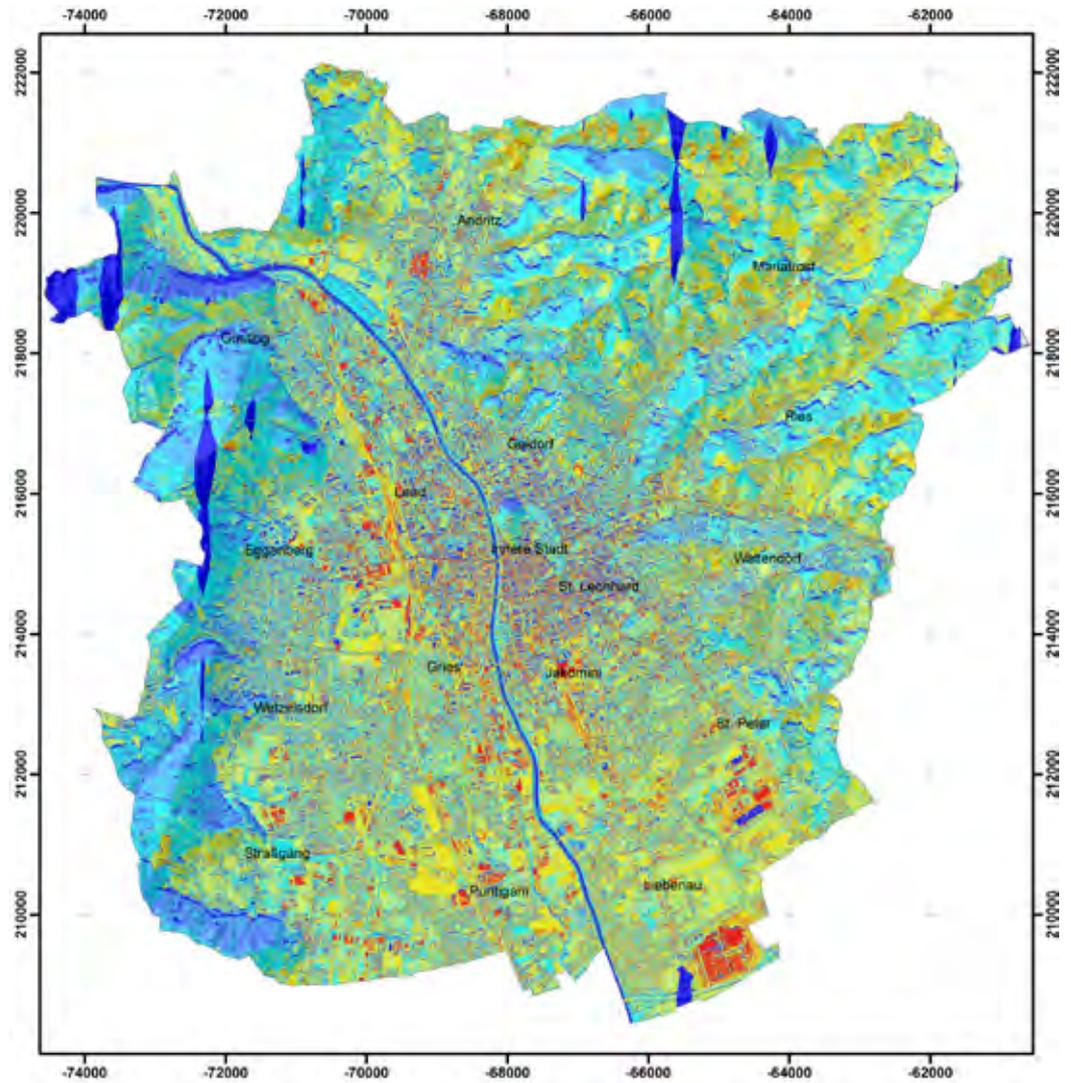


Abbildung 21:
Oberflächentemperatur
2004 (Segment 3)

Oberflächentemperatur Graz 2004

Mittagsflug, Segmentgröße 3



Temperaturangaben in °C

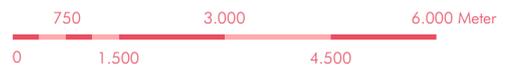
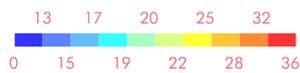
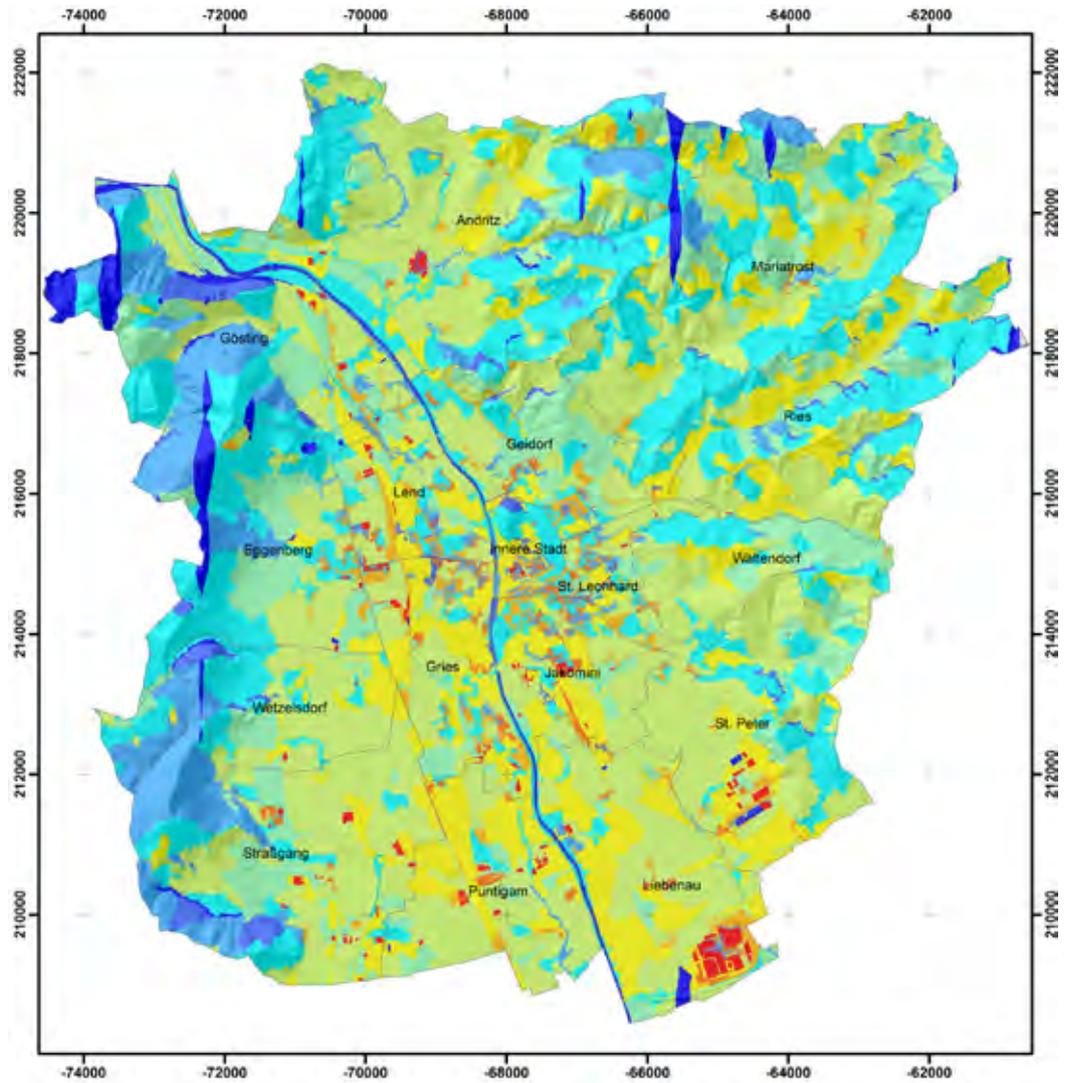


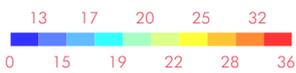
Abbildung 22:
Oberflächentemperatur
2004 (Segment 25)

Oberflächentemperatur Graz 1986

Mittagsflug, Segmentgröße 25



Temperaturangaben in °C



5.4 ANALYSE DER ERGEBNISSE – BESONDERHEITEN DER OBERFLÄCHENTEMPERATUREN 1986 – 2004

Oberflächentemperaturkarten eignen sich sehr gut, um spezielle Temperaturverteilungsmuster in einem Siedlungsgebiet zu identifizieren und zu beschreiben. Speziell in städtischen Gebieten ist sehr deutlich zu erkennen, dass unterschiedliche Bebauungsformen und Stadtteile aufgrund ihrer individuellen Siedlungsstrukturen besondere Temperaturcharakteristika aufweisen. So lassen sich zum Beispiel stark versiegelte Flächen, wie dicht verbaute Wohngebiet oder Indus-

triebgebiete aufgrund ihrer massiven Überwärmung gegenüber ihrem Umland deutlich unterscheiden. Durch multitemporale Interpretation von Oberflächentemperaturkarten, wie zum Beispiel unter Verwendung der Strahlungstemperaturkarte Graz 1986, ist es möglich, auch Bebauungsveränderungen aufgrund des veränderten Temperaturverhaltens zu identifizieren.

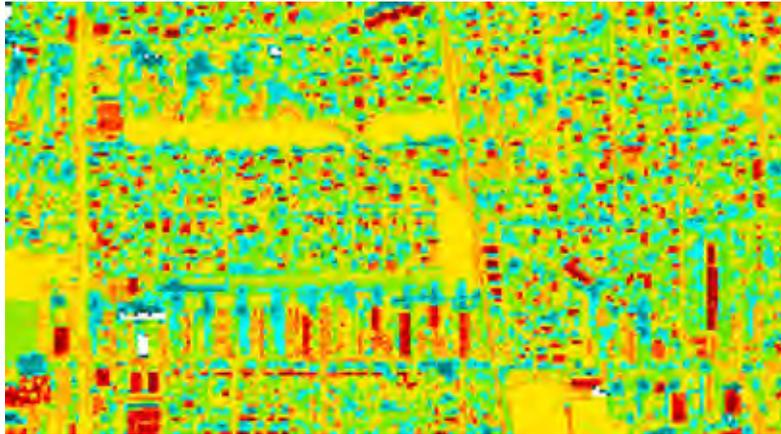
5.4.1 BESONDERE OBERFLÄCHENTEMPERATURSTRUKTUREN 1986

Graz erfuhr als gewachsene Stadt mit mittelalterlichem Kern viele verschiedene Epochen mit unterschiedlichen Baustilen. Diese weisen aufgrund ihrer jeweiligen Bebauungsdichte auch eigene Temperaturverhalten auf, welche im Folgenden, zusammen mit den Temperaturverhalten einiger signifikanter Oberflächen, beschrieben und auch mit der Befliegung von 1986 verglichen werden (vgl. LAZAR et al., 1994).

Baukörperstrukturen:

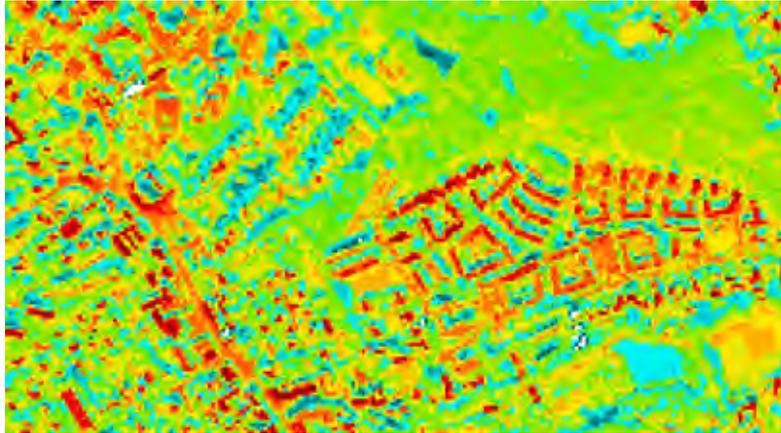
Gartenstadt: Die Baukörperstrukturen der „Gartenstadt“ (lockere Bebauung mit Ein- und Zweifamilienhäusern, teilweise auch verdichteter Flachbau) nehmen einen Großteil der Fläche der Stadt ein. Die „Gartenstadt“ zeigt sich in der Strahlungstemperaturkarte als punktförmiges Mosaik (vgl. Abbildung 23), bestehend aus aufgeheizten Dachflächen (rot) mit Temperaturen je nach Exposition (29–47 °C) und Beschattung (12–18 °C), Straßen (gelb, orange) zwischen 21–24 °C, im Gegensatz zu den kühleren Gärten und Wiesen (grün) mit 16–19 °C. Im Mittel verzeichnet der Typ Gartenstadt im Jahr 2004 eine Temperatur von ~20 °C gegenüber ~26 °C im Jahr 1986.

Abbildung 23:
Bebauungstyp
Gartenstadt



Blockbebauung: Dieser Typ zeichnet sich durch mehrgeschossige Verbauung aus, welche häufig in die Typen „Gartenstadt“ und den Typ „Gründerzeitliche Bebauung“ eingebunden sind. Durch mehrgeschossige Wohnblöcke und gegenüber der Gartenstadt reduzierte Grünanteile befindet sich das Mittel der Temperaturen mit $\sim 21^\circ\text{C}$ (1986: 28°C) auch über dem oben genannten Typus. Ausnahmen bilden größere Siedlungskomplexe, welche durchaus mit erheblichen Grünanteilen durchwachsen sind, wie zum Beispiel die Terrassenhaussiedlung in St. Peter, die im Mittel eine Temperatur von $\sim 18^\circ\text{C}$ aufweist. Das Mittel wird aber durch erheblichen Schattenwurf aufgrund der großen Gebäudehöhen beeinflusst. Abbildung 24 zeigt die durch Pflanzenbewuchs und Schattenwurf kühlere Umgebung der Terrassenhaussiedlung (linke obere Bildhälfte) und im Vergleich dazu die durch höhere Temperaturen repräsentierte Wienerbergersiedlung (mittlerer rechter Bildteil) aufgrund geringerer Vegetationsanteile. Ebenfalls im Bild zu erkennen ist das Naherholungsgebiet „Eustacchiogründe“ mit seinen Waldflächen (grün) und dem ehemaligen Ziegelteich (blau).

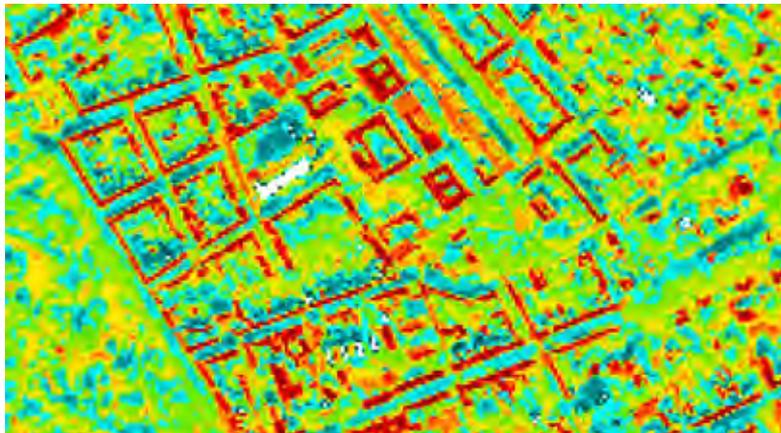
Abbildung 24:
Blockbebauung in
St. Peter



Gründerzeitbebauung: Relativ klar zu erkennen sind die regelmäßigen Muster der gründerzeitlichen Bebauung im Osten des Schlossbergs mit ihren markanten Temperaturdifferenzen zwischen überheizten Dächern mit $\sim 36^\circ\text{C}$ und begrünten Innenhöfen mit $\sim 17^\circ\text{C}$. Im Mittel errechnet sich eine Temperatur für mehrere Blöcke mit $\sim 22^\circ\text{C}$ und $26\text{--}27^\circ\text{C}$ für 1986.

In Abbildung 25 sind die kühleren Vegetationsflächen in den Innenhöfen gegenüber den wärmeren Dächern sehr gut zu erkennen. Im rechten Bildteil ist die Karl-Franzens-Universität mit dem warmen Vorplatz zu erkennen.

Abbildung 25:
Gründerzeitliche
Bebauung



Altstadt: Der historische Teil der Stadt erzielt aufgrund seines hohen Versiegelungsgrades (vgl. Abbildung 26) Höchstwerte bei den Temperaturen, welche aber im Mittel ($\sim 22\text{--}23^\circ\text{C}$) unter jenen von 1986 liegen. Ein Grund dafür liegt in den hohen Schattenantei-

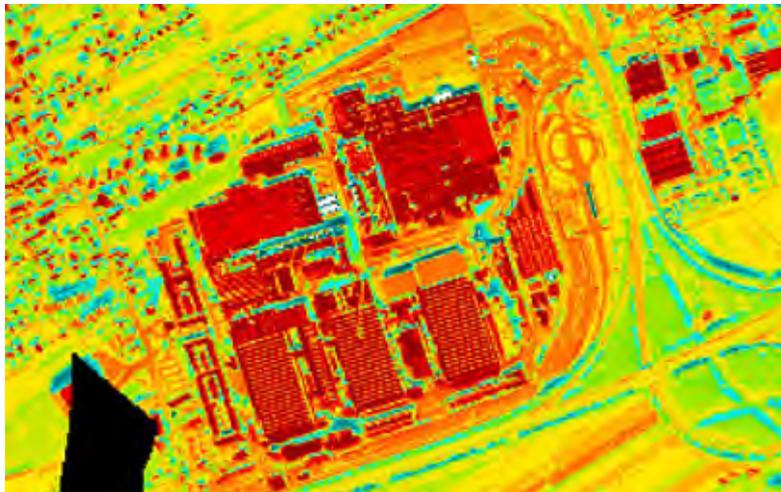
len in den engen Gassen im Jahr 2004. Durch den verminderten Schattenwurf im Ausschnitt von 1986, aufgrund eines früheren Befliegungszeitpunktes, befinden sich die Temperaturen zwischen ~ 29 und $\sim 30^\circ\text{C}$.

Abbildung 26:
Hohe Versiegelungs-
dichte in der Altstadt



Industrie- und Gewerbeflächen: Dieser Typ weist die höchsten Versiegelungsraten auf, was sich auch sehr deutlich in den erzielten Mitteltemperaturen niederschlägt. 2004 errechnet sich hier eine Mitteltemperatur von $\sim 30^\circ\text{C}$ gegenüber $\sim 32^\circ\text{C}$ im Jahre 1986. In der folgenden Abbildung 27 sind die Hallendächer der Magna Steyr Fahrzeugtechnik im Süden der Stadt abgebildet. Die rote Farbgebung zeigt die extreme Erwärmung gegenüber dem Umland.

Abbildung 27:
Ehem. „Puchwerke“,
Magna Steyr
Fahrzeugtechnik



B Grünflächen, landwirtschaftlich genutzte Flächen und sonstige Flächen

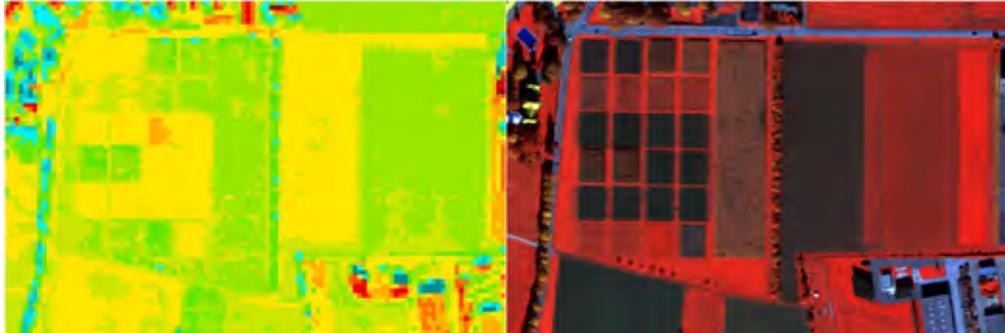
Abbildung 28:
Der kühle Grazer
Stadtpark und der
Schlossberg gegenüber
den überwärmten
bebauten Gebieten



Grünflächen und Parks: Gegenüber den wärmeren bebauten Bereichen haben die innerstädtischen Grünflächen und Parks eine kühlende Wirkung, was insbesondere durch den Grazer Stadtpark, der als kühle „Insel“ hervortritt, verdeutlicht wird (Abbildung 28). In seinem Mittel verzeichnet der Stadtpark eine Temperatur von ~ 17 bis $\sim 18^\circ\text{C}$, gegenüber $\sim 23^\circ\text{C}$ im Jahr 1986.

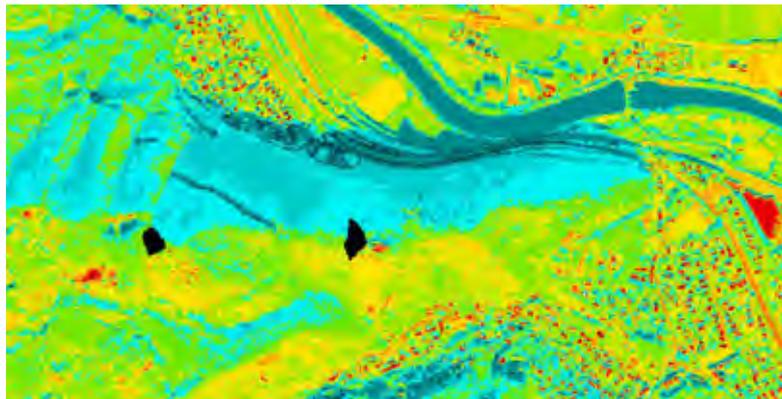
Wiesen- und Ackerflächen: Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen herrscht aufgrund der unterschiedlichen Bewuchsarten und -stände eine große Streuung der Oberflächentemperaturen. Die niedrigsten Mitteltemperaturen weisen Obstbauflächen und Maisfelder mit ~ 17 – 18°C auf, umgepflügte Äcker liegen gemeinsam mit Grünlandflächen leicht darüber (~ 18 – 19°C). Die höchsten Temperaturen treten bei kurzen Rasen, wie zum Beispiel auf Sportplätzen, mit $\sim 22^\circ\text{C}$ auf. Besonders augenscheinlich treten diese Differenzen in Abbildung 29 hervor, wo die Anbauflächen in verschiedenen Stadien der Landwirtschaftlichen und Gärtnereischen Handelsschule Grottenhof abgebildet sind. Kanalkombination für den rechten Teil der Abbildung: 7/5/3.

Abbildung 29:
Landwirtschaftliche
und Gärtnerische
Handelsschule
Grottenhof



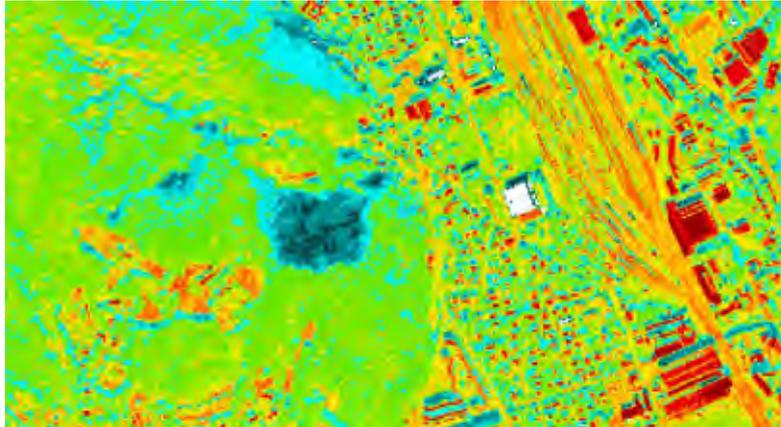
Wälder: Bewaldete Flächen weisen hauptsächlich expositionsbedingt Unterschiede in ihrem Temperaturverhalten auf. Während sich unbeeinflusste Waldflächen im Mittel zwischen $\sim 17\text{--}18^\circ\text{C}$ bewegen, können nordexponierte Wälder im Schatten um 3–4 K kühler sein (z. B.: Jungfernsprung). Besonnte Hänge liegen mit Werten zwischen $\sim 19\text{--}20^\circ\text{C}$ klar darüber (vgl. Abbildung 30).

Abbildung 30:
Einfluss der Exposition
auf Obeflächen-
temperaturen von Wäldern



Abbaufächen: Je nach Exposition variieren auch die Mitteltemperaturen von Abbaufächen. Der nordexponierte Steinbruch an der Nordflanke der Hubertushöhe am Plabutsch gehört mit Werten zwischen $\sim 10\text{--}11^\circ\text{C}$ zu den niedrigsten gemessenen Temperaturen im Untersuchungsgebiet (vgl. Abbildung 31). Die südexponierte Abbaufäche im Annengraben hingegen erhitzt sich tagsüber sehr stark, was durch Temperaturen zwischen $\sim 27\text{--}28^\circ\text{C}$ verdeutlicht wird.

Abbildung 31:
Der Steinbruch am
Plabutsch als
„Kältepol“



In Tabelle 1 sind die Temperaturen in einer Zusammenschau übersichtlich dargestellt. Tabelle 1: Mitteltemperaturen ausgewählter Oberflächen.

BAUKÖRPER- STRUKTUREN	T(°C) 1986	Diff. (K)	T(°C) 2004	Diff. (K)
Gartenstadt	26	0	20	0
Blockbebauung	28	+2	21	+1
Gründerzeit- bebauung	26,5	+0,5	22	+2
Altstadt	29,5	+3,5	22,5	+2,5
Industrie und Gewerbe	32	+6	30	+10
GRÜNFLÄCHEN, LWF + SONSTIGE FL.				
Stadtpark	23		17,5	
Obstb.fl. + Maisfelder	17,5		.	
Grünflächen, Wiesen	18,5		.	
Rasen	22		28	
Wald Nord	14		19,5	
Wald	17,5		23	
Wald Süd	19,5		24,5	
Abbauf. Plabutsch	10,5		12	

5.4.2 EINFLÜSSE VON BEBAUUNGSVERÄNDERUNGEN

Lebendige Städte sind dynamisch und unterliegen für gewöhnlich einem stetigen Wandel, was durch Stadterweiterungen und Bebauungsänderungen sichtbar wird. Diese Änderungen können durch ein verändertes Temperaturverhalten des Stadtgebietes, aber auch des Umlandes beobachtet werden. Bereits durch einen visuellen Vergleich der beiden Strahlungstemperaturkarten lassen sich Aussagen über Einflüsse von Bebauungsänderungen auf das Temperaturverhalten treffen.

An dieser Stelle sei Hrn. Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Viktor Kaufmann vom Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie der Technischen Universität Graz für die Bereitstellung der digitalen Datensätze der Befliegung vom Jahre 1986 gedankt.

Anhand der folgenden Abbildungen kann nochmals ergänzend zum vorigen Kapitel eindrucksvoll beobachtet werden, inwiefern sich die Bebauungsveränderungen durch vergleichende Betrachtung der beiden Strahlungstemperaturkarten 1986 und 2004 identifizieren lassen. Der obere Teil der Abbildungen zeigt jeweils die Situation von 1986 und der untere jene von 2004.

Abbildung 32:
Zubau bei den
„Puchwerken“

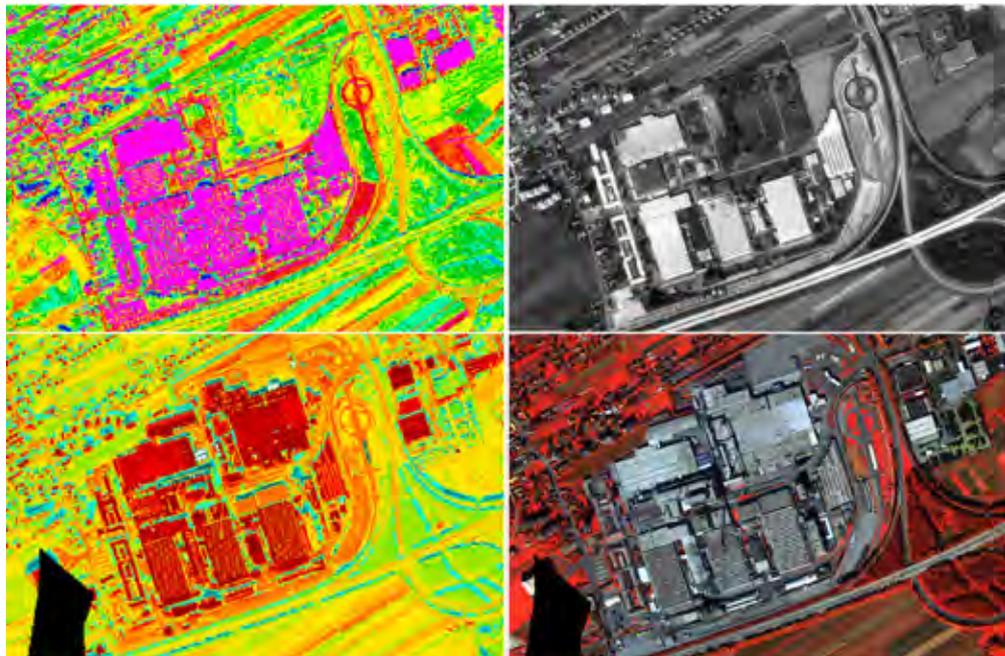


Abbildung 33:
Errichtung „Shopping
Center West“ und
Autobahnzubringer

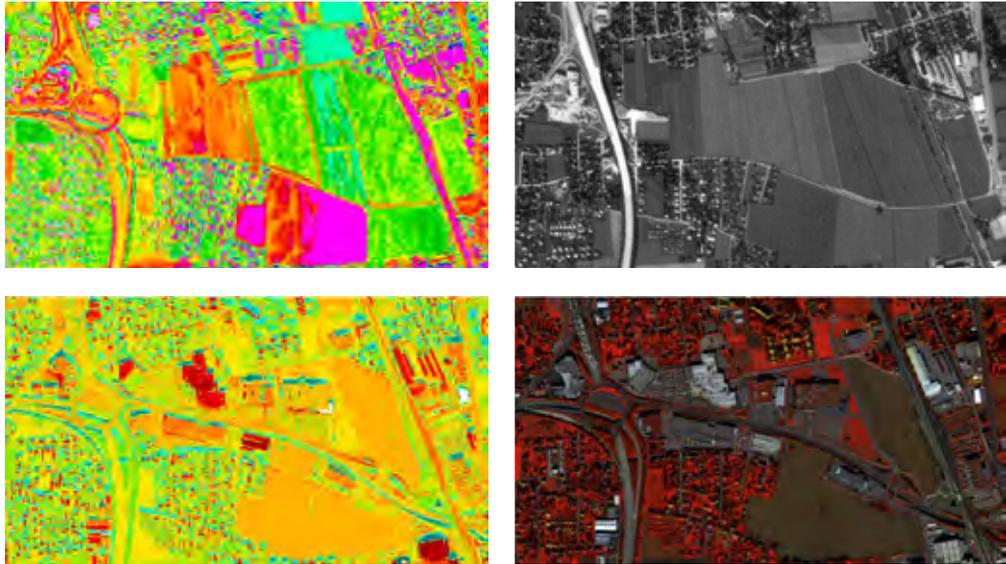
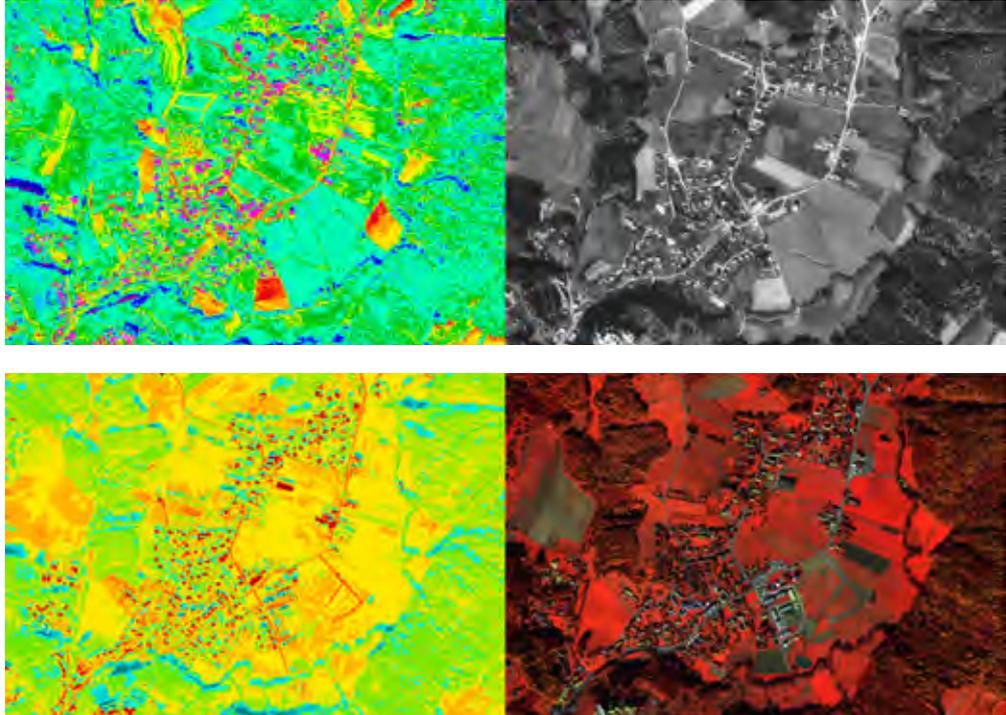


Abbildung 34:
Versiegelungstendenzen
im Föllinger Becken

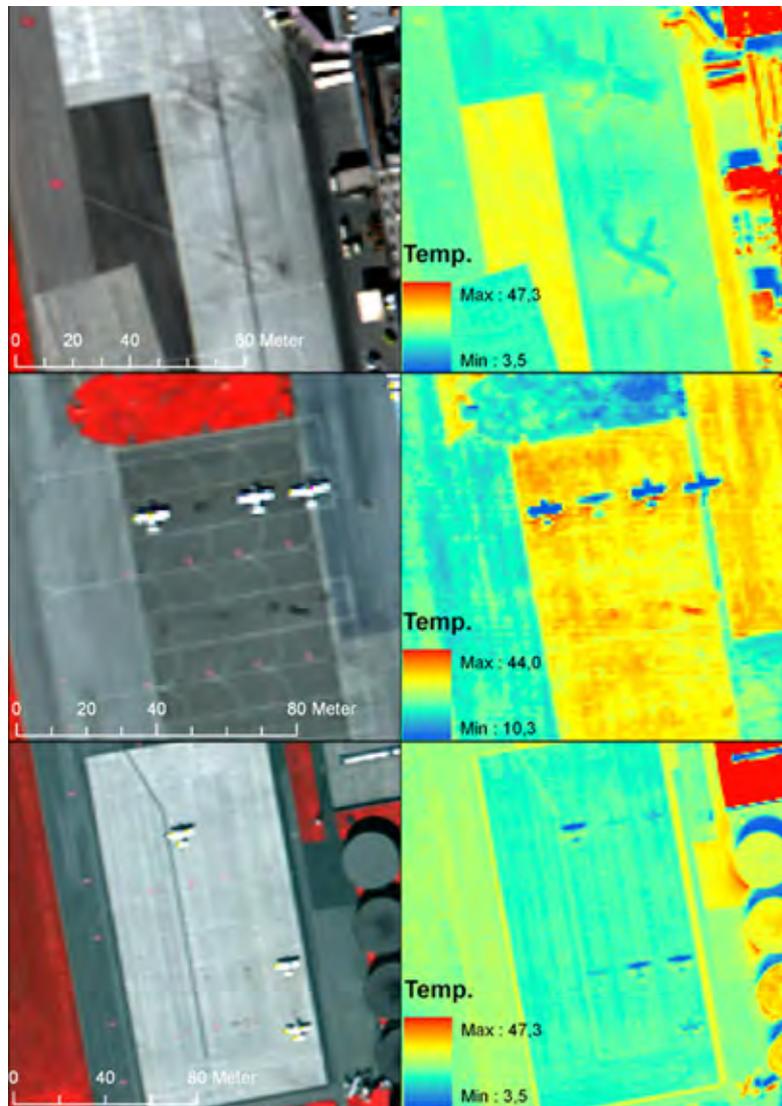


5.4.3 FLUGHAFEN GRAZ

Ein weiteres interessantes Beispiel für die Anwendbarkeit von Thermalscannerbefliegungen fällt bei genauerer Betrachtung des Flughafens Graz Thalerhof auf. Abbildung 35 zeigt sehr eindrucksvoll, dass mit der thermalen Information sogenannte thermale Schatten von Flugzeugen identifizierbar sind. Diese werden

von Flugzeugen, oder bei entsprechender Auflösung auch von Fahrzeugen, welche ihren Standort verlassen haben, hinterlassen, da sich der Boden unter den Objekten nicht so stark aufheizen kann, wie in der Umgebung (vgl. Prinz et.al., 1998).

Abbildung 35:
Thermale Schatten
von Flugzeugen
(Links: Kanalkombi-
nation: 7/5/3,
rechts: Thermalkanal)



5.4.4 THERMALE STADTSTRUKTURANALYSE 2011 UND 1986

Für den Vergleich der Stadtstruktur 2011 wurden nun in die Nutzungsflächen Polygone des Katasters der mittlere Temperaturwert gespeichert. Die jeweiligen Abbildungen zeigen weiters ein Histogramm der Oberflächentemperaturen sowie den Mittelwert der Temperatur für den kompletten Ausschnitt. Die Testgebiete verfügen natürlich 2011 und 1986 über die gleiche Position und Ausdehnung.

ES WURDEN 5 STADTSTRUKTURTYPEN AUSGEWÄHLT:

Mittelalterlicher Stadttyp

Gründerzeitlicher Stadttyp

Gründerzeitlicher Stadttyp (Seitentalauswindeinfluss)

Gartenstadt

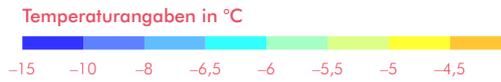
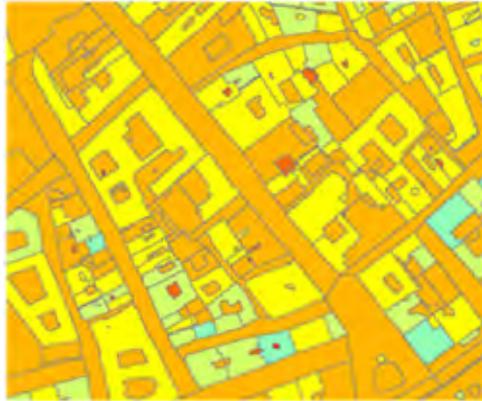
Gartenstadt (Seitentalauswindeinfluss)

SEHR DEUTLICH TRITT BEI DER BETRACHTUNG DER ABBILDUNGEN DER EINFLUSS DER SEITENTALAUSWINDE ZU TAGE, WELCHER SICH WIE FOLGT QUANTIFIZIEREN LÄSST:

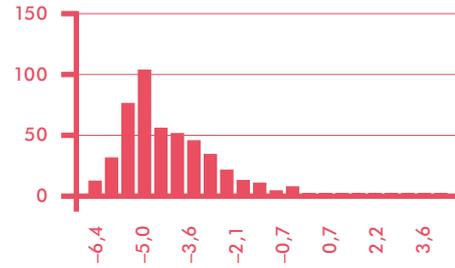
Differenz der gründerzeitlicher Stadttypen	1 °C
Differenz der Gartenstadt-Testgebiete	1,3 °C

Die maximale mittlere Temperaturdifferenzen der Testgebiete zueinander treten zwischen dem im Zentrum der Wärmeinsel gelegenen mittelalterlichen Stadttyp und der vom Seitentalauswind geprägten Gartenstadt in Mariatrost auf. Hier ist ein Temperaturunterschied von 2,5 °C zu beobachten.

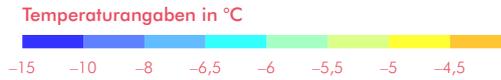
Abbildung 36:
Thermale Struktur-
analyse 2011



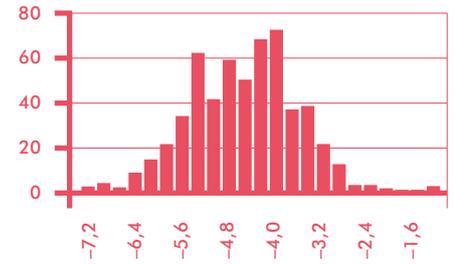
Mittelalterliche Stadtstruktur Zentrum



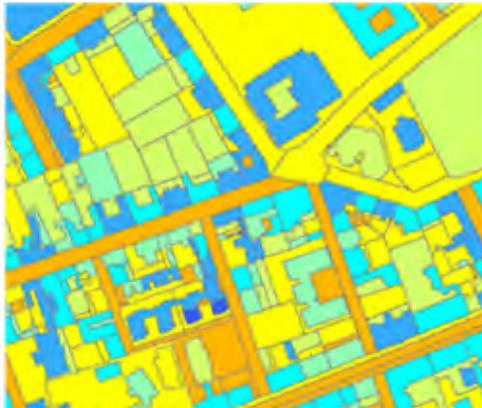
Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: **-4,1°C**



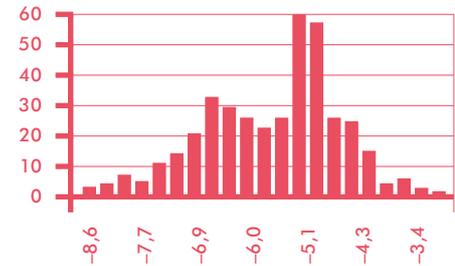
Gründerzeitliche Stadtstruktur Jakomini



Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: **-4,4°C**

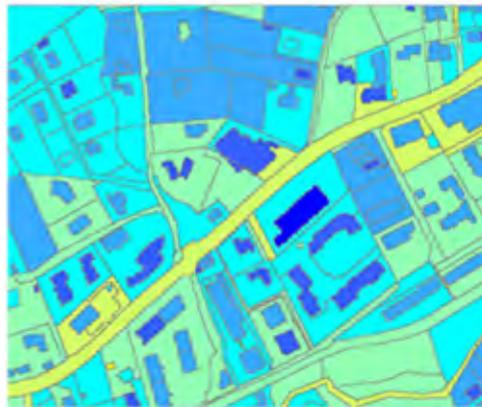
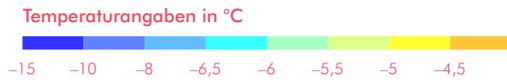


Gründerzeitliche Stadtstruktur Geidorf
Seitentalauswindeinfluss

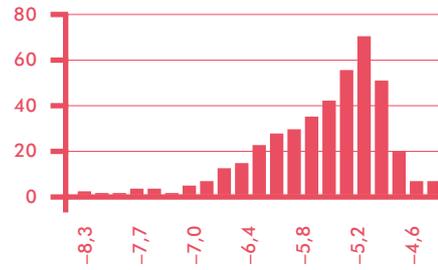


Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: **-5,4°C**

Abbildung 37:
Thermale Struktur-
analyse 2011

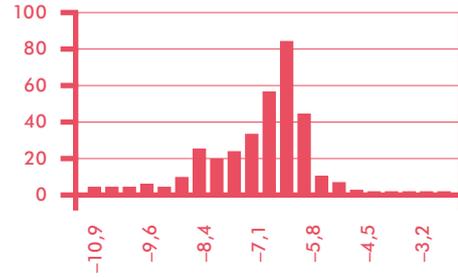


Gartenstadt Straßgang



**Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: -5,3°C**

**Gartenstadt Mariatrost
Seitentalwindinfluss**



**Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: -6,6°C**

Auf Grund der schlechteren Qualität der geometrischen Entzerrung der Daten, der schlechteren Kontrastverhältnisse der Daten von 1986 sowie der Zeitspanne zwischen 1986 und dem aktuellen Kataster ist die Qualität der Darstellung deutlich eingeschränkt. Für eine bessere visuelle Vergleichbarkeit wurde jedoch der gleiche Ansatz wie 2011 verwendet. Dies lässt sich auch dadurch rechtfertigen, dass hier der Temperaturmittelwert der Testgebiete die Hauptaussage bildet und nicht deren Verteilung.

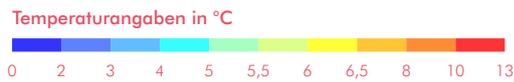
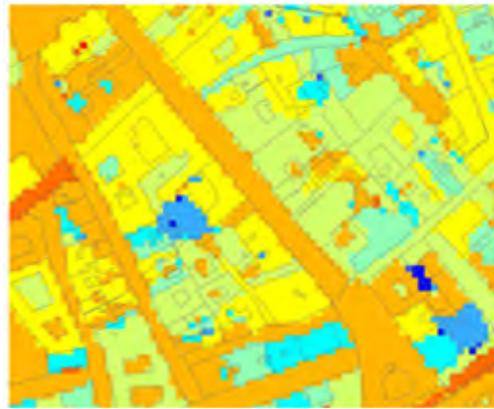
Auch für die Stadtstrukturanalyse von 1986 wurden die gleichen 5 Stadttypen verwendet, wie dies für die Analyse von 2011 der Fall war. Die Ausprägung der Differenzen der gründerzeitlichen Stadttypentestgebiete war 1986 schwächer ausgeprägt als 2011.

Differenz der gründerzeitlicher Stadttypen 0,4 °C

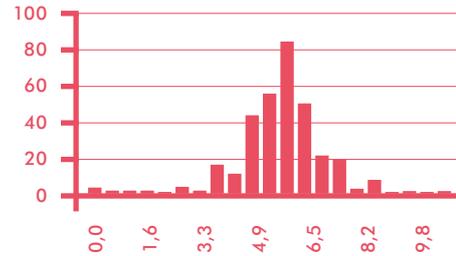
Im Gegensatz dazu war die Differenz der Gartenstadttestgebiete stärker ausgeprägt als 2011

Differenz der Gartenstadt-Testgebiete 1,7 °C

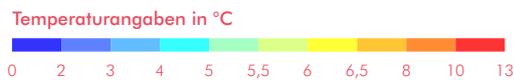
Abbildung 38:
Thermale Struktur-
analyse 1986



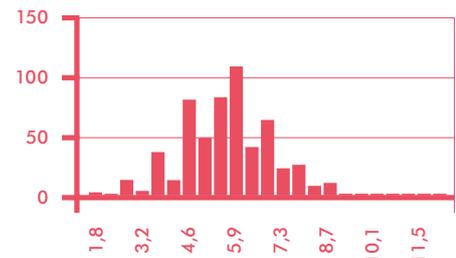
Mittelalterliche Stadtstruktur Zentrum



Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: 6,0°C



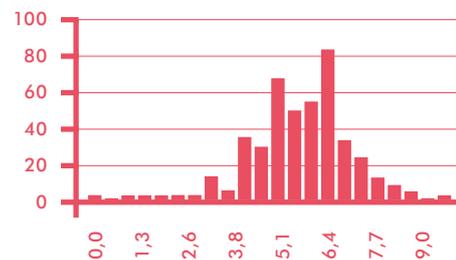
Gründerzeitliche Stadtstruktur Jakomini



Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: 5,9°C

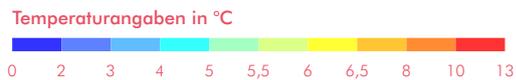


Gründerzeitliche Stadtstruktur Geidorf
Seitentalauswind einfluss

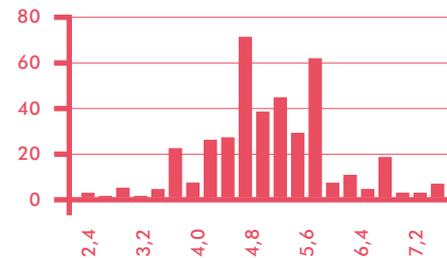


Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: 5,5°C

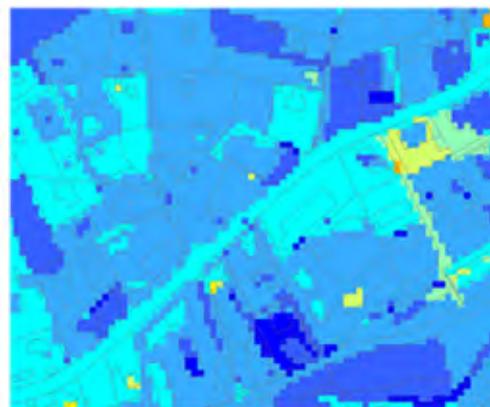
Abbildung 39:
Thermale Struktur-
analyse Gartenstadt
1986



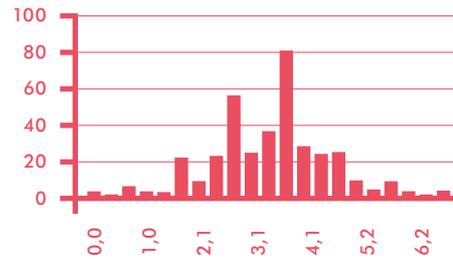
Gartenstadt Straßgang



**Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: 5,4°C**



**Gartenstadt Mariatrost
Seitentalauswindeinfluss**



**Histogramm der Oberflächentemperaturwerte
Mittelwert: 3,7°C**

Die maximale mittlere Temperaturdifferenz der Testgebiete zueinander trat auch 1986 zwischen dem im Zentrum der Wärmeinsel gelegenen mittelalterlichen Stadttyp und der vom Seitentalauswind geprägten Gartenstadt in Mariatrost auf. Hier ist ein Temperaturunterschied von 2,3 °C zu beobachten.

Der Vergleich anhand der Testgebiete innerhalb der jeweiligen Befliegungen zeigt, dass sich die Beziehungen der Stadttypen zueinander über einen Zeitraum von 25 Jahren nicht signifikant verändert haben. Dieses Verhältnis scheint sich also auch innerhalb des Jahres (1986 am 2. Oktober und 2011 am 20. Dezember beflogen) kaum zu verändern.

6. DIE DIGITALE KLIMATOPKARTE

6.1 ERLÄUTERUNGEN ZUR KLIMATOPKARTE

Als Hauptmerkmale zur Differenzierung wurden die Baukörperstruktur und die thermischen Verhältnisse (insbesondere für die nächtliche Ausprägung der Wärmeinsel), im Nordwesten von Graz auch die Durchlüftung, herangezogen. Aus kartographischer Sicht sind die Hauptmerkmale zur Differenzierung dabei, dem Bearbeiter für die Erstellung einer synthetischen Karte Grenzen hinsichtlich der Lesbarkeit zu setzen, wobei der Maßstab 1:25.000 durchaus den Anforderungen einer derart komplexen Karte gerecht wird. Das wesentliche Problem besteht in einer möglichst klar definierbaren Abgrenzung der Klimatope untereinander, wobei sich Baukörperstruktur, Geländelinien (z. B. Talsohlenbegrenzung), und schließlich durch Messungen erfasste Differenzierungen bei den Temperaturen als Leitlinien eignen.

Im Westen und Nordwesten bewährte sich die unterschiedliche Durchlüftung zur Abgrenzung recht gut mit der Durchlüftung („Düseneffekt“ in Gösting). Für den Planer ist jedoch wichtig, dass es sich bei der getroffenen Auswahl an Stadtklimatopen (30) um das kartographisch mögliche Maximum handelt, ohne die Karte zu stark zu überladen, und es zweifellos in einigen Bereichen (etwa in der Inneren Stadt) wün-

schenswert wäre, eine weitere Differenzierung vorzunehmen. Bei der Beschreibung der einzelnen Stadtklimatope wird jedoch weitgehend auf Besonderheiten (z. B. Klima der Innenhöfe) verwiesen.

Im Übrigen wurden die Grenzen in der Karte bewusst schwach dargestellt (keine Parzellenschärfe), da es sich mit einigen Ausnahmen um keine scharf ausgeprägten Übergänge zwischen den einzelnen Klimatopen handelt.

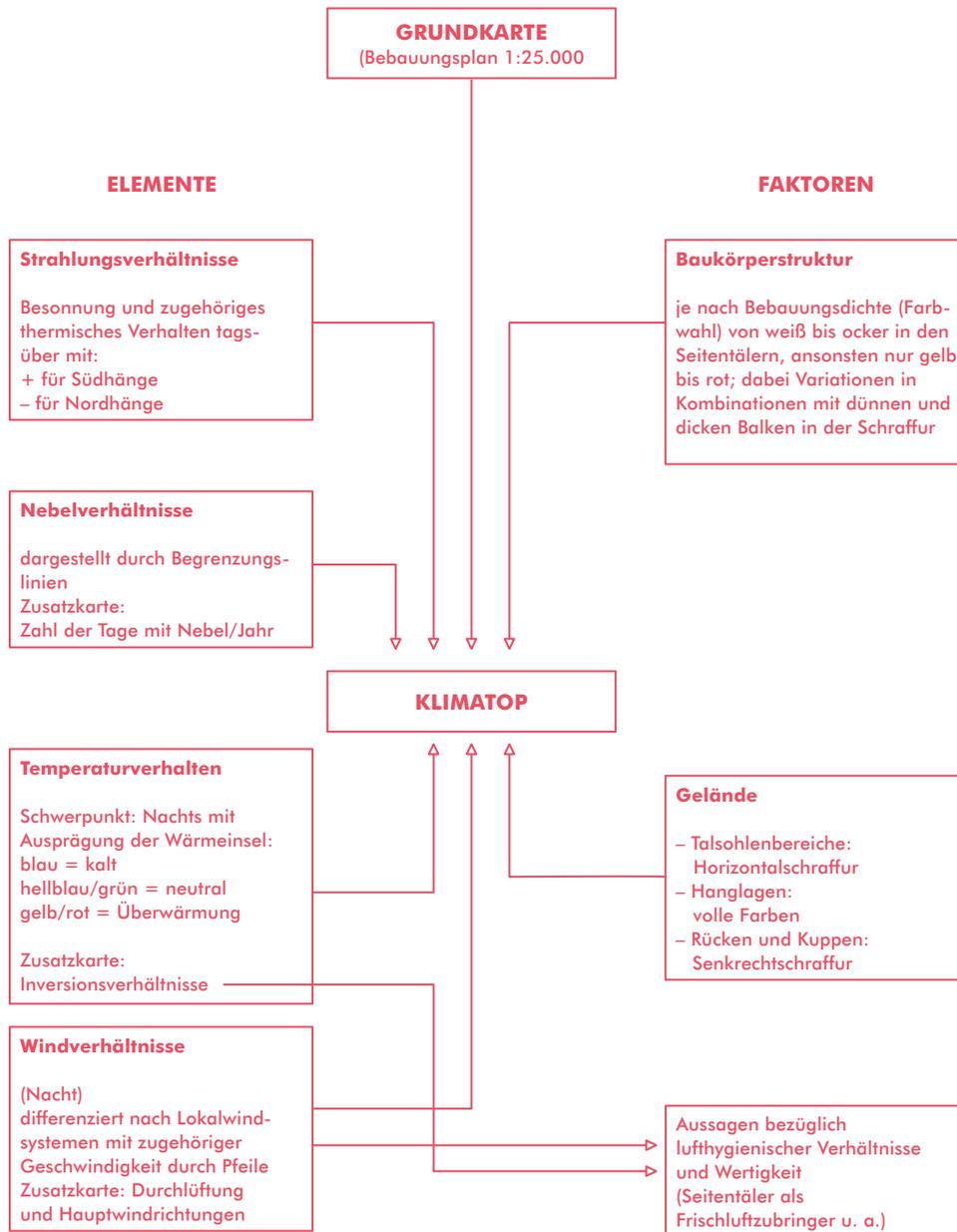
Die Tabelle 3 enthält das Schema des Konzepts zur Definierung der Klimatope für die Definierung der Klimatope mit den Faktoren Baukörperstruktur und Geländeeinfluss bzw. den ausgewählten Elementen Temperatur- und Inversionsverhältnisse, Durchlüftung mit Schwerpunktsetzung für die Nacht- und Morgenphase, Nebelverhältnisse, Strahlungsbedingungen und lufthygienische Eigenschaften (resultierend aus den Ausbreitungsbedingungen). Als Zusatzinformation schien es ferner sinnvoll, in einem Beiblatt kleinteilige Karten für wichtige Klimaelemente, wie Durchlüftung, Hauptwindrichtungen, Inversionsverhältnisse und Nebelverteilung, beizufügen – allesamt Parameter, die bei der lufthygienischen Beurteilung der Klimatope eine unerlässliche Rolle spielen.

6.2 DIE AUSGEWÄHLTEN BAUKÖRPERTYPEN UND IHRE ROLLE ZUR DEFINITION DER STADTKLIMATOPKARTE

Im engeren Stadtbereich kann man gut zwischen der Altstadt mit ihrer unregelmäßigen Straßenführung, überwiegend kleinen Plätzen und nur teilweise begrünten Innenhöfen, ihrer charakteristischen Ziegeldachlandschaft und generell hohen Bebauungsdichte (drei bis fünf Geschosse) einerseits und einer gründerzeitlichen Bebauung andererseits unterscheiden, die sich durch regelmäßige Straßenführung und relativ große, begrünte Innenhöfe (gilt nur für den Osten!) bei ziemlich einheitlicher Geschossanzahl (drei bis vier, selten fünf) auszeichnet. Im Westen (Bezirke Lend und Gries) sind die Innenhöfe größtenteils bebaut (Gewerbebetriebe), und der Anteil an begrünten Innenhöfen ist wesentlich geringer; woraus sich analog zur Altstadt ein hoher Versiegelungsgrad ergibt. Ferner wirkt die Aufrissgestaltung viel unruhiger, da Baulücken aus dem Zweiten Weltkrieg durch höhere Bauten ersetzt wurden. Relativ eng damit verzahnt und in den Thermalaufnahmen nur schwer davon zu unterscheiden, schließt ein Gürtel mit dominanter Blockverbauung daran an. Es ist dies von der Struktur her der heterogenste Typ (Blockgürtel), da reine Blockbebauung nur auf bestimmte Flächen beschränkt bleibt und dazwischen immer wieder Einzelbebauung auftritt, westlich der Mur aber auch Gewerbebetriebe vertreten sind; mitunter finden sich auch isolierte Grünflächen.

Den größten Flächenanteil nimmt der Typ „Gartenstadt“ ein, der vor allem im Westen und Südwesten bzw. in St. Peter im Osten weit verbreitet und durch Reihenhaussiedlungen (generell klein parzelliert) gekennzeichnet ist und nur lokal durch kleine Wohnblockbereiche unterbrochen wird. In St. Leonhard aber – auch an den Hängen und am Beginn der Seitentäler – dominiert ein ähnliches Bebauungsmuster, jedoch großparzelliert und teilweise mit Gärten, die parkähnlichen Charakter haben (Park- und Villenklima). Im Süden schließlich nimmt der Anteil an landwirtschaftlich genutzten Flächen deutlich zu, wobei der Übergang zum sogenannten „Umland“ nur undeutlich ausfällt und daher die Bezeichnung Vorstadt- bzw. Stadtrandgürtel durchaus treffend erscheint. Eine Sonderstellung nehmen die Industrie- und Gewerbeflächen wegen ihres hohen Versiegelungsgrades ein, die schwerpunktmäßig im Nordwesten (Hauptbahnhofbereich mit zugehörigen Gleisanlagen des Vershubbahnhofes) und entlang der Mur im Westen anzutreffen sind; die eh. Puchwerke mit ihren ausgedehnten Dachflächen gehören ebenfalls diesem Typ an.

Abbildung 1:
Grundkonzept für
die kartographische
Gestaltung der
Klimatope

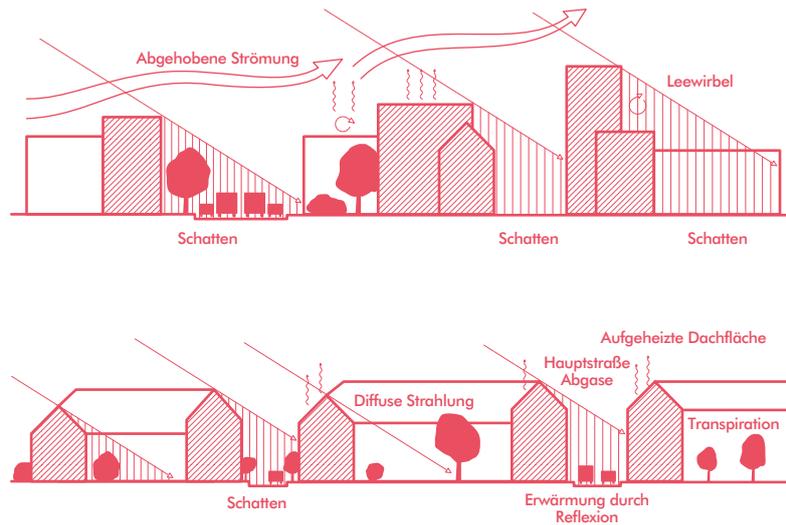


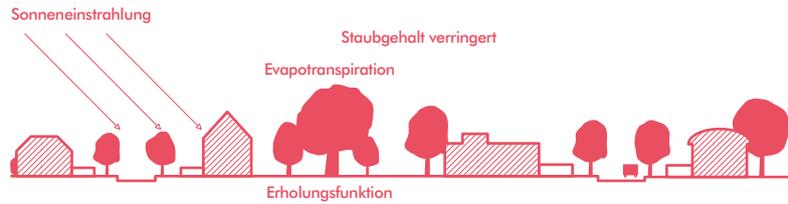
6.3 GELÄNDEKLIMATISCHE ASPEKTE BEI DER KLIMATOPABGRENZUNG

Während im Grazer Feld die stadtklimatische Differenzierung in einer starken Abhängigkeit zur Baukörperstruktur und der damit verbundenen Ausprägung der Wärmeinsel steht, lässt sich in den Seitentälern mit den zugehörigen Hang- und Riedellagen eine klare Gliederung nach geländeklimatischen Eigenschaften eine Differenzierung der Seitentäler mit ihren Talflanken vornehmen. Die Seitentäler werden dabei mit wenigen Ausnahmen (Gabriachtal bei St. Veit) mit zunehmender Entfernung und immer geringer werdenden Bebauungsdichte stadtauswärts immer kälter – besonders in Beckenlagen.

Die Hanglagen in den Seitentälern verhalten sich in gleicher Seehöhe anders als jene im Haupttal (andere Durchlüftungsbedingungen) und werden deshalb getrennt ausgewiesen (Klimatope 17 bzw. 20). Zur besseren Lesbarkeit wurden volle Farben verwendet, die sich gut von der Senkrechtschraffur der Riedel- und Kammlagen abheben.

Abbildung 2:
Schematische Darstellung der Klimabeeinflussung durch die Baukörperstruktur am Beispiel der Innenstadt (City Klima) (verändert nach P. STOCK, 1986)





6.4 BESONDERE OBERFLÄCHEN UND IHRE ZUORDNUNG ZU KLIMATOPEN (ALS SONDERKLIMATOP IN DER KARTE BEZEICHNET)

Allgemein handelt es sich um isolierte Flächen, die nach ihrem thermischen Verhalten erheblich von ihrer Umgebung abweichen und deshalb bis zu einer gewissen Mindestgröße (etwa entsprechend eines Einkaufszentrums) ausgeschieden werden. An erster Stelle stehen landwirtschaftlich genutzte Flächen (Klimatop isolierte Grünflächen); es folgen die Klimatop isolierter Grünflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, Parks und Friedhöfe sowie der Bereich des LKH und der ehemaligen Deponie Köglerweg, die jeweils, abgesehen von den thermischen Eigenschaften, den jeweiligen Stadtklimatopen in der Umgebung zugeordnet sind.

6.5 ERLÄUTERUNGEN ZUM GRUNDKONZEPT DER KARTOGRAPHISCHEN GESTALTUNG

In Abbildung 1 wurde versucht, die Abgrenzung und Definition der Stadtklimatope in einer übersichtlichen Form zusammenzufassen. Dadurch werden die Verzahnung von Gelände und Baukörperstruktur als Faktoren einerseits und die wesentlichen Elemente, wie Temperaturverhalten etc., andererseits zur Abgrenzung der Klimatope ersichtlich.

Abschließend sei bemerkt, dass sich die in der Legende angeführte nächtliche Temperaturdifferenzierung auf die Bedingungen in wolkenarmen Nächten bezieht (Mittel aus ca. einem Drittel aller Nächte), was immerhin Horizontalunterschieden zwischen dem wärmsten und dem kältesten Punkt von 9 bis 10 K, im Winter auch mehr, entspricht. Der Stadtrandgürtel (Nr. 8) im Süden von Graz scheint aus Platzgründen im Diagramm nicht auf und umfasst den Bereich zwischen 0,5 bis 1,5 K Temperaturdifferenz (zum Bezugspunkt Thalerhof).

Irrführend scheint bei dem Vergleich mit der Hauptkarte die Bezeichnung „Stadtklima“ zu sein, die eigentlich als Überbegriff fungieren sollte. Wie die Abgrenzung der Stadtklimatope zeigt, bildet die Baukörperstruktur nur ein Merkmal zur Differenzierung, beispielsweise umfasst der Wärmeinselnkern (Stadtklimatop 1) große Teile der gründerzeitlichen Bebauung (mit nur geringem Anteil an begrünten Innenhöfen).

Hier schien die Hervorhebung dieser wichtigen Stadtklimaeigenschaften besonders wichtig. In den Hanglagen der Seitentäler wurde überhaupt auf eine Differenzierung hinsichtlich der Baukörperstruktur verzichtet, da ohnedies eine lockere Einzelbebauung vorherrscht. Diese Hanglagen erfahren jedoch eine Differenzierung bezüglich der Strahlungsverhältnisse, die durch entsprechende Signaturen (+ = Überschuss in Südhängen, – = Defizit) gekennzeichnet wurden.

6.6 ZUSAMMENFASSENDE BESCHREIBUNG DER STADTKLIMATOPE

Die folgende Beschreibung dient als Ergänzung. Der Wärmeinselnkern (Klimatope 1 und 2) umfasst die gesamte Altstadt und westlich der Mur auch Teile der gründerzeitlichen Bebauung, mit deutlich höherem Versiegelungsgrad als im „Gründerzeitgürtel“. Der Westabschnitt (Nr. 1 in der Karte) unterscheidet sich vom östlichen Teil durch die Durchlüftungsverhältnisse.

So lässt sich östlich der Mur speziell in der ersten Nachthälfte die von Nordosten her einströmende Kaltluft aus den Seitentälern nachweisen (besonders gut infolge Kanalisierungseffekt im Bereich des Ringes zwischen Oper und Neutorgasse), während der Westteil ausschließlich vom Murtalauswind beherrscht wird, der jedoch wegen der unregelmäßigen Straßenführung selten oder nur abgeschwächt bis ins Straßenniveau durchgreift. Leitlinien für den Murtalauswind bilden hingegen neben der Mur (1 bis 3 m/s) auch die Sackstraße und der Lendplatz. Die Überwärmung gilt nach den Messfahrten nur für die Nacht; tagsüber gibt es im Gegensatz zu Großstädten in Deutschland keinen Wärmeiseleffekt und daher auch kein zum Zentrum gerichtetes Flurwindssystem, wie etwa in Dortmund.

Tagsüber sind Vergleiche zwischen Innenhöfen unterschiedlicher Ausgestaltung und besonnten Plätzen von Interesse. Kleine, begrünte, stark beschattete und abgeschlossene Innenhöfe verzeichnen dabei die stärksten negativen Abweichungen (3 bis 5 K) von der Referenzstation Thalerhof, während die Plätze wegen der Windoffenheit nur kurzfristig geringfügig (bis ca. 1 K) wärmer sind als das Umland – Ergebnisse, die sich im Übrigen recht gut mit Untersuchungen aus Freiburg decken (W. Nübler, 1979). Wichtig für die Schadstoffausbreitung ist, dass sich während der Nacht durchwegs Bodeninversionen unter dem wärmeren Murtalauswind bilden, was z. B. in den größeren Städten Deutschlands nicht beobachtet werden kann, wo sich überwiegend „abgehobene“ (= freie) Inversionen über den jeweiligen Wärmeinselnkernen einstellen.

Allerdings ist die Inversionshäufigkeit im Grazer Stadtkern gegenüber dem Umland etwas geringer.

Um den Wärmeinselnkern schließen Gründerzeitviertel an, im Westen die Industrie- und Gewerbezone „Hauptbahnhof“ (Nr. 4), die in der Nacht eine fast annähernd so starke Überwärmung aufweist wie die Wärmeinsel und hauptsächlich wegen der starken Aufheizung der versiegelten Flächen eigens ausgeschieden wurde. Im Gegensatz dazu wird die Wärmeinselintensität im Gründerzeitgürtel Ost (Nr. 3c) deutlich durch die einfließende Kaltluft aus den Seitentälern gedämpft, wodurch sich neben einer auffälligen Asymmetrie zum Westen auch lufthygienische Vorteile ergeben (raschere und bessere Lüfterneuerung trotz der schon erheblich verbauten und somit vorbelasteten Seitentäler).

Bei einem Vergleich der Situation tagsüber schneiden die Gründerzeitgürtel besser ab als weite Teile des Wärmeinselnkerns, da die Innenhöfe großflächiger gestaltet und überwiegend begrünt sind, wodurch sich, wie die Messergebnisse der Station Hof/Harrachgasse zeigten, ein bioklimatisch ausgesprochen behagliches Wohnklima ergibt. Bei Durchschnittstemperaturen, die durchaus noch Wein- oder Marillenanbau gestatten würden, bleiben die Extreme gedämpft. Bezüglich der Strömungsverhältnisse ist auf die nächtliche Windscherung zwischen stadteinwärts strömender kälterer und wärmerer Luft des Murtalauswindes zu achten, der generell für die Durchlüftung des Klimatops Nr. 3b (Geidorf) verantwortlich zeichnet, während sich im Süden (Nr. 3a) besonders im Winter in der zweiten Nachthälfte auch Flurwinde bemerkbar machen und die Nebelhäufigkeit gegenüber Nr. 3a deutlich zunimmt. Letztere Aussagen betreffen auch die Industrie- und Gewerbezone 6a in ihrem südlichen Teil, während der nördliche durch kräftigeren Murtalauswindeneinfluss begünstigt wird.

Infolgedessen führt eine markante Nebelverbreitungsgrenze mitten durch die Zone, wobei der Talnebel häufig gerade noch den Hauptbahnhofbereich erfasst. Konzentrisch um die gründerzeitlichen Klimatope reihen sich die von der Baukörperstruktur her sehr heterogenen „Blockgürtel“ 5a-e, die, von einer noch relativ einheitlichen nächtlichen Überwärmung (3 bis 4,5 K in heiteren Strahlungs Nächten) abgesehen, sehr große Unterschiede in der Durchlüftung aufweisen. So wird für bodennahe Emissionsquellen in den Blockgürteln 5b und 5c der Flurwind einfluss besonders im Winterhalbjahr maßgeblich, während die Abgase großer Emittenten (z. B. das Fernheizkraftwerk Puchstraße in der Industrie- und Gewerbezone 26) mit dem Murtalabwind nach Süden verfrachtet werden. Mit dem erhöhten Flurwind einfluss verzeichnen die südlichen Blockgürtel 5a, b auch eine wesentlich größere Nebelhäufigkeit (60 bis 90 Tage) gegenüber dem Blockgürtel 5a im Nordwesten (40 bis 50 Tage) bei einheitlicher Durchlüftung. Lufthygienisch benachteiligt wird der Blockgürtel West (Nr. 5e) infolge geringen Einflusses des Murtalauswindes bzw. Fehlens von Kaltluftzufuhr aus Seitentälern.

Im Blockgürtel Ost (5c) war die aus dem kleinen Seitentalkessel Ruckerlberg/Waltendorf ausströmende Kaltluft früher zweifellos wirksamer; heute ist die Bebauung so weit fortgeschritten, dass die einströmende Kaltluft wärmer und der Effekt für die Lüfterneuerung bei weitem geringer geworden ist. Damit zählen die Bezirke St. Peter und St. Leonhard zu jenen mit der stärksten Temperaturzunahme seit der Jahrhundertwende, wobei das Ausmaß der Temperaturerhöhung während der Nacht (Verstärkung des Wärmeinsel-effektes) mit 1 bis 2 K für klare Strahlungsnächte abgeschätzt werden kann, woraus sich noch immer eine mittlere Erwärmung in den letzten vier Jahrzehnten um 0,4 bis 0,8 K ergibt. Die thermische Asymmetrie zwischen den wärmeren westlichen und kühleren östlichen Bezirken hat sich somit merklich abgeschwächt, so dass die Differenz in klaren Nächten nur noch etwa 1 bis 3 K, bei höheren Werten im Hauptbahnhofbereich, beträgt.

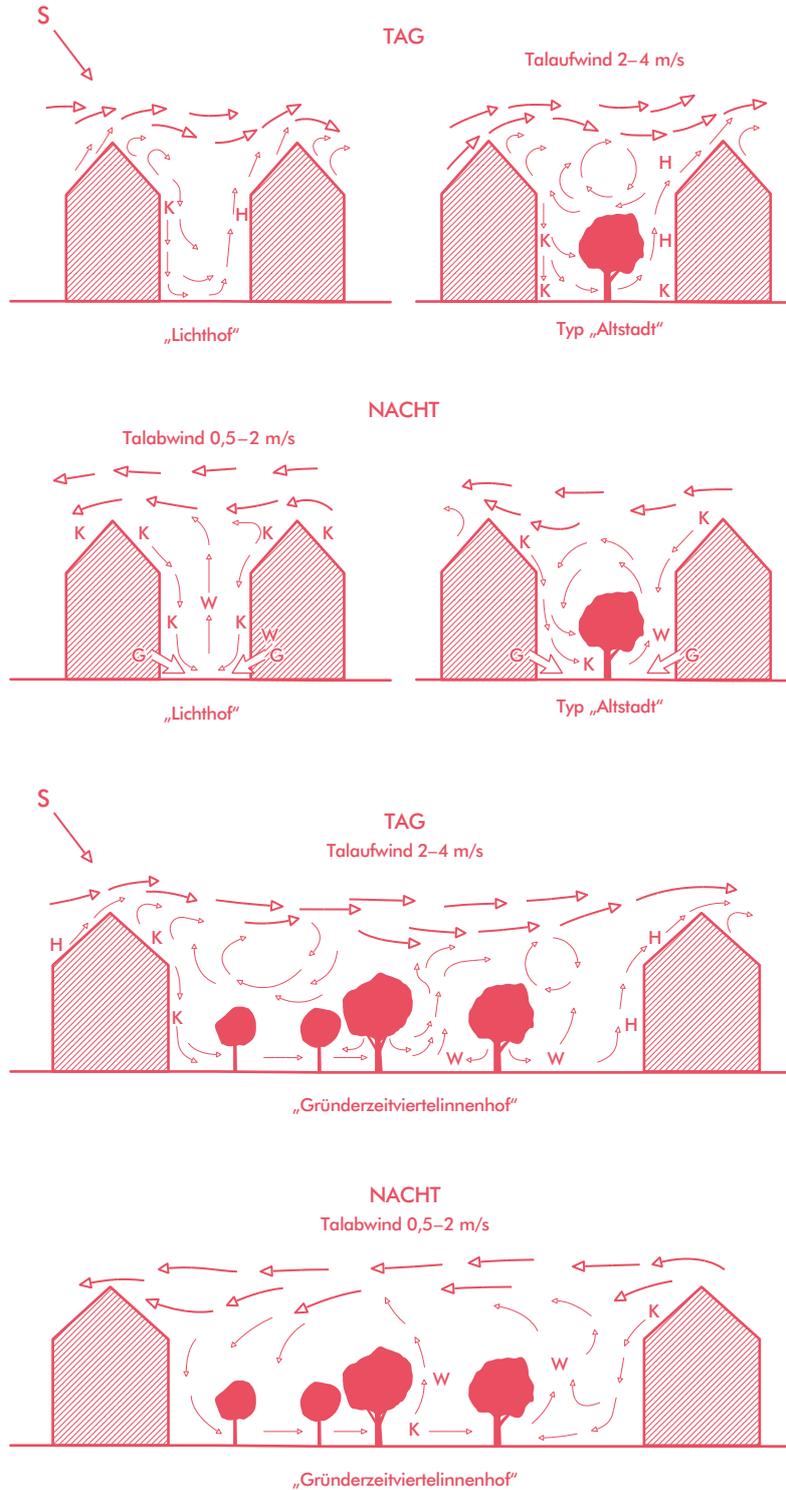
Grundlage: Beobachtungen bzw. Messungen in Innenhöfen, ferner Untersuchungen von W. Reichelt (1979). Zu beachten ist die Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse vom Gebäudeabstand.

Von den besprochenen „Blockgürteln“ nach außen nimmt nun der Anteil der Einzelbebauung stark zu, wofür in Anlehnung an einen Teil in St. Peter („Gartenstadt“) die Bezeichnung „Gartenstadtgürtel“ gewählt wurde. Diese lockere Bebauung mit ihrem erhöhten Anteil an Grünflächen dämpft die nächtliche Überwärmung (Wärmeinselintensität 1,5 bis 3 K), schon wegen der tagsüber geringeren Aufheizung der teils beschatteten Obstgärten bei entsprechender höherer Transpiration. Dadurch bleiben auch tagsüber die Unterschiede zum Umland sehr gering. Beträchtliche Gegensätze sind jedoch hinsichtlich der Durchlüftung und der Nebel- und Inversionsgefährdung zu beachten.

Eine Sonderstellung nimmt der Blockgürtel 7a ein, der gemeinsam mit der heterogenen Zone 7 (teilweise durchaus auch dem Typ Gartenstadt entsprechend) eine wichtige Gemeinsamkeit aufweist: Die Strömungsverhältnisse werden hier durch eine Rezirkulation mit dem Murtalauswind geprägt, was erstmals Modellberechnungen ergaben. Im östlichen Teil herrschen demnach nördliche Winde, im westlichen südliche Winde vor. Dieses Phänomen wird geländeklimatisch durch den Vorsprung mit der Hubertushöhe bedingt, wo sich im Lee ein Wirbel ausbildet.

Die Gartenstadtgürtel West (6a) und Ost (6) unterliegen einem starken Flurwind einfluss, dadurch sind speziell im Südwesten Windscherungen zwischen 30 und 80 m über Grund typisch. Da die Flurwinde durch Reibungsverluste nur sehr geringe Geschwindigkeiten erreichen (0,3 bis 1 m/s), dominieren in den ersten 10 m über Grund Windstillen, so dass der Gartenstadtgürtel West (Zone 6a) zu den Bereichen mit der geringsten Durchlüftung gehört (Kalmenanteil im Winter über 50 %).

Abbildung 3:
Temperatur- und
Strömungsverhältnisse
in Innenhöfen (Tag-
Nacht-Vergleiche)



Am besten schneidet der Gartenstadtgürtel Nordwest (6d) ab, der noch im Randbereich des Murtalauswindes liegt. Mit der geringen nächtlichen Überwärmung verschärfen sich die Bodeninversionen gegenüber den inneren Bezirken, auch die Häufigkeit ist um einige Prozent höher zu veranschlagen. Die Nebelhäufigkeit nimmt nach Süden zu (bis zu 80 Tage mit Nebel), im Gegensatz zur Zone 14, die unter dem Murtalauswind einfluss zu den nebelarmen Zonen in Graz zählt.

Sehr unscharf von der Baukörperstruktur her verläuft die Abgrenzung zum Stadtrandgürtel (Zone 8). Sie beruht im Wesentlichen auf einer deutlichen Zunahme der landwirtschaftlich genutzten Flächen, so dass bei einer Kombination einer lockeren Einzelbebauung (z. B. Murfeldsiedlung) mit älteren Siedlungskernen entlang der Ausfallsstraßen kaum mehr Unterschiede zum Umland (Grazer Feld) bestehen. Charakteristika des Stadtrandgürtels (Typ „Vorstadt“) sind hohe Nebelgefährdung (zwischen 90 und 110 Tage mit Nebel), verstärkte Inversionsbereitschaft und Windarmut mit überwiegendem Flurwind einfluss während der Nacht- und Morgenstunden. Die nächtliche Überwärmung sinkt auf 0,5 bis 2 K ab und betrifft nur mehr die Bereiche mit größerer Bebauungsdichte bzw. die Siedlungskerne. Die Abschnitte der Murauen (Zone 8) weisen bereits negative Abweichungen zur Basisstation Thalerhof auf.

Als Kältepole innerhalb dieses Stadtrandgürtels heben sich die Grünflächen als isolierte Bereiche mit stagnierender Kaltluft markant ab, deren klimaökologische Bedeutung nur auf den Nahbereich (50 bis 100 m) beschränkt bleibt, da die in situ gebildete Kaltluft nur eine geringe Mächtigkeit besitzt. Die große, landwirtschaftlich genutzte Fläche im Südwesten entlang des Buchkogels ist als Sonderklimatop eigens im Tabellenanhang angeführt, da sie bezüglich der Ausbreitungsbedingungen zu den ungünstigsten von ganz Graz zählt (neben den Seitentalkesseln windschwächstes Gebiet).

Ganz im Gegensatz dazu zeichnet sich der Düseneffektgürtel (Zone 9) im Nordwesten von Graz durch sehr starke nächtliche Durchlüftung aus, weshalb diese Bezeichnung auch unabhängig von der Baukörperstruktur (alter Siedlungskern Gösting, Einzelbebauung, kaum Blockbebauung) gewählt wurde. Der

starke Murtalauswind einfluss bewirkt im Winterhalbjahr oft die Ausbildung einer sekundären Wärmeinsel (mitunter höhere Temperatur als im Zentrum von Graz), woraus sich eine deutliche thermische Abweichung vom Stadtrand im Süden ergibt. Parallel dazu handelt es sich um den nebelärmsten Abschnitt im Grazer Feld (weniger als 40 Tage mit Nebel, günstiger schneiden nur noch die höheren Riedellagen ab). Die der Zone 9 zugeordnete Grünfläche des Wasserwerkes (9a) wird vom Murtalauswind aber nicht erfasst, so dass sich dort eine seichte bodennahe Kaltluft ausbilden kann. In nur 30 bis 50 m über Grund werden jedoch schon wieder Windgeschwindigkeiten über 3 m/s gemessen, an der Weinzödlbrücke 4 bis 6 m/s (2 m über Grund, im Kern der Strömung ca. 8 bis 10 m/s).

Teils ältere Siedlungskerne, teils lockere Einzelbebauung (in Andritz auch „verdichteter Flachbau“ und Blockbebauung mit begrenzter Geschosshöhe) kennzeichnen die Baukörperstruktur in den Seitentalmündungsbereichen (Andritz 11, St. Leonhard 10).

St. Leonhard verkörpert dabei noch am ehesten den Typ eines „Villenklimas“. Bei nur geringer nächtlicher Wärmeinselintensität (1 bis 1,5 K) infolge des Kaltluftabflusses aus den Seitentälern und guten lufthygienischen Bedingungen sind auch tagsüber wegen des hohen Baumanteils recht ausgeglichene Temperaturverhältnisse gegeben. Der Seitentaleinmündungsbereich Andritz ist dagegen viel heterogener gestaltet und beinhaltet auch Betriebe (z. B. eine Maschinenfabrik), wodurch die thermischen Verhältnisse und die Durchlüftungsbedingungen durchaus ähnlich der Zone 21 werden. Allerdings ist in Andritz die Nebelhäufigkeit sogar noch etwas geringer als in St. Leonhard.

In den Seitentälern konnte entsprechend der Bebauungsdichte und der Temperaturabweichung von der Basisstation Thalerhof zwischen drei Abschnitten unterschieden werden, wobei die Seitentalbecken (Niederschöckl und Mariatrost/Fölling) gesondert hervorgehoben wurden. Gelten sie doch als „Kältepole“ schlechthin mit Temperaturminima, die jenen in den inneralpinen Tallagen kaum nachstehen.

Auf den beachtlichen Temperaturdifferenzen von 10 K und mehr zwischen diesen Kaltluftreservoirs und dem Wärmeinseln beruht letztlich der Kaltluftabfluss aus den Seitentälern, der durch die Verbauung vor allem der unteren Abschnitte (Zonen 12 und 13) an Stärke eingebüßt hat und zudem durch Emissionen aus dem Hausbrand bzw. dem Kfz-Verkehr (Pendler) vorbelastet wird. Trotzdem leistet er bei kritischen Inversionswetterlagen, wie dies z. B. im Winter 1987/88 der Fall war, einen wesentlichen Beitrag zur rascheren Lufterneuerung im Osten von Graz.

In Hinblick auf die Schadstoffausbreitungsbedingungen wirkt sich in den Seitentalbecken vor allem die extrem invers geschichtete windschwache Kaltluft ungünstig aus (bei Schneedecke 10 bis 15 K Inversion in den ersten 50 Höhenmetern). Die Nebelhäufigkeit ist in den Becken (Zone 15) wegen der kräftigen nächtlichen Abkühlung gegenüber den anderen Seitentalabschnitten deutlich erhöht, selbst wenn es sich nur um seichte Bodennebelfelder handelt, die sich am Vormittag rasch auflösen.

Tagsüber herrschen in den Seitentälern Taleinwinde, die im Winterhalbjahr belastete Luft aus dem Stadtgebiet mitführen und einen Anstieg der Schadstoffbelastung verursachen. Im Sommerhalbjahr greifen mitunter übergeordnete Winde (Antirandgebirgswinde) mit östlichen Komponenten in das Geschehen ein, so dass in den Seitentälern insgesamt als Hauptwindrichtung die Talwindkomponenten (Nord bis Ost) dominieren.

Hinsichtlich der nächtlichen Temperaturverhältnisse muss noch auf Besonderheiten einiger Seitentäler hingewiesen werden. So sind Gabriahtal und Statteggertal – bedingt durch bauliche Hindernisse und damit verbundenen Kaltluftstau in den unteren Abschnitten – am kältesten. Im Thalerbachtal wird die Kaltluft oft durch den starken Murtalauswind bei Gösing am Ausfließen gehindert bzw. wird von der wärmeren Luft des Murtalabwindes regelrecht „aufgezehrt“, wie dies in den Thermalaufnahmen sehr eindrucksvoll zu erkennen ist.

Nur bei schwacher Entwicklung des Murtalauswindes konnte Kaltluftabfluss aus dem Thalerbachtal beobachtet werden, der aber keinesfalls die Bedeutung

jenes aus den Seitentälern im Osten erlangt. In der Einöd, dem einzigen Taleinschnitt im Plabutsch-Buchkogel-Zug, lässt sich wohl ein schwacher Kaltluftabfluss beobachten, der aber nur lokale Bedeutung hat. Eine weitere Sonderform der Seitentäler im Osten von Graz stellen solche mit einer Talverengung am Talaustritt dar, so dass von einem „Talkessel“ gesprochen werden muss (Zone 16). Dabei wird einerseits der Kaltluftabfluss weiter behindert, andererseits die Ventilation tagsüber speziell im Winterhalbjahr auf ein Minimum abgesenkt. Hinsichtlich der Ausbreitungsbedingungen kommt zu der großen Inversionsbereitschaft und Kalmenhäufigkeit erschwerend hinzu, dass durch die Bebauung der Hanglagen gegenseitige Immissionsbelastungen (Hausbrand speziell bei Festbrennstoffkesseln) auftreten können.

Der Typ „Seitentalkessel“ umfasst ferner nicht nur die Tal-, sondern auch die zugehörigen Hangbereiche, wobei die klimatisch wesentlich günstigeren Oberhanglagen der Zone 18 (Riedelrücken im Osten von Graz) zugeordnet wurden. Der Übergang kommt in der Karte wesentlich schärfer zum Ausdruck, als es der Realität entspricht.

In den Hanglagen sind nun neben der thermischen Differenzierung (Temperaturzunahme nach oben) auch Besonnungsgegensätze zu beobachten, die in den Thermalanalysen des Mittagsfluges gut wiedergegeben werden.

Bezüglich der Lufttemperaturverhältnisse sind je nach Windexponiertheit der Hänge Überwärmungen in den Südhängen von 0,7 bis 1,5 K gegenüber neutralen Lagen zu berücksichtigen. Die rasche Erwärmung der besonnten Hanglagen führt ferner zu Hangaufwinden, während an nordexponierten, beschatteten Hanglagen vor allem im Winterhalbjahr auch tagsüber Hangabwinde auftreten können. Wegen der großen Unterschiede bezüglich der Durchlüftung und thermischen Struktur wurden in der Karte die Hanglagen in den Seitentälern (Zone 17), die besonders in der zweiten Nachthälfte und am Morgen stark von den Seitentalauswinden und deren Inversionsaufbau beeinflusst werden, gesondert von jenen Hanglagen ausgeschieden, die im Grazer Feld dem Regime des Murtalauswindes unterliegen, was

ausnahmslos für die Zone 19 (untere Hangzone Ost) und eingeschränkt für die Hänge des Plabutsch-Buchkogel-Zuges (20) zutrifft.

Die Abgrenzung dieser Hänge nach oben ist im Osten durch die begünstigten und gut ventilierten (Murtalauswindeinfluss) Riedelrücken (Zone 18a) gegeben, während im Westen die obere Hangzone (Nr. 21) anschließt, die sich durch wesentlich höhere nächtliche Temperaturen („warme Hangzone“) und eine deutlich verringerte Inversionsgefährdung auszeichnet.

Während die niedrigeren Riedelrücken im Osten (Nr. 18b) Seehöhen zwischen 430 und 550 m die seichten Bodeninversionen überragen, liegt die warme Hangzone oberhalb von ca. 200–300 m über Grund im Sommerhalbjahr schon oberhalb der meisten Bodeninversionen. Im Winterhalbjahr bleibt sie über den für kritische Inversionslagen ungünstigen Mischungsschichthöhen von ca. 200 m, was einer Untergrenze der abgehobenen Inversionen von 550 m entspricht. Somit wird die bewusst starke farbliche Kontrastierung in der Karte zwischen den Zonen 20 und 21 verständlich, zumal noch zu beachten ist, dass in etwa 550 m Seehöhe häufig die Obergrenze des Murtalauswindes verläuft und die Windverhältnisse dieser Zone in zunehmendem Maße von modifizierten Gradientwinden bzw. übergeordneten Windsystemen im Alpenvorland (Randgebirgswind) geprägt werden.

Als Besonderheit zu den Hanglagen ist noch zu erwähnen, dass sich in ausgeprägten Hangmulden Kaltluftabfluss ausbilden kann, der nur eng begrenzte lokale Bedeutung hat (Zone Nr. 11 z. B. am Reinerkogel). Zu dieser Zone gehört auch ein kleines Tälchen am Südfuß des Buchkogels, wo sich die Hangkaltluft sammelt und weiter abkühlt, so dass die Ausbreitungsbedingungen wegen der geringen Geschwindigkeiten und hohen Inversionsgefährdung als sehr ungünstig anzusehen sind.

Die höchsten Kamm- und Gipfellagen der Umgebung von Graz (Gipfelzone Nr. 22, ab ca. 620 m Seehöhe) unterscheiden sich von der oberen Hangzone (21) hauptsächlich durch ihre windoffene Lage und die damit verbundene gute Ventilation, wobei die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten am Admonter Kogel und am Straßengelberg mit ca. 3 m/s

(Jahresmittel) zu erwarten sind, was auf deren Überströmung durch den Murtalauswind mit seinem entscheidenden Einfluss auf die Durchlüftung zurückgeht. Nach Messungen am Nordschacht der Plabutschtunnelentlüftung am Gaisberg in 660 m schwanken die Monatsmittel zwischen 2 und 3 m/s, Kalmen sind sehr selten. Die Lage der beiden Schächte wurde so gewählt, dass die emittierte Abluft guten Verdünnungsmöglichkeiten unterliegt, wobei die Voraussetzungen dafür mit der Durchlüftung und der Lage oberhalb der häufigsten Bodeninversionen im Sommerhalbjahr erfüllt sind. Im Winter befindet sich die Gipfelzone über den kritischen Mischungsschichthöhen und hat daher erhöhte Bedeutung für die Naherholung.

6.7 HINWEISE ZU DEN SONDERKLIMATOPEN

Im Gegensatz zu den Seitentälern mit Kaltluftabfluss bilden sich über den Grünflächen (bzw. landwirtschaftlich genutzten Flächen) nur sehr seichte stagnierende Kaltluftkörper aus, deren Einfluss auf den Nahbereich beschränkt bleibt; eine klimaökologische Ausgleichsfunktion geht jedenfalls von den isolierten Flächen kaum aus. Hingegen sind die Parks ab einer gewissen Mindestgröße (etwa der des Augartens) durchaus im Sinne einer Ausgleichsfläche, speziell tagsüber, zu sehen. Neben der Rolle als Feuchte- und Schattenspende (Abkühlungseffekt) kommt diesen Flächen eine wesentliche Rolle als Staubfilter zu.

Als Sonderklimatop scheint ferner der Schlossberg auf, der durch Expositionsgegensätze erhebliche Unterschiede zwischen der Süd- und Westflanke bzw. der kühlen Nordflanke aufweist. Der Kuppenbereich erweist sich nach den Messergebnissen als sehr gut durchlüftet mit starkem Einfluss des Murtalauswindes (Monatsmittel der Windgeschwindigkeit 2 bis 4 m/s, selten Kalmen). Thermisch zeigt sich der Gipfelbereich des Schlossberges wärmer als der Wärmeinseln, so dass insgesamt an der Südflanke des Schlossberges Jahresmittel von fast 10 °C erreicht werden („Wärmepol“ im Stadtgebiet, zum Vergleich Mariatrost/Fölling).

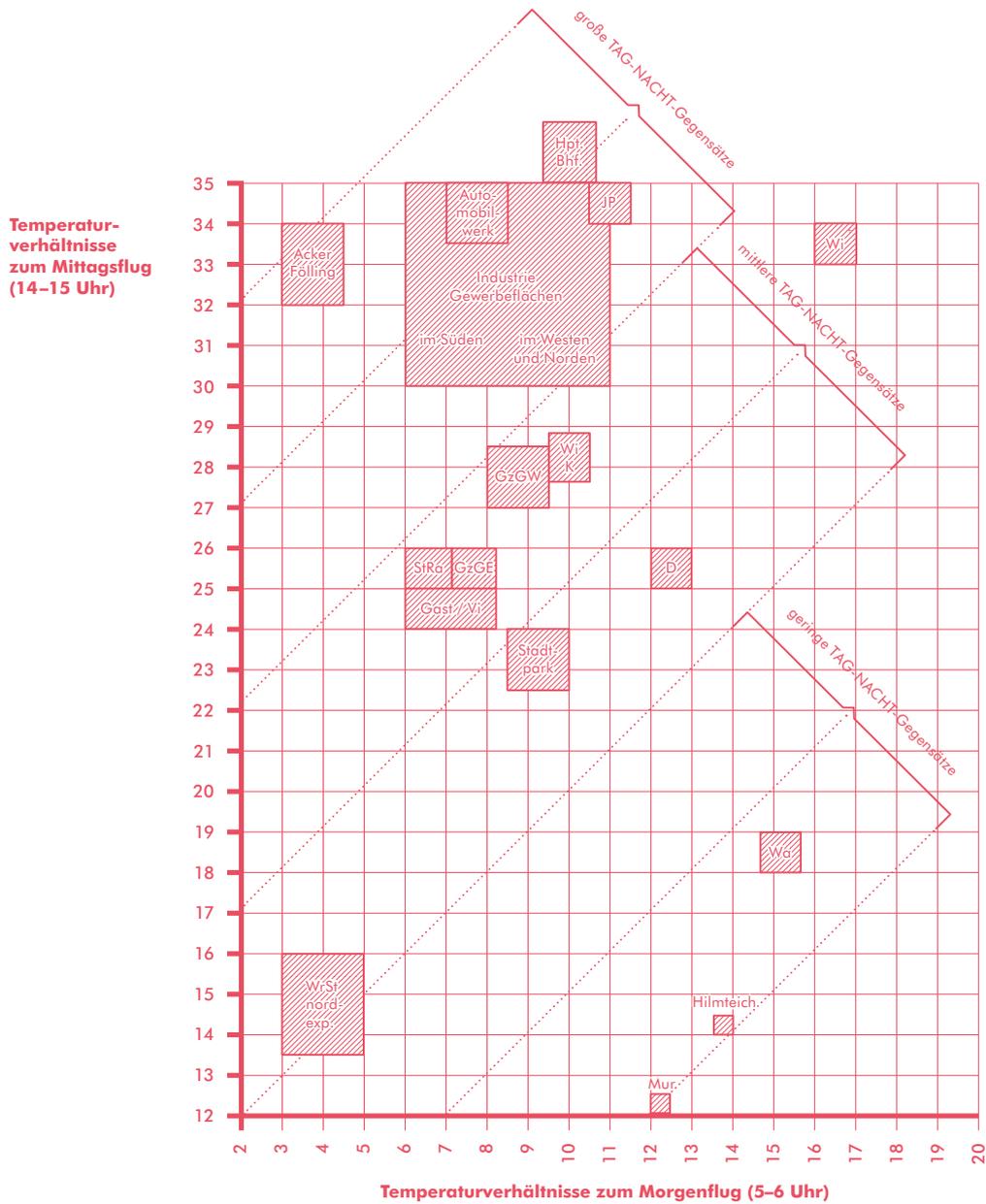


Abbildung 4: Oberflächen- und Lufttemperaturverhalten ausgewählter Baukörperstrukturen bzw. sonstiger Klimatope (Grundlage: Thermaldaten der Flüge vom 2. und 3. Oktober 1986 und Temperaturdaten der zugehörigen Messfahrten)

- | | | |
|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| Wrst: Waldrandstreifen | D: Düseffektbereich (Raum Gösting) | Gast: Gartenstadtgürtel |
| Wa-: Wald (nordexponiert) | WIK: Wärmeinseln | StRa: Stadtrandgürtel |
| Wi+: Wiesen (südexponiert) | Gza: Gründerzeitgürtel im Osten | Vi: Villenviertel |
| JP: Jakominiplatz | Gzb: Gründerzeitgürtel im Westen | StPk: Stadtpark |

7. DIE KARTE DER PLANERISCHEN HINWEISE

7.1 VORBEMERKUNGEN

Gegenüber dem letzten Stand (R. Lazar et al., 1994) haben sich einerseits Veränderungen im Sinne einer Zunahme der Bebauung etwa im Föllinger Becken ergeben, andererseits sind seitens der Zonengestaltung mit der Farbwahl und anderer Aspekte konkrete Anpassungen nötig.

Beginnen wir mit Anpassungen infolge Bautätigkeit, die teilweise aufgrund bestehender Widmungen auch in den Seitentälern nötig geworden sind. Im Wesentlichen betrifft es das Föllinger Becken, wo infolge der Bebauung mit überwiegend zweigeschossigen Häusern – in den sogenannten Marlandgründen – eine geringe Kaltluftproduktion bzw. auch nicht mehr so niedrige Temperaturen verzeichnet werden wie vorher. Letztlich dürfte es damit zu keinem merklichen Funktionsverlust des Mariatroster Tales gekommen sein, es betrifft im Wesentlichen nur eine Verringerung der räumlichen Ausdehnung der Zone 19 „Kältepole“, was entsprechend in der aktualisierten Version angepasst wurde.

Eine weitere Anpassung betrifft die sehr kleinen Kerbtälchen in den Seitentälern im Osten von Graz (Zone 9), wobei hier vor allem ein Tälchen im Mariatroster Tal und eines im Stiftingtal auffallen. Sie sind von ihrer geringen Dimension und damit ihrer vernachlässigbaren Relevanz aus der Karte herauszunehmen. Die nächste Änderung bezieht sich auf die Zone mit

heterogener Bebauung in Kombination von Blockbebauung mit Gartenstadt (Zone 8). Die Unterschiede im Südwesten reichen nach jüngsten Winddaten und Messfahrten nicht aus, um diesen Bereich in eigene Zonen (Zone 14) zu untergliedern. Es erscheint viel sinnvoller, die bestehende Zone 8 um den Bereich der Zone 14 zu erweitern. Dabei sollte die südöstliche Ecke herausgenommen und dem Verlauf mit der Zone des Gartenstadtgürtels (25) angepasst werden. Einer Überarbeitung im Sinne einer Anpassung bedarf auch die Zone 24 in den Abschnitten, in denen Erweiterungen stattgefunden haben. Ein Teil dieser Zone erstreckt sich östlich des Schlosses St. Martin, wo auf einem ehemaligen Gewerbelände eine größere Siedlung geplant ist („Green-City“), weiters im Süden mit dem Magnawerk etc.

Von der farblichen Gestaltung her betrachtet, werden die Park- und Grünflächen in der Karte in zwei Grüntönen dargestellt und gegen die bisherigen wenig assoziativen Grautöne ausgetauscht. In diesem Zusammenhang erscheint es auch sinnvoller, die Wärmeinseln 1 und 2 zu vertauschen, weil der östliche Teil von den Seitentälern beeinflusst wird und vom thermischen Niveau unter jenem der nordwestlichen Wärmeinsel liegt – diese sollte die kräftigere Rotfarbe erhalten.

7.2 EINLEITUNG

In Anlehnung an Stadtklimaanalysen in der BRD werden in eigenen Karten, basierend auf den Ergebnissen in der Stadtklimatopkarte, Planungshinweise angeführt. Die Vorschläge verfolgen das Ziel, eine Verbesserung aus lufthygienischer Sicht zu erzielen, das Bioklima durch geeignete Maßnahmen günstig zu beeinflussen und somit einen Beitrag zur Hebung der Lebensqualität in der Stadt zu leisten. Anhand von Beispielen, ergänzt durch Luftaufnahmen, werden dabei jeweils für die in der Karte ausgewiesenen Zonen die entsprechenden Maßnahmen erläutert, die in der Legende nur relativ allgemein gehalten sind. Es würde aber den Rahmen einer Stadtklimaanalyse sprengen, wollte man auf alle interessanten Details eingehen. Es wird aber in der Praxis zumeist schon so gehandhabt, dass in der Phase der Bebauungsplanung die zur Diskussion stehenden Varianten einer eigenen Prüfung aus klimaökologischer Sicht unterzogen werden. Für den Planer stellen jedoch schon die Kartenunterlagen mit den Erläuterungen (insbesondere Fragen der Schadstoffausbreitung betreffend) eine wichtige Entscheidungshilfe dar, dies gilt vor allem für die Begründung von Vorranggebieten (Wohnen, Gewerbe).

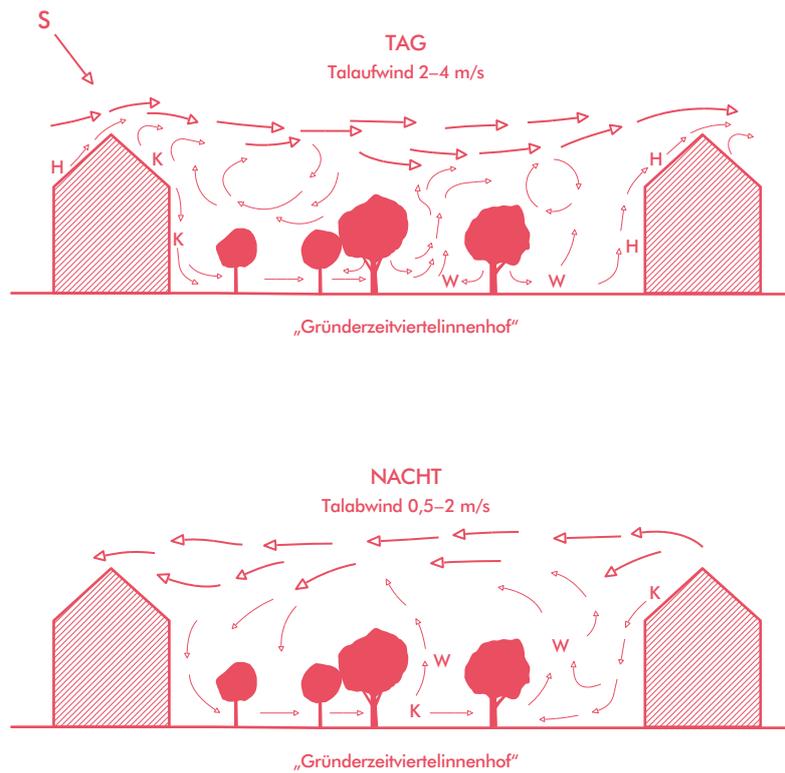
7.3 PLANERISCHE EMPFEHLUNGEN

7.3.1 ZONEN 1 UND 2 (DICHTER VERBAUUNG MIT AUSGEPRÄGTEM WÄRMEINSELEFFEKT NACHTS)

Dieser Bereich umfasst die Altstadt, die gründerzeitlichen Viertel und Abschnitte mit Blockbebauung in Verbindung mit einigen Gewerbebetrieben. Es wird verständlich, dass den klimatischen Bedingungen in den verschiedenen in der Altstadt gestalteten Innenhöfen eine wesentliche Rolle zur Beurteilung von planerischen Maßnahmen zukommt. Die Abbildung 1 veranschaulicht schematisch die Strahlungs-, Temperatur- und Strömungsbedingungen, wobei zwischen drei Grundtypen von Innenhöfen unterschieden wurde. Die ungünstigsten Bedingungen sind im Typ „Lichthof“ gegeben, der tagsüber infolge Beschattung und mangelnder Ventilation zu den kühlest Bereichen zählt. Die relativ geringe Durchlüftung in diesen sehr kleinen Innenhöfen, durch das Verhältnis Gebäudehöhe zu Hofabstand < 1 , führte etwa in Heidelberg im Zuge eines Altstadtrevitalisierungsprojektes zur Öffnung derartiger Höfe durch künstliche Baulücken bzw. künstliche Tore (FEEZER, 1977) oder überhaupt zu stärkeren Eingriffen im Sinne einer Auflockerung von Blöcken, wie dies in Berlin Kreuzberg erfolgt ist, wo durch die Bebauung (hier treffender „Verbauung“) der Innenhöfe eine zu hohe Bebauungsdichte entstanden war und Probleme aus lufthygienischer Sicht eine Sanierung dieser Viertel erzwangen.

Nach den Messergebnissen und Windbeobachtungen genügt in Graz das Offenhalten von Toren, um ein ausreichendes Maß an Durchlüftung zu erreichen, unter der Voraussetzung, dass keine festen Brennstoffe für Heizungszwecke verwendet werden (Zonierung in Deckplan 2 des Flächenwidmungsplanes).

Abbildung 1:
Die gründerzeitlichen
Innenhöfe



Relativ günstige Verhältnisse herrschen in weiten begrünten Innenhöfen des Gründerzeitgürtels, in Teilen der gründerzeitlichen Innenhöfe, da einerseits das Verhältnis Hofabstand zu Gebäudehöhe (3 bis 5:1) sehr vorteilhaft ausfällt, andererseits ausreichende Lichtbedingungen und Strahlungsgegensätze mit Ausbildung kleinräumiger Zirkulation gegeben sind (wie in Abbildung 1) und schließlich die Höfe nicht allseits umschlossen sind, sondern durch Baulücken oder Abschnitte mit geringer Geschossanzahl den Strömungen ein leichtes Durchgreifen gestatten.

Abbildung 2:
Luftaufnahme mit
Ausschnitt aus dem
Wärmeinseln west-
lich der Mur mit Blick-
richtung Norden
(1: Lendplatz,
2: Posthochhaus,
3: Griesplatz,
4: Industrie-
Gewerbezone,
5: Einzelbebauung,
6: Oeverseepark,
7: Volksgartenpark,
8: Hauptbahnhof)

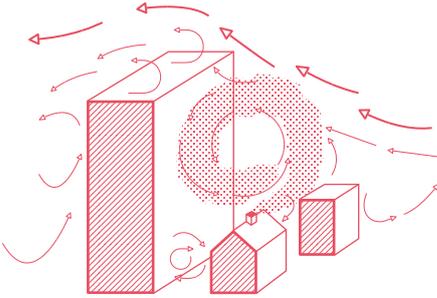


Negativ hingegen wirkt sich die Bebauung der Innenhöfe aus, wie dies auch in dem Abschnitt mit der Umgebung des Griesplatzes (Abb. 2) gut zur Geltung kommt. Die Ventilation wird dadurch arg behindert, und im Winter verbleiben Emissionen bei nur langsamer Verdünnung in diesen Innenhöfen. Im Sommer macht sich der hohe Versiegelungsgrad erschwerend bemerkbar, eine Auflockerung durch laubabwerfende Bäume würde die bioklimatischen Bedingungen merklich verbessern (Zusatzfunktion Staubfilter); von einer weiteren Bebauung über das bestehende Maß hinaus wird aus immissionsklimatologischer Sicht abgeraten.

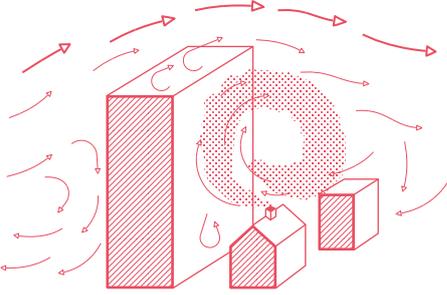
Rechts in Bildmitte erkennt man den versiegelten Griesplatz (3) und Lendplatz (1). Der Grünanteil in den Innenhöfen ist durch die starke Bebauung stark zurückgedrängt worden. Als störend für die Durchlüftung erweist sich das Posthochhaus (2), wo sich ausgeprägte Rotoreffekte ausbilden (Abbildung 3). Am Beispiel des „Posthochhauses“ (Abbildung 3) am Griesplatz sollen die Folgen aus strömungstechnischer Sicht demonstriert werden. Ausgeprägte Rotoreffekte in beiden Anströmungsrichtungen mit den negativen Begleiterscheinungen (Rezirkulation von Abgasfahnen) sind unausbleiblich.

Als planerische Empfehlungen sind neben der bereits besprochenen Frage der Innenhofgestaltung (Durchgrünung speziell im Westen, Überlegung zur Verbesserung der Durchlüftung) noch die Pflanzung von Bäumen in entsprechend dafür geeigneten Straßenzügen, auf Parkplätzen, aber auch auf dem Griesplatz vorzusehen. Die wenigen noch verbliebenen Baulücken können aber aufgefüllt werden, da die isolierten Grünflächen keinen wesentlichen klimaökologischen Ausgleichsbeitrag leisten. Bei größeren Restflächen sollte jedoch an die Möglichkeit der Schaffung von Parkanlagen gedacht werden, die vor allem bioklimatisch wertvoll sind und an heißen Sommertagen eine größere Ausgleichsfunktion besitzen als Wiesenflächen. Als derartige Parkflächen sind der Bereich zwischen Wiener Straße und Kalvariengürtel bzw. östlich vom Gürtelturmplatz zu werten. Neubauten sollten eine Höhe von vier bis fünf Geschossen nicht überschreiten und in den Abschnitten mit Einfluss des Murtalauswindes nach Möglichkeit Nordwest-Südost (z. T. Nord-Süd) orientiert werden (im Osten bei Seitentaleinfluss auch Nordost-Südwest).

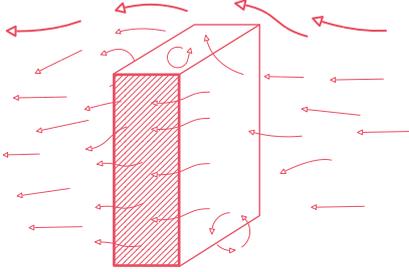
Abbildung 3:
Leewirbelausbildung
beim Posthochhaus
(Griesplatznähe)



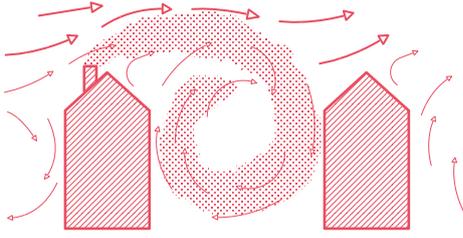
A



B



C



D

7.3.2 WOHNEN – VORRANGGEBIETE (ZONEN 3 BIS 9)

Die Gebiete mit klimatischer Eignung für Wohnen weisen je nach ihrer Lage im Stadtgebiet unterschiedliche klimatische Besonderheiten auf, die jeweils bei der Bebauungsplanung zu berücksichtigen wären. Günstige Durchlüftungsbedingungen bei geringer Nebelgefährdung charakterisieren die Zonen 3 und 4, wobei in Andritz (identisch mit dem Seitentaleinmündungsbereich) eine Gebäudeausrichtung auf die im Stattegger- und Schöcklbachtal herrschenden Talwinde erforderlich erscheint, um die Funktion der Frischluftzubringer nicht weiter zu vermindern. In der Zone 3 (entsprechend dem Gartenstadtgürtel Nordwest-Zone 14) sollte der Murtalauswind (Hauptwindrichtung Nordwest) beachtet werden. Neben verdichtetem Flachbau ist eine Blockbebauung mit maximal fünf Geschossen durchaus vorstellbar.

Als Beispiel sei die Abbildung 1 (Gründerzeitviertel) angeführt, in der verschiedene Typen des verdichteten Flachbaues zu erkennen sind und die Einflüsse auf die Durchlüftung aufgrund der Anordnung der Häuser veranschaulicht werden (Pfeile).

Sehr günstige klimatische Voraussetzungen findet man auf den Hängen im Osten von Graz (Zone 8/Klimatop 30) bzw. auf den breiten Riedelrücken außerhalb des „Grüngürtels“ (Zone 7/Klimatop 28). Allerdings wird das Angebot an noch freien Bauflächen durch die topographischen Verhältnisse (rutschgefährdete Steilhanglagen) bzw. Probleme der Infrastruktur (mangelnder Anschluss an das öffentliche Kanalnetz) stark eingeschränkt.

In Hanglagen ist ferner die gegenseitige Beeinflussung durch Emissionen und eine den Kaltluftabfluss speziell in Hangmulden (in der Karte blau, Klimatop 29a) beachtende Bebauungsplanung im Sinne einer möglichst „strömungsdurchgängigen“ Anordnung anzustreben.

Vom Flächenangebot her besser, jedoch aus klimatischer Sicht mit teils schon erheblichen Abstrichen, bieten sich in Mischgebieten mit Einzel- und Blockbebauung (Zonen 7 und 8, Klimatope 9, 10, 11 und 15) noch potentielle Flächen für die Wohnfunktion an. Der Murtalauswindeinfluss beschränkt sich aber nur mehr auf die erste Nachthälfte bzw. auf den Bereich ab 30 bis 50 m über Grund, wobei nach Süden zu Häufigkeit und Mächtigkeit der Flurwinde und parallel dazu die Nebelgefährdung zunehmen. Diese auch im Hinblick auf die lufthygienischen Verhältnisse im Winterhalbjahr ungünstigen Komponenten können jedoch wenigstens teilweise durch entsprechende Maßnahmen auf der Emissionsseite (derzeit viele Einzelfeuerungen mit festen Brennstoffen) kompensiert werden. Bei einer Blockbebauung ist eine Gebäudeorientierung nach der Hauptwindrichtung (Nord-Süd bzw. Nordwest-Südost) zweckmäßig.

Im zweiten Beispiel (Abbildung 4) wird die Problematik der Bebauung am Rande des Grazer Feldes mit Einfluss von nächtlichen Hangabwinden aufgezeigt. Die Terrassenhaussiedlung mit ihrer stark variierenden Geschossanzahl lässt trotz der Blockierung quer zur Hauptwindrichtung tagsüber aus Süd bis Südost noch eine ausreichende Durchlüftung zu, zumal diese Strömung von vornherein turbulenter ist als die nächtlichen invers geschichteten quasilaminaren Hangabwinde. So kann die von den Hangbereichen im Osten abfließende Kaltluft noch zur Lüfterneuerung in der Terrassenhaussiedlung einen Beitrag leisten, während – als Negativbeispiel – die Blöcke nördlich davon eine ausgesprochene Barriere für diese seichten Winde darstellen.

Abbildung 4:
Luftaufnahme eines
Teiles des Blockgürtels
Ost (Klimatop Nr. 9,
„Terrassenhaus-
siedlung“ in St. Peter)
mit Blickrichtung
Norden
(1: Einzelbebauung,
2: Siedlungskern
St. Peter,
3: Terrassenhaus-
siedlung, Pfeil: schwacher
Seitentalauswind aus
dem Peterstal;
4: Villenviertel)



Die Orientierung der Wohnblöcke (E-W) gestattet den Kaltluftabfluss von Osten her bis in die Siedlung (3), während im Norden einige Wohnhäuser diesen unterbinden. Einzelstehende „turmartige“ Hochhäuser erweisen sich strömungstechnisch noch als relativ günstig (analog Abbildung 3) durch Umströmungs-

möglichkeiten. Weit verbreitet trifft man allerdings bei größeren Wohnanlagen noch immer auf vollständig versiegelte Parkplätze, die zur Verbesserung lokalklimatischer Bedingungen (Dämpfung der Aufheizung) bepflanzt werden sollten.

7.3.3 WOHNEN MIT EINSCHRÄNKUNGEN (ZONEN 9 BIS 18)

Die Einschränkungen beruhen einerseits auf einer geminderten Klimateignung, andererseits auf Restriktionen von Widmungen zur Erhaltung von Funktionen (z. B. als Frischluftzubringer bzw. als Kaltluftproduktionsfläche). Die klimatische Benachteiligung in den Zonen 12 und 13 (Klimatope 12, 13 und 18) mit überwiegender Baukörperstruktur des Typs „Gartenstadt“ besteht in einer geringen Durchlüftung und in einer Zunahme der Nebel- und Inversionsgefährdung nach Süden zu – Nachteile, die hauptsächlich das Winterhalbjahr betreffen.

Als Beispiel (Abb. 5) sei ein Ausschnitt aus dem Gartenstadtgürtel aus dem Westen von Graz (Klimatop 13) gewählt, wo die bestehende Baukörperstruktur mit der Einzelbebauung und den zugehörigen Gärten günstige bioklimatische Voraussetzungen beinhaltet. Einige Restparzellen sind teils mit verdichtetem Flachbau, wo die Ausrichtung der Häuser wegen ihrer geringen Geschosshöhe noch keine entscheidende Rolle spielt, teils mit nach Nord-Süd orientierten (damit der Hauptwindrichtung entsprechenden) Blöcken aufgefüllt.

Als Gestaltungsmöglichkeit für die verbliebenen Restparzellen käme neben der Eignung als Erholungsfunktion (z. B. Sportplatz) auch eine Auffüllung mit Wohnblöcken in Frage – allerdings unter Beachtung der Fernwärmemöglichkeit.

Abbildung 5:
Luftaufnahme eines
Teiles des Stadtrand-
gürtels Südwest
(Klimatop Nr. 13) mit
Blickrichtung Norden
(1 : Einzelbebauung,
2: Gewerbeflächen,
3: Park,
4: Hochhaus 1,
5: Hochhaus 2)



In diesem Teil der Stadt wechselt Einzelbebauung mit Gewerbebetrieben ab. Hochhäuser, wie die gekennzeichneten (4, 5), stellen eine Ausnahme dar. Einzelne isolierte Grünflächen haben als lokale Kaltluftproduktionsflächen nur geringe Bedeutung.

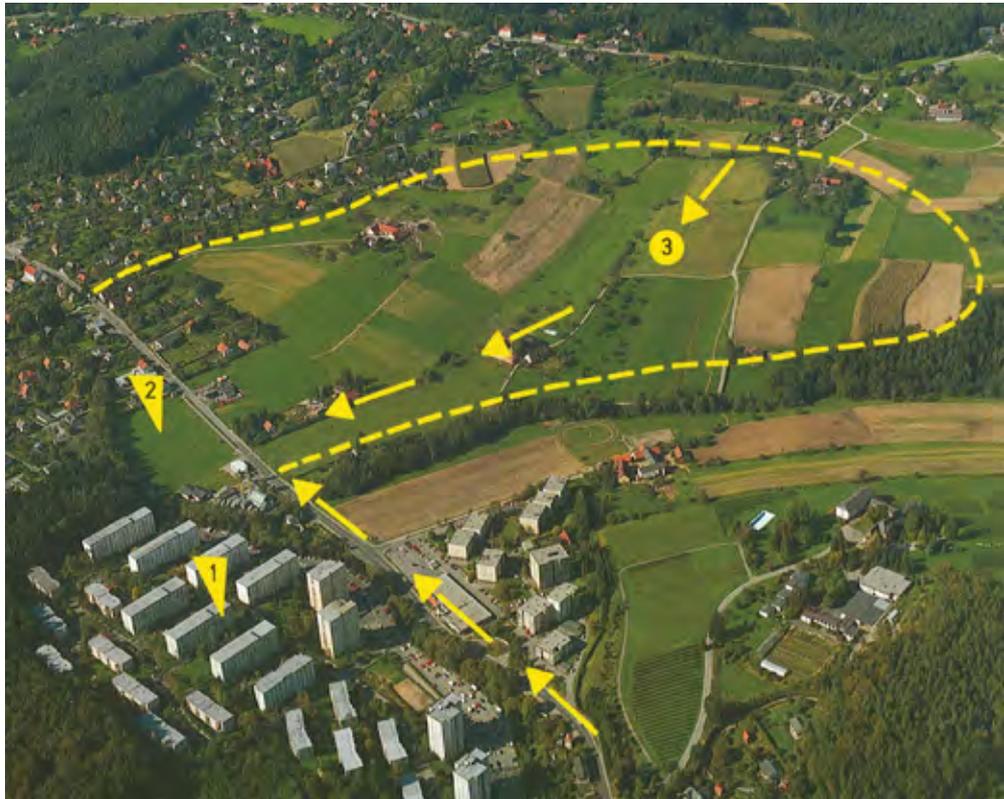
Als besonders ungünstig müssen die Ausbreitungsbedingungen in der Zone 16 (Talkesselbereich, entsprechend dem Klimatop 26) und der Zone 17 (isolierte Kaltluftfläche am Fuße des Buchkogelzuges) eingestuft werden. Das „Abriegeln“ im Peterstal durch querstehende Blöcke an der Talsohle und am Hang (jeweils Behinderung des Tal- und Hangabwindes) stellt neben dem noch zu besprechenden Beispiel des „Berliner Ringes“ einen der markantesten Eingriffe mit negativen Auswirkungen auf die Funktion der Seitentäler als Frischluftzubringer dar (Abb. 6 u. 7).

Abbildung 6:
Aufnahme eines Seitentales (Peterstal im Osten von Graz) Blickrichtung Osten mit einer Bebauung quer zum Tal bzw. zum Hang
(1: Talsohlenbereich (NE-SW-Orientierung), 2: Kaltluftstaubereich, 3: Bebauung quer zum Tal, 4: Bebauung quer zum Hang)



Diese Bebauung bewirkt an der Talsohle talaufwärts einen Kaltluftstau (2); außerdem wird ein Kaltluftabfluss am Hang unterbunden.

Abbildung 7:
Luftaufnahme des
Berliner Ringes im
Ragnitztal stadteinwärts
mit Blickrichtung Westen
(1: Berliner Ring,
2: Bebauungslücken,
3: Kaltluftproduktions-
fläche)



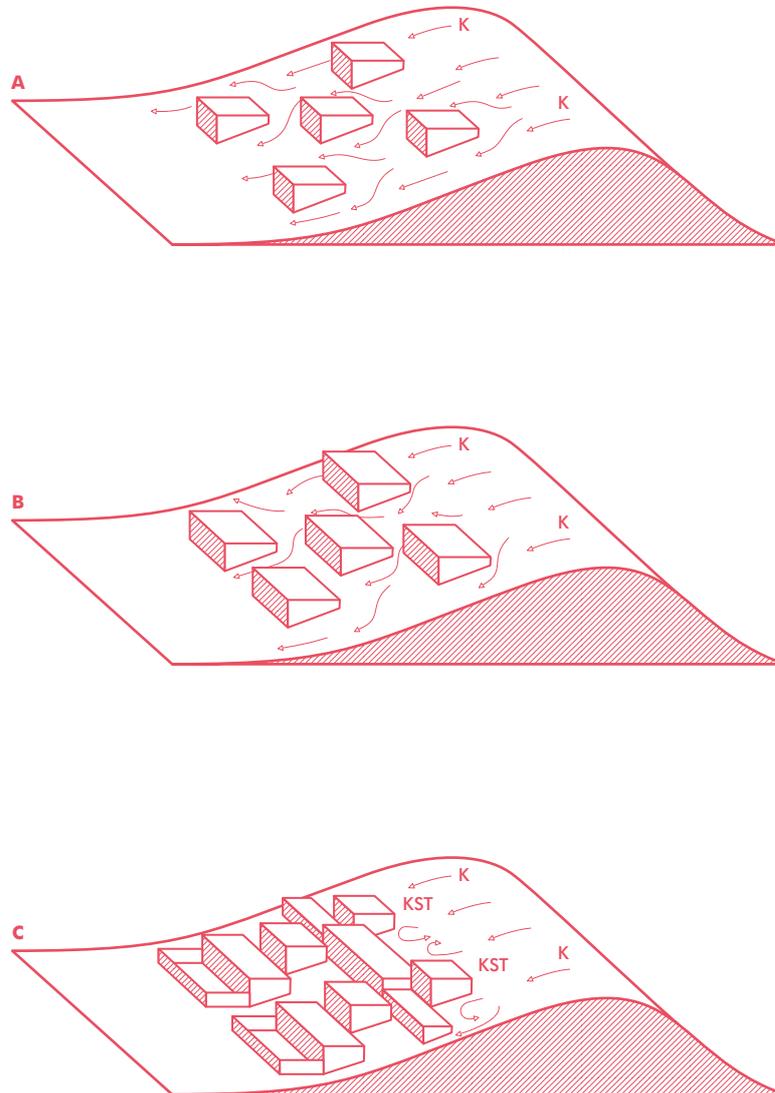
Die Hochhaussiedlung (1) im Bild links stellt für den Seitental- auswind ein gewaltiges Hindernis dar; nur ein relativ schmaler Bereich (Pfeile) blieb noch offen. Im Hintergrund ist eine auch im Nachthermalbild gut erkennbare isolierte Kaltluftfläche (2) übrig geblieben. Klimaökologisch wertvoll ist vor allem die Kaltluftproduktionsfläche (3) im Hintergrund, die bereits dem „Grün- gürtel“ angehört und von einer weiteren Bebauung freigehalten werden sollte.

Als Empfehlungen für die Seitentalkessel sind neben restriktiver Vergabe von Widmungen (nur Restparzellen auffüllen, größere Flächen sollten in ihrer Funktion als Kaltluftproduzenten erhalten bleiben) die erforderlichen Maßnahmen zur lufthygienischen Sa- nierung zu beachten.

Ähnlich lauten die Vorschläge aus immissionsklimatologischer Sicht für die relativ windschwachen Abschnitte in den Seitentälern (Zone 13, neben Fernwärme wäre als Alternative noch Erdgas denkbar, wesentlich erscheint die Reduktion der Zahl der Festbrennstoffkessel). In den übrigen Seitentalbereichen (mit Ausnahme der im Grüngürtel gelegenen) gilt, dass Restparzellen aufgefüllt werden können, da diese isolierten Kaltluftflächen stark inversionsgefährdet und windschwach sind und – vom Seitentalabwind abgekoppelt – keinen nennenswerten klimaökologischen Beitrag mehr leisten. Dabei sollte jedoch bei der Bebauung auf die Orientierung nach der Hauptwindrichtung geachtet werden. Emissionen aus bestehenden Gewerbebetrieben sollten nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß reduziert werden, was insbesondere für den Annengraben (Schöcklbachtal mit Kaltluftabfluss aus dem Niederschöcklbecken) gilt. Für neue Betriebsstandorte würden sich die in der Karte ausgewiesenen Vorranggebiete in Graz viel eher anbieten, da aus lufthygienischer Sicht in Analogie zur Planung in Stuttgart die Frischluftzubringerfunktion der Seitentäler erhalten werden muss. Im Zuge eines Luftreinhalteplanes wäre anzustreben, die bestehende Vorbelastung, hauptsächlich durch Emissionen aus dem Hausbrand, durch entsprechende Maßnahmen abzubauen (Probleme der Verkehrsemissionen werden besonders behandelt).

Einschränkungen sind auch bei einer Bebauung in den Zonen 20 (Hanglagen entlang des Plabutschzuges, überwiegend Klimatop 31) und 18 (Hanglagen in den Seitentälern, Klimatop 27) zu beachten. In der Zone 20 wirkt sich erschwerend aus, dass tagsüber, bedingt durch Staueffekte bei Strömungen aus Süd bis Südost, mit denen außerdem belastete Luft zu diesen Hanglagen verfrachtet wird, nur sehr geringe Ventilation herrscht. In der Nacht ist die Zone 20 noch dazu Frischluftlieferant, wenn auch der Kaltluftabfluss nur die Hangfußlagen erfasst und deshalb bloß lokale Bedeutung hat. Daraus ergibt sich als planerische Empfehlung eine nur lockere Bebauung (Abbildung 8) bei Ausschluss von festen Brennstoffen. Dies gilt letztlich auch für die Hanglagen in den Seitentälern, deren noch offene Hänge als Kaltluftproduktionsflächen für die Seitentalabwinde anzusehen sind (restriktive Vergabe von Widmungen, kein verdichteter Flachbau). Lufthygienisch betrachtet schneiden allerdings die Hanglagen in den Seitentälern deutlich besser als jene entlang des Plabutschzuges ab.

Abbildung 8:
Möglichkeiten der
Hangbebauung mit
Einfluss auf Kaltluft-
produktion und
Kaltluftabfluss



A Strömungsangepasste Bebauung am Hang mit relativ geringem Verlust an Kaltluftproduktion und geringer Behinderung des Kaltluftabflusses (lockere Einzelbebauung)

B Einzelbebauung mit hangparalleler Firstlinie; bereits erhebliche Einbußen bei der Kaltluftproduktion (zweifellos noch zusätzlich von der Bebauungsdichte abhängig) und starke Beeinträchtigung des Kaltluftabflusses

C Hangbebauung (häufig „verdichteter Flachbau“) mit nahezu gänzlichem Verlust des Hanges als „Kaltluftlieferant“; zusätzlich im Oberhangbereich künstlicher Kaltluftstau

Hinsichtlich der klimatischen Voraussetzungen schneidet die Zone 25 (Klimatop 19) bei Dominanz des Murtalauswindes sehr gut ab, wobei es gilt, diesen für das gesamte Stadtgebiet wichtigen Frischluftzubringer (3 bis 5 Millionen m³/s strömen durch die Murrenre) nicht durch zu hohe Reibungsverluste zu bremsen und damit eine verfrühte Strömungsablösung zu ermöglichen, wie dies etwa gut im Bereich des Hochhauskomplexes „Bischofsiedlung“ in Gösting nachvollziehbar ist. Als Planungsempfehlung sollte eine Bebauungshöhe von zwei bis drei Geschossen nicht überschritten werden und eine unbedingte Gebäudeorientierung gemäß der Windrichtung des Murtalauswindes erfolgen.

7.3.4 EIGNUNGSBEREICH ERHOLUNG/ KLIMAÖKOLOGISCHE AUSGLEICHSRÄUME („GRÜNGÜRTEL“)

In den Gebieten am Stadtrand mit deutlichem Übergang landwirtschaftlich genutzter Flächen und Wälder erschien eine Abgrenzung eines sogenannten „Grüngürtels“ aus klimaökologischer Sicht sinnvoll. Dieser in der Karte der planerischen Hinweise ausgewiesene „Grüngürtel“ muss sich dabei nicht immer mit der im Flächenwidmungsplan enthaltenen Definition und daraus resultierenden Abgrenzung decken. Zum besseren Verständnis sei vorweg betont, dass die durchgeführte Abgrenzung nicht auf irgendwelchen exakten Grundlagen beruht, sondern empirisch festgelegt wurde und daher keinesfalls den Anspruch erhebt, scharfe, klar definierte Grenzen darzustellen. Probleme ergaben sich insbesondere in den Seitentälern, wo noch Abschnitte mit stärkerer Bebauung aus dem „Grüngürtel“ ausgeklammert werden mussten. Einfacher gestaltete sich die Abgrenzung im Westen und Nordwesten, wo die Bewaldung durchwegs eine gute Grundlage bildet.

Seitentälabschnitte, insbesondere die extrem inversionsgefährdeten Seitentalbecken (Zone 19, Klimatope 24 und 25), die Talkessellagen analog zu Zone 16, die Hanglagen (Zone 20, teils Klimatop 30, teils Klimatop 27), die Riedelrücken (Zone 22, entsprechend Klimatop 28) und die höheren Hang- und Rückenlagen (Zone 21, Klimatope 32 und 33) gehören dem Grüngürtel an.

Aus Gründen der Erhaltung der Frischluftzubringerfunktion der Seitentäler muss vor einer weiteren Bebauung gewarnt werden, da schon geringe Bebau-

ungsdichten zu einer nächtlichen Temperaturerhöhung in den kalten Seitentalabschnitten führt und bei Minderung der Temperaturdifferenz zum Stadtkern eine Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit zur Folge hat. Hinzu kommen die bremsende Wirkung der Baubsubstanz und die zusätzliche Belastung durch Emissionen (alleine schon durch den Pendlerverkehr!). Abgesehen davon handelt es sich in den Seitentalbecken um „Kältepole“, die wegen der Ausbreitungsbedingungen (extreme Inversionen und geringe Durchlüftung) als Ungunslagen für Wohnnutzung angesehen werden müssen. Auf Grund einer bestehenden Widmung kam es in einem dieser Kältepole, dem Föllinger Becken, zu einer Bebauung, die aber im Zusammenarbeit und Konsens mit dem Bauwerber einer der besonderen klimatischen Lage angepassten Lösung zugeführt werden konnte.

Einzig auf den Riedelrücken mit klimatisch günstigen Voraussetzungen spricht nichts gegen eine lockere Einzelbebauung, wie man sie ohnedies entlang der Ausfallstraßen (Ries, Hohenrain u. a.) schon häufig antrifft.

Ferner sei noch angeführt, dass neben der Zone 22 (Riedelrücken) insbesondere der Zone 21 (höhere, überwiegend bewaldete Lagen ab 550 m Seehöhe) eine wesentliche Rolle für die Naherholung zukommt, da sie im Winter häufig über der kritischen Mischungsschicht liegen.

7.3.5 BEREICHE MIT INDUSTRIE UND GEWERBE (WOHNEN MIT EINSCHRÄNKUNGEN)

In der Karte wird zwischen dem Bestand (Zone 23) und den Vorranggebieten (Zone 24) im Süden unterschieden. Die Vorranggebiete im Süden lassen sich im Wesentlichen durch die Dominanz nördlicher Winde (nicht nur im Sinne des Murtalauswindes, sondern eher im Sinne von Gradientwinden bei Rückseitenwetterlagen) begründen, die einen Schadstofftransport in das südliche Grazer Feld gewährleisten.

Voraussetzung ist allerdings eine genügend große Quellhöhe der Abgase, da ansonsten wegen der Flurwinde vor allem in der zweiten Nachthälfte mit einer unerwünschten „Rückverfrachtung“ mit den Pseudoflurwinden aus dem Sektor SE bis SW stadteinwärts zu rechnen wäre. Als Mindestquellhöhe müssten 80 bis 100 m über Grund angesehen werden; dies hat sich bei Ausbreitungsberechnungen für den Standort Eurostar als richtig erwiesen.

Die ersten 100 Höhenmeter im Süden von Graz zeichnen sich zusätzlich durch eine häufig starke inverse Temperaturschichtung mit geringen Windgeschwindigkeiten (Windscherungszone bzw. Flurwinde) und stark erhöhter Nebelgefährdung aus. Aus immissionsklimatologischer Sicht sollten deshalb die technischen Möglichkeiten zur Minimierung der Emissionen ausgeschöpft werden (Anschluss an Erdgas bzw. Fernwärme); bei Großbetrieben bzw. Kraftwerken (wie etwa in der Puchstraße) ist die Abführung der Abgase über entsprechend hohe Kamine unumgänglich.

So ist etwa der Immissionsbeitrag des Kraftwerks in der Puchstraße gerade bei Inversionswetterlagen relativ klein, da wegen der großen Quellhöhe der Verbrennungsgase unter Berücksichtigung der häufig inversen Schichtung eine Beeinflussung der bodennahen Schichten meist nicht mehr erfolgt. Dies gilt auch noch für geringere Mischungsschichthöhen (etwa bis 120 m über Grund).

Bei Mischungsschichthöhen von 200 m und mehr verbleiben die Abgase nur für wenige Stunden (speziell am frühen Nachmittag) innerhalb der Mischungsschicht und leisten damit auch einen Immissionsbeitrag.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die immissionsklimatischen Voraussetzungen des Grazer Raumes als Standort für Großemittenten denkbar ungünstig sind, aber der Süden von Graz dafür noch am ehesten geeignet erscheint, vor allem unter Berücksichtigung der Rolle des Murtalauswindes.

Hinsichtlich einer Wohnbebauung sind besonders im Winterhalbjahr Abstriche hinsichtlich der klimatischen Bedingungen vorzunehmen; ungünstig macht sich vor allem im Bereich der Murauen die sehr hohe Nebelbereitschaft bemerkbar. Im Sommerhalbjahr herrschen bei nur schwacher Überwärmung in den Siedlungskernen fast dieselben Bedingungen wie im Umland (Grazer Feld), die insgesamt als günstig zu beurteilen sind. Bei einer Blockbebauung sollte auf die Hauptwindrichtungsachse Nord-Süd Bedacht genommen werden.

8. ANALYSE AUSGEWÄHLTER KLIMAELEMENTE

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Klimaelemente im Zeitraum von 2004 bis 2011 analysiert, vorwiegend durch den Vergleich mit den Klimanormalwerten unterschiedlicher Zeiträume. Der Fokus wird dabei auf die Lufttemperatur gelegt; der Niederschlag wird hingegen nur kurz, der Wind in einem Unterkapitel ausführlich behandelt.

8.1 DIE VERHÄLTNISSSE DER LUFTEMPERATUR IN GRAZ IN DEN JAHREN 2004–2011

Vergleich der CLINO-Perioden: Im Vergleich der CLINO-Perioden (CLINO = climate normal) der Lufttemperatur von 1971–2000 und 1981–2010, Station

Graz Universität, wird die Steigerung der mittleren täglichen Lufttemperatur vor allem im Sommer deutlich.



Abbildung 1: Vergleich der CLINO-Periode der mittleren täglichen Lufttemperatur von 1971–2000 sowie 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

Da die Werte der Jahre 1981–2000 in beiden Perioden ident sind, haben nur die Jahrzehnte von 1971–1980 bzw. 2001–2010 Einfluss auf das Ergebnis. In dieser Hinsicht kann man gut erkennen, dass bis auf den Winter, wo die Werte praktisch ident geblieben sind, in jeder Jahreszeit eine Steigerung von bis zu 0,7 K zu verzeichnen ist. Vor allem der Sommer zeigt eine stark ausgeprägte Erhöhung der Lufttemperatur, das Maximum im Juli liegt nun mit 20,2 °C über der

20-°C-Marke. Darüber hinaus ist die relativ deutliche Steigerung im November zu hinterfragen, da in den kalten Monaten (inkl. März) ansonsten kaum Änderungen erkennbar sind. Dies dürfte mit der geringeren Nebelhäufigkeit in dieser Zeit zusammenhängen. Es ist wenig überraschend, dass auch bei den mittleren täglichen Minima bzw. Maxima ein ähnliches Bild erkennbar ist.

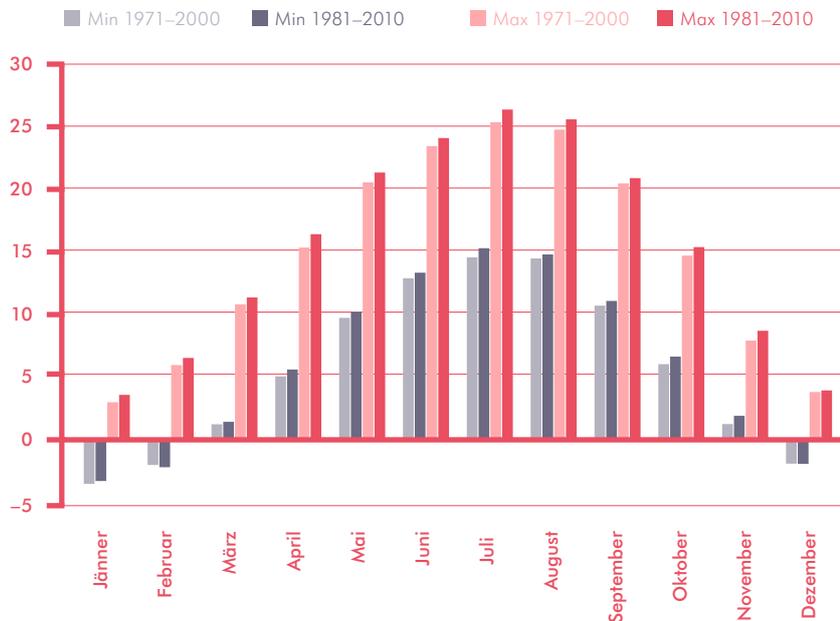


Abbildung 2: Vergleich der Mittleren täglichen Minima bzw. Maxima der CLINO-Periode der Lufttemperatur von 1971–2000 sowie 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

Bei den Minima (in Blau gehalten) zeigt sich genau dasselbe Bild wie bei den mittleren täglichen Lufttemperaturen, bis auf die 3 Wintermonate erhöhte sich das Minimum um bis zu 0,7 K. Bei den Maxima gibt es deutlichere Unterschiede von bis zu 1 K (Juli), und

auch in den Wintermonaten zeigt sich eine Erhöhung der Werte.

Bei den absoluten Tagesminima und -maxima zeigt sich ein etwas differenzierteres Bild.



Abbildung 3:
Vergleich der absoluten Tagesminima und -maxima der CLINO-Periode der Lufttemperatur von 1971–2000 sowie 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

Bei den Minima gibt es bis auf Mai und Juni Änderungen, was bedeutet, dass beinahe sämtliche absolute Minima in den Zeitraum von 1981–2000 fielen. Im Mai und Juni hingegen gab es Minima im Zeitraum von 1971–1980. Im Zeitraum von 2001–2010 gab es hingegen kein einziges neues absolutes Minimum. Die absoluten Maxima erhöhten sich hingegen bis auf den März und Dezember in jedem Monat, was so viel bedeutet, dass diese Werte aus dem Zeitraum von 2001–2010 stammen. Die neuen Spitzenwerte liegen dabei bis zu 2,7 K über dem Wert aus der Periode 1971–2000, was eine sehr deutliche Erhöhung darstellt.

Vergleich mit der CLINO-Periode von 1951–80: Der direkte Vergleich der CLINO-Periode von 1981–2010 mit den 30 Jahren davor, also der CLINO-Periode von 1951–1980, zeigt schon deutlichere Unterschiede. So liegt die Jahresmitteltemperatur bei der älteren Periode noch bei 9,1, wobei sie für den Zeitraum von 1981–2010 bereits auf 9,8 gestiegen ist. Die folgende Tabelle zeigt die Station Graz Universität im Vergleich mit anderen Stationen in Graz. Auffallend dabei ist die Tatsache, dass die Station Platte im Jahresdurchschnitt genau denselben Wert aufweist. Durch den Wärmeineffekt ist Graz Universität um 0,8 K wärmer als die Station Flughafen (Thalerhof). Die Station Mariatrost/Fölling weist mit einer Jahresmitteltemperatur von 6,9 °C einen äußerst tiefen Wert auf.

Tabelle 1:
CLINO-Werte der
Lufttemperatur des
Zeitraums 1951–80
an mehreren Stationen
in Graz
(Quelle: ZAMG)

Monatsmittel der Temperatur in °C

Periode 1951–80

Station	Graz/ Uni.	Thalerhof	Joanneum	Messendbfg.	Platte	Mariatrost/ Fölling
Seehöhe	369 m	342 m	355 m	429 m	660 m	435 m
J	0,6	-3,4	-1,2	-1,5	-1,0	-4,9
F	4,5	-0,8	1,0	0,6	0,9	-2,4
M	4,5	3,6	5,1	4,7	4,5	2,0
A	9,5	8,8	10,0	9,5	9,0	7,2
M	14,0	13,6	14,5	14,0	13,3	12,2
J	17,7	17,2	18,2	17,3	16,5	15,6
J	18,9	18,5	19,5	18,7	18,0	17,2
A	18,1	17,6	18,7	18,2	17,8	16,3
S	14,6	14,0	15,2	15,0	15,2	12,7
O	9,4	8,5	10,0	9,8	10,0	7,2
N	4,1	3,2	4,6	4,3	4,5	2,0
D	-0,3	-1,6	0,3	0,0	0,6	-2,8
Mittel	9,1	8,3	9,7	9,2	9,1	6,9

Die Unterschiede der einzelnen Monate sind in der folgenden Grafik gut zu erkennen. Am geringsten sind diese in den Wintermonaten, wo der Unterschied teilweise nur 0,2 K beträgt. Am deutlichsten sind die Unterschiede in den Sommermonaten Juli und August, wo die alten Werte um 1,3 K übertroffen werden.

Vergleich mehrerer Stationen in Graz im Zeitraum 2004–2011: Beim Vergleich mehrerer Stationen in

Graz wurde versucht, das Stadtgebiet möglichst gut abzudecken. Die Stationen im Norden und Westen wurden ebenso untersucht, wie die Station Graz Universität sowie der Schlossberg. Die Station Graz Süd liefert erst seit 2006 Daten, und im Osten gibt es für diesen Zeitraum keine Station des Landes Steiermark mit dem Parameter Lufttemperatur. Als Vergleichswert wurde die CLINO-Periode von 1981–2010 der Station Graz Universität herangezogen.



Abbildung 4: Vergleich der CLINO-Periode der mittleren täglichen Lufttemperatur von 1951-1980 sowie 1981-2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

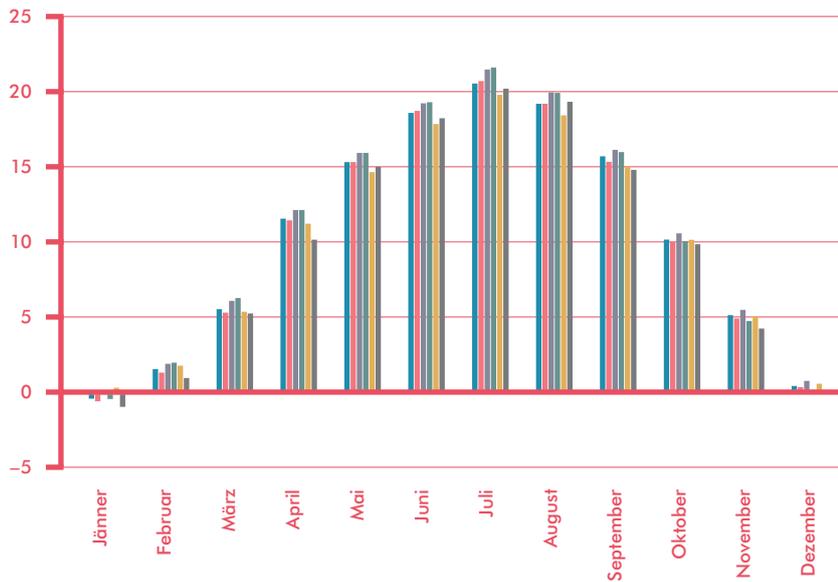


Abbildung 5: Vergleich der mittleren täglichen Lufttemperatur mehrerer Stationen in Graz (2004 bzw. 2006-2011) sowie der CLINO-Periode der Lufttemperatur von 1981-2010 der Station Graz Universität (Quellen: ZAMG, Eigenbearbeitung)



Die Station Graz Nord ist in den Jahren 2004–11 im Vergleich zur CLINO-Periode der Universität Graz durchgehend etwas wärmer, ausgenommen der August. Am größten ist die Erwärmung im April zu spüren, wo der Wert knapp 1,5 K über jenem der CLINO-Periode liegt. Dasselbe gilt für die Station Graz Universität im Zeitraum von 2004–11, auch sie liegt bis auf den August durchgehend über den Vergleichswerten aus den Jahren 2008–2010. Die Stationen Süd und West verlaufen parallel und deren Werte liegen durchschnittlich zwischen 0,5 und 1 K über jenen der Stationen Nord und Universität. In den Monaten Oktober bis Jänner kann sich die Station West von Süd etwas absetzen, was mit der häufigeren Bodennebel-Wahrscheinlichkeit der südlichen Station zusammenhängt. Die gemittelten Daten der beiden Stationen sind durchgehend wärmer als jene der CLINO-Periode, am größten ist der Unterschied von April bis Juli mit bis zu 2 K. Die Station Schlossberg ist in den Monaten Mai bis August etwas kühler als die

CLINO-Normalwerte, in den übrigen Monaten aber teilweise deutlich wärmer.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Werte der CLINO-Periode fast durchwegs unter jenen der anderen Stationen mit Daten von 2004–2011 liegen. Am deutlichsten fällt dieser Unterschied im April aus, wohingegen im Oktober kaum Unterschiede festzustellen sind.

Zum besseren Verständnis des Verhältnisses der einzelnen Grazer Stationen untereinander folgt eine Übersicht über die Monate Mai bis August 2012. Die eindeutig kühlsite Station ist wenig überraschend der Schlossberg, dann folgen die neue Station Graz Ost (Lustbühel) und Graz Reininghaus. Die übrigen Stationen Graz Nord, Süd und West liegen in diesem Zeitraum praktisch gleichauf. Das ist wenig überraschend, da in den Sommermonaten der negative Einfluss des Bodennebels, der verstärkt in den südlichen Gebieten der Stadt auftritt, wegfällt.



Abbildung 6:
Vergleich der mittleren täglichen Lufttemperatur mehrerer Stationen in Graz von Mai–August 2012 (Quelle: Land Steiermark, Eigenbearbeitung)

Vergleich zwischen Graz Mariatrost und Graz Thalerhof: Im Vergleich der im NW von Graz gelegenen Station Mariatrost und jener des Flughafens werden deutliche regionale Unterschiede erkennbar.



Abbildung 7: Vergleich der mittleren Lufttemperatur der Stationen Mariatrost und Graz Thalerhof, 1998–2003 (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

Die Station Mariatrost stellt mit einer Jahresmitteltemperatur von 8,0 °C (Zeitraum 1998–2003) einen ausgeprägten Kältepol dar, der beispielsweise nur unwesentlich über den ausgeprägtesten Kältepolen im Flachland Österreichs, wie beispielsweise Zeltweg

(Jahresdurchschnitt von 7,6 °C in diesem Zeitraum), liegt. Im Vergleich mit der Station Graz Flughafen (Thalerhof) ist diese Station um bis zu 3 K kälter, wobei die größten Unterschiede im Sommer auftreten. Im Winter beträgt der Unterschied etwa 2 K.

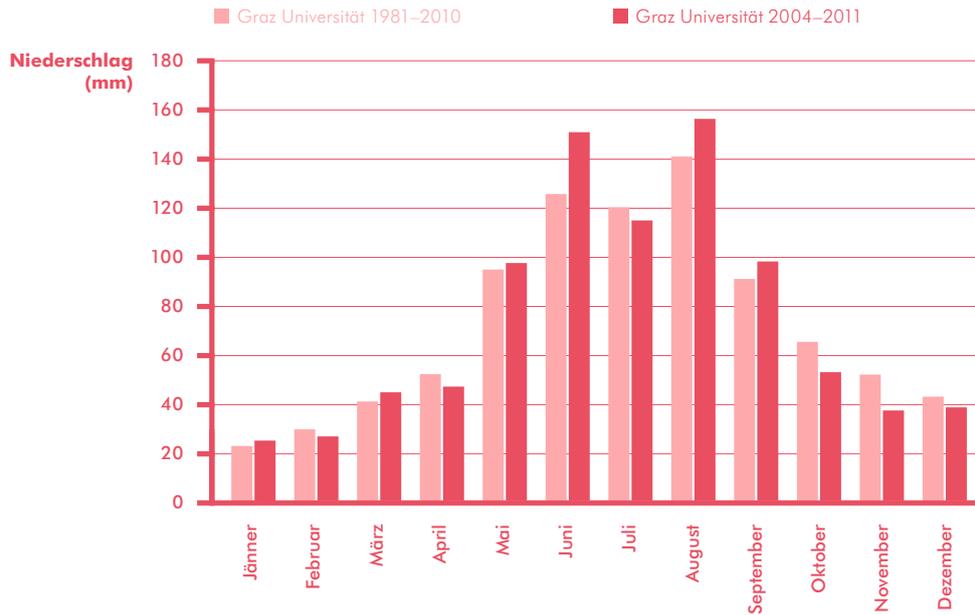


Abbildung 8:
Niederschlagswerte
der Jahre 2004–2011
im Vergleich mit der
CLINO-Periode von
1981–2010 der Station
Graz Universität
(Quelle: ZAMG,
Eigenbearbeitung)

8.2 DIE VERHÄLTNISS DES NIEDERSCHLAGS IN GRAZ IN DEN JAHREN 2004–2011

Graz weist im langjährigen Mittel von 1981–2010 die deutlich höchsten Niederschlagswerte im Sommer auf (Maximum: August mit 142 mm), was vorwiegend auf Konvektionsniederschläge zurückzuführen ist. Im Jänner erreichen die Werte durchschnittlich nur etwa 23 mm, was gleichzeitig das Minimum darstellt. In den Jahren von 2004–11 zeigten sich noch ausgeprägtere Maxima im Juni sowie August, wohingegen im Oktober und November die Niederschläge etwas zurückgingen. Die restlichen Monate passen sehr gut mit dem langjährigen Schnitt überein.

Diese Steigerung der Niederschlagswerte im Sommer ist zu kurzfristig, um daraus fundierte Rückschlüsse zu ziehen. Sie resultieren allerdings vorwiegend aus Starkregeneignissen, was als eine mögliche Folge der Klimaerwärmung angesehen werden kann. Eine genaue Analyse einzelner Stationen in Graz ist nicht sinnförend, da alle Stationen annähernd gleiche Werte aufweisen.

8.3 ANALYSE DER BESONDERHEITEN DER LOKALWINDE

8.3.1. ALLGEMEINES

Im Zuge von Detailstudien mit adaptierter Messmethodik (Druckmessfahrten) wurde das Phänomen der Pseudoflurwinde in Graz näher untersucht. Die Flurwinde in Graz stellen deshalb so eine Besonderheit dar, weil sie im Vergleich mit anderen Städten eine bedeutende größere Mächtigkeit aufweisen. Üblicherweise erreichen die Flurwinde eine Schichtdicke von 10–15 m, in Graz sind es der Regel 30–80 m. Demnach sind die Flurwinde in Graz nicht nur thermisch induziert – also über den Temperaturunterschied zwischen der Wärmeinsel und dem kalten Grazer Feld, sondern auch über Druckunterschiede erklärbar. Diese stehen in Zusammenhang mit dem Murtalauswind, der im Nordwesten von Graz (Bereich Weinzöttlbrücke) erhöhte Windgeschwindigkeiten erzielt, teilweise über 5 m/s), dort mit dem Düseneffekt einen Unterdruck bewirkt, und somit mit dem höheren Druck über dem Grazer Feld eine druckinduzierte Strömung von Süden nach Norden bewirkt.

8.3.2. DATENLAGE UND MESSMETHODIK

Das Stationsnetz in Graz ist glücklicherweise recht umfangreich, wie aus der nachfolgenden Karte (Abbildung 9) zu entnehmen ist. Bei der Bearbeitung spielt neben der Lage auch die Höhe über Grund eine wichtige Rolle. Mit zunehmender Höhe über Grund nimmt der Anteil der Flurwinde markant ab. Als Vergleichsstationen wurden die Stationen Schlossberg und Weinzöttl herangezogen, die beide ein ausgeprägtes Maximum bei nordwestlichen Winden haben, während die im Süden gelegenen Stationen, vor allem die Station Murfeld, eine starke Dominanz der südlichen Winde aufweisen.

Abbildung 9:
Lage der Stationen
(nach L. Kraack 2004)

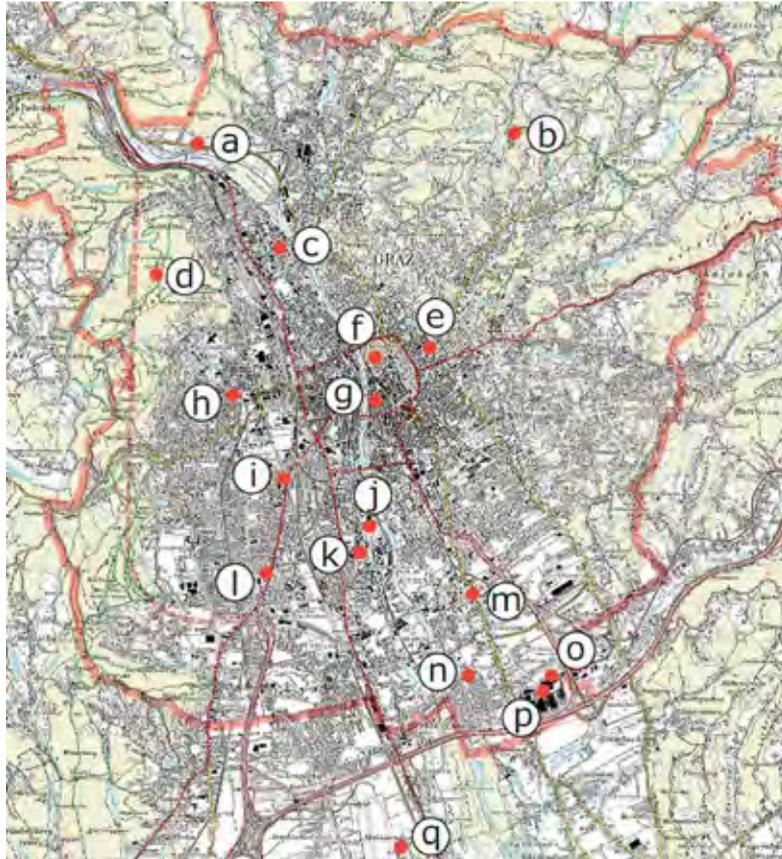


Abbildung 10:
Daten der Stationen
(nach KRAACK 2004)

a	Graz Weinzödl	369 m	Luftgüte
b	Platte	661 m	Luftgüte
c	Graz Nord	348 m	Luftgüte
d	Plabutsch	754 m	Luftgüte
e	Graz Universität	369 m	ZAMG
f	Schlossberg	450 m	Luftgüte
g	Graz Mitte	352 m	Luftgüte
h	Graz West	365 m	Luftgüte
i	Don Bosco	358 m	Luftgüte

j	Graz Süd	345 m	Luftgüte
k	Puchstraße	350 m	Luftgüte
l	Kärtnerstraße	350 m	Luftgüte
m	Südgürtel	340 m	Luftgüte
n	Murfeld	340 m	Sonderst.
o	Eurostar	340 m	Luftgüte
p	Eurostar Kamin	340 m	Luftgüte
q	Graz Thalerhof	342 m	ZAMG
*	Schöckel	1442 m	Luftgüte
*	Wundschuh	322 m	Luftgüte

Mittels Messfahrten bei verschiedenen Wetterlagen wurden die Druckdifferenzen erhoben, um die Auswirkung des Düseneffekts auf die Druckverhältnisse im Norden von Graz abzuklären. In der Tat stellte sich nämlich heraus, dass sich dort häufig ein Unterdruck im Vergleich zum Süden von Graz einstellt, der dann für eine Kombination einer drucktechnisch und thermisch induzierten Strömung – eben den sogenannten Pseudoflurwind – sorgt.

Abbildung 11:
Hauptwindrichtungen
in heiteren Nächten
(nach KRAAK 2004)

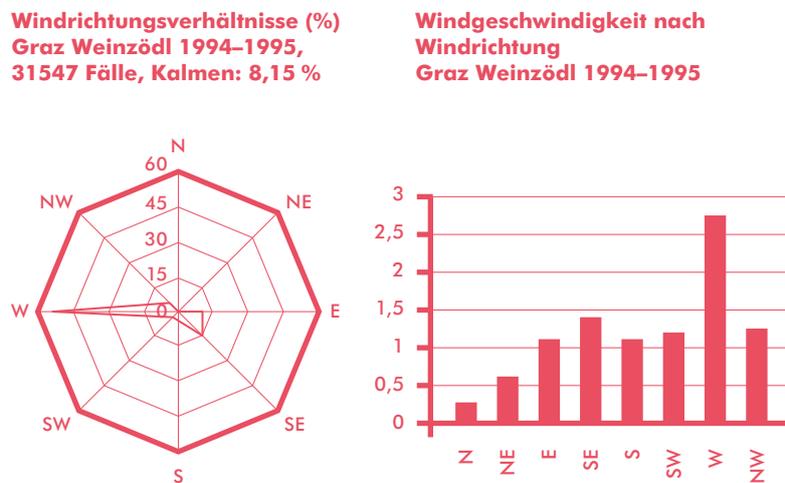


8.3.3 ERGEBNISSE

In einer umfangreichen Diplomarbeit wurden für die meisten Windmessstationen Windrosen erstellt, wobei in der Regel auch ein kürzerer Zeitraum genügt (zumeist 2 Jahre). Für einige Stationen wurde auch eine getrennte Auswertung nach Winter- und Sommerhalbjahr vorgenommen.

Beginnen wir im Norden mit der Station Weinzödl, die eine klare Dominanz der westlichen Richtungen innehat – und das bei nur 8 % Kalmen, was auf eine sehr günstige Durchlüftung hinweist. Dies hängt auch letztlich mit der starken Abhängigkeit vom Murtaalauswind zusammen.

Abbildung 12:
Windrichtung
Graz Weinzödl
(nach KRAAK 2004)



Wie in dem Diagramm mit den Windgeschwindigkeiten klar zur Geltung kommt, prägen die Westwinde auch das Gesamtmittel, das bei ca. 2,2 m/s liegt und in Graz nur noch vom exponierten Schlossberg übertroffen wird (ca. 2,6 m/s).

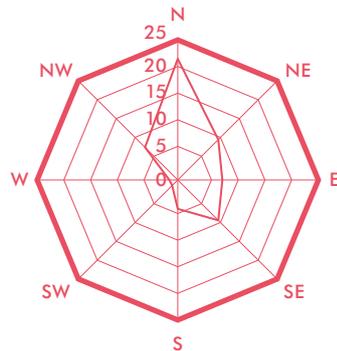
Von Norden nach Süden folgt dann die Station Graz Nord, welche wegen der Reibungseffekte schon deutliche Verluste hinnehmen muss, was wir am Windgeschwindigkeitsdiagramm erkennen können; auch der

Kalmenanteil ist merklich erhöht (21 %).

Bei der Windrichtungsverteilung ist zu beachten, dass im Gegensatz zur Station Weinzödl die Stadtstationen nicht völlig frei aufgestellt werden konnten, wodurch sich Einflüsse von Gebäuden nicht ganz verhindern lassen. Immerhin kommt die Dominanz der nördlichen Winde sehr gut zur Geltung. Die mittlere Windgeschwindigkeit kann mit ca. 0,9 m/s angegeben werden.

Abbildung 13:
Windrichtung
Graz Nord (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Nord 1994–1995,
30423 Fälle, Kalmen: 20,83 %



Windgeschwindigkeit nach
Windrichtung
Graz Nord 1994–1995

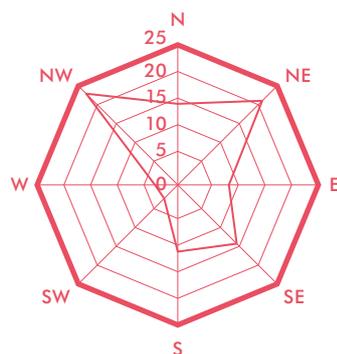


Die Station Graz Universität weist eine interessante Windrichtungsverteilung auf, da sich vor allem in der ersten Nachthälfte der Seitentalauswind aus dem Mariatroster Tal bemerkbar macht (NE); in der zweiten Nachthälfte übernimmt der Murtaleswind die Herrschaft, wobei auch hier die erhöhten Windgeschwindigkeiten auffallen. Es kommt somit zur Unter-

drückung des Seitentalauswindes zumindest im Dachniveau. Immerhin steht die Station auf dem Dach des Chemiegebäudes in ca. 25 m über Grund sehr frei anströmbar, wodurch die geringe Kalmenanzahl (nur 2 %) erklärbar wird. Das Gesamtmittel der Windgeschwindigkeit kann mit ca. 1,7 m/s angegeben werden.

Abbildung 14:
Windrichtung
Graz Universität
(nach KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Universität 1994–1995,
17494 Fälle, Kalmen: 2,4 %



Windgeschwindigkeit nach
Windrichtung
Graz Universität 1994–1995

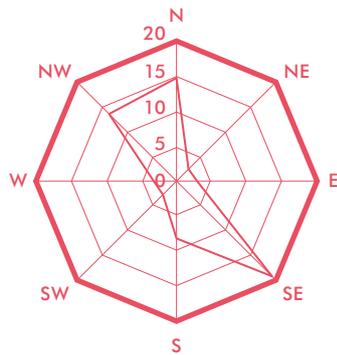


Die Station Graz West repräsentiert einen Bereich, der durch das Fehlen von Seitentälern charakterisiert wird und von der Durchlüftung betrachtet am ehesten noch vom Murtaleswind profitiert. Dazu sollte angemerkt werden, dass im Nordwesten von Graz ein Rotoreffekt besteht, wobei die alte Station – genannt „Algersdorf“ – deutlich nördliche Winde aufweist, wäh-

rend bei Messfahrten im Bereich der Barmherzigen Brüder (Krankenhaus) und des UKH eher südliche Winde beobachtet wurden. Dieser Effekt wurde unter anderem auch mittels des GRAMM-Modells nachgewiesen. Der vorspringende Hubertushöhe-Sporn bewirkt beim Murtaleswind leeseitig einen Unterdruck und erzeugt diesen Rotor.

Abbildung 15:
Windrichtung
Graz West (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz West 1994–1995,
28434 Fälle, Kalmen: 31,4 %



Windgeschwindigkeit nach
Windrichtung
Graz West 1994–1995

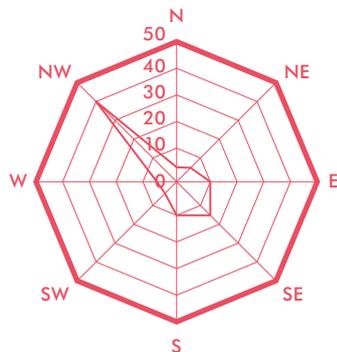


Bei der Windrichtungsverteilung fällt erstmals auf, dass die Dominanz der nördlichen Winde fehlt und die Bedeutung des Sektors SE bis S zugenommen hat. Der Anteil an Kalmen mit 31 % hat vergleichsweise ebenfalls zugenommen, was unter anderem auch darauf zurückzuführen ist, dass die Geschwindigkeit des Murtalauswindes nicht mehr ausreicht, um bis zum Boden durchgreifen zu können. Im Mittel darf eine Geschwindigkeit von ca. 1 m/s angenommen werden. Im Westen von Graz wurde auf dem Dach der Mälzerei eine Klimastation (ca. 55 m über Grund)

errichtet, um die Ausbreitungsverhältnisse in den Reininghausgründen besser erfassen zu können. Bei sehr geringem Kalmenanteil unter 5 % dominieren klar die Winde aus dem Sektor NW bis NNW. Die Windgeschwindigkeiten dürften etwas niedriger als am exponierten Schlossberg ausfallen (ca. 2,5 m/s). Wenn wir uns die Situation am Schlossberg näher anschauen, fällt die Dominanz der NW-Richtung auf, die im Wesentlichen auf das Konto des Murtalauswindes, aber auch der Rückseitenwinde („Nordföhn“) geht.

Abbildung 16:
Windrichtung Graz
Schlossberg (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Schlossberg 1994–1995,
34340 Fälle, Kalmen: 5,09 %



Windgeschwindigkeit nach
Windrichtung
Graz Schlossberg 1994–1995



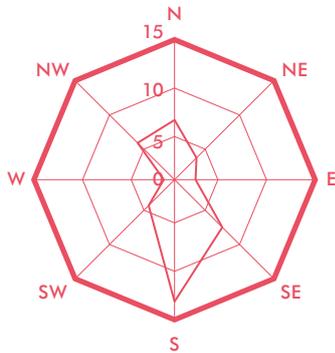
Der Kalmenanteil ist ähnlich niedrig wie an der Station Graz Universität mit 5 %. Die Windgeschwindigkeit liegt im Mittel bei 2,6 m/s. In Graz Süd überwiegen nun bereits die südlichen Winde, wobei auch der Kalmenanteil typisch für viele Bereiche im Süden und Westen von Graz auf über

50 % gestiegen ist (55 %); am höchsten dürfte der Anteil im Südwesten am Fuß des Buchkogels (nördlich vom Schloss St. Martin) liegen und dort Werte von über 70 % erreichen. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt gemäß unseres Diagrammes mit den zugehörigen Windrichtungen bei 0,4 m/s.

**Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994–1995,
34525 Fälle, Kalmen: 55,04 %**

**Windgeschwindigkeit nach
Windrichtung
Graz Süd 1994–1995**

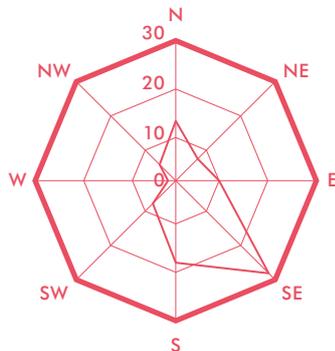
Abbildung 17:
Windrichtung Graz
Süd (nach KRAACK
2004)



Am stärksten im Süden von Graz ist der Flurwindanteil mit südlichen Winden an der Station Murfeld vertreten.

Abbildung 18:
Windrichtung Graz
Murfeld (nach
KRAACK 2004)

**Windrichtungsverhältnisse (%)
Murfeld 1992,
4335 Fälle**

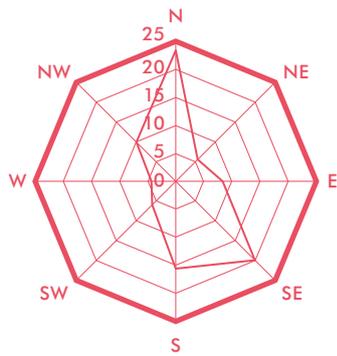


Die Windgeschwindigkeiten sind wegen der erhöhten Lage am Dach eines Einfamilienhauses etwas höher als an der Station Graz Süd (ca. 1 m/s). Die nördlichen Winde sind nur mehr auf Rückseitenwinde bei Störungsdurchzug und Nordföhn zurückzuführen. Wenn wir dazu passend uns eine Station in erhöhter Lage betrachten, wie etwa die Station in Puchstraße oder nachfolgend gleich in der Reihenfolge die Station in der Kärntnerstraße, kommt klar zur Geltung,

dass der Anteil der nördlichen Winde auch im Dachniveau zurückgeht. Dabei überwiegen bereits an der Station Puchstraße die südlichen Winde, während an der Station Kärntnerstraße ein Gleichgewicht besteht. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit ist die freiere Lage und etwas größere Höhe am Dach eines Hochhauses vermutlich der Grund für die höheren Geschwindigkeiten (2,1 zu 1,7 m/s).

Abbildung 19: Windrichtung Graz Puchstraße (nach KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%) Puchstraße 1994–1995, 32930 Fälle, Kalmen: 7,84 %



Windgeschwindigkeit nach Windrichtung Puchstraße 1994–1995

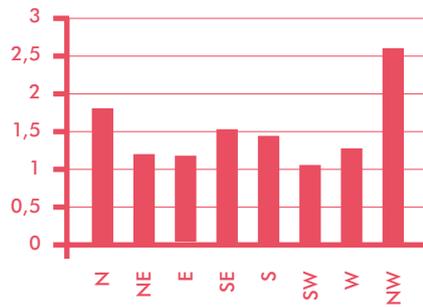
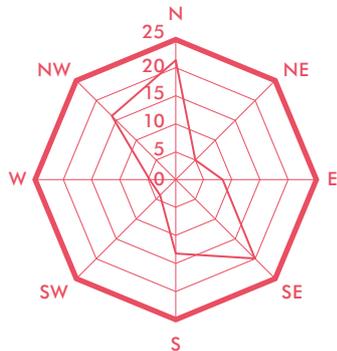


Abbildung 20: Windrichtung Graz Kärntnerstraße (nach KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%) Kärntnerstraße 1994–1995, 32353 Fälle, Kalmen: 9,05 %



Windgeschwindigkeit nach Windrichtung Kärntnerstraße 1994–1995

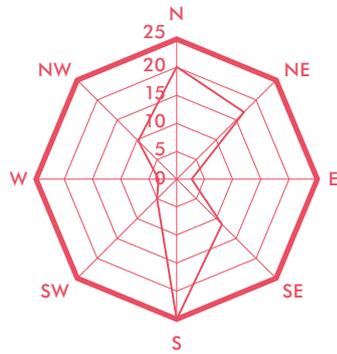


Zum Vergleich dient noch auf der anderen Murseite die Station EUROSTAR Kamin, die Ähnlichkeiten mit der Puchstraße aufweist. Nördliche und südliche Winde halten sich die Waage, was bedeutet, dass zu einem noch recht beachtlichen Anteil (ca. 10 %) Windscherungen mit den Verhältnissen am Schlossberg

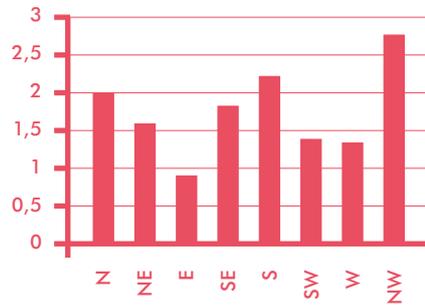
existieren, da die Mächtigkeit des Pseudoflurwindes noch über die Höhe der Station am Kamin hinausreicht. Eine weitere Erklärung wäre die zeitliche Verzögerung des Übergangs vom Murtales- zum Murtaleswind, der sich im Süden von Graz rascher vollzieht.

Abbildung 21:
Windrichtung Graz
Eurostar Kamin (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%) Eurostar Kamin 1994–1995, 16946 Fälle, Kalmen: 7,6 %



Windgeschwindigkeit nach Windrichtung Eurostar Kamin 1994–1995

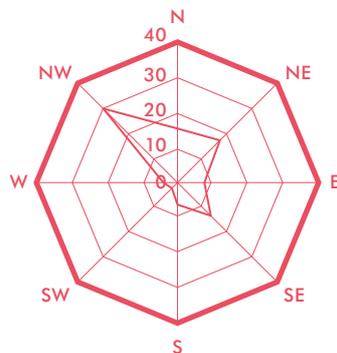


Bei den jahreszeitlichen Unterschieden fällt am ehesten die Station Graz Universität auf, da das sekundäre

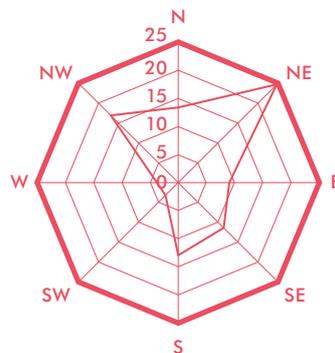
Maximum im Nordosten nur im Winterhalbjahr vertreten ist.

Abbildung 22:
Windrichtung Graz
Universität Sommer
und Winter (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse Sommer (%) Graz Universität 1994–1995, 4409 Fälle, Kalmen: 1,18 %



Windrichtungsverhältnisse Winter (%) Graz Universität 1994–1995, 4307 Fälle, Kalmen: 4,44 %



Eine weitere Station, die Puchstraße, beinhaltet eindeutige Hinweise auf Pseudoflurwinde bis in die Stationshöhe, denn im Winterhalbjahr treten die südlichen Winde häufiger auf. Bei den anderen erwähnten Stationen fallen die Unterschiede weniger ins Gewicht

bzw. sind nicht so eindeutig in einer Abhängigkeit zu den Pseudoflurwinden zu sehen.

Bezüglich der jahreszeitlichen Unterschiede der Windgeschwindigkeiten gibt die folgende Grafik einen guten Überblick.

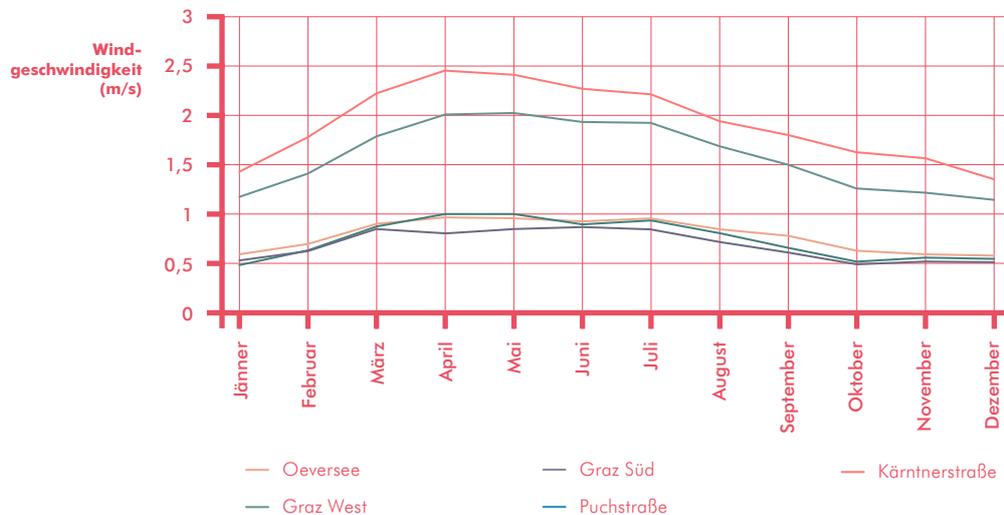


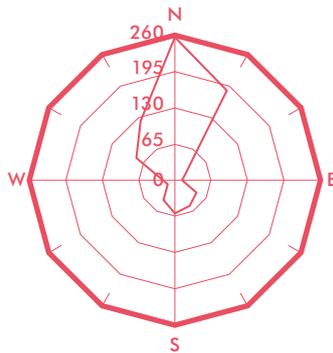
Abbildung 23:
Jahresgang des
Windes (Basis: Daten
vom Jahr 2011, nach
PFAFFINGER 2012)

Die tageszeitlichen Unterschiede bei der Windrichtungsverteilung sind im Norden auffälliger als im Süden von Graz. An den Stationen im Norden sind bis auf zyklonale Lagen mit advektiver Anströmung aus S bis E (in der Regel nur wenige Prozent) alle Windrichtungen aus dem Sektor W bis N und dem Murtalauswind bzw. sowie Rückseiteneffekte bei Störungsdurchzug sowie Nordföhn zurückzuführen. Im Süden von Graz, speziell an der Station Graz Murfeld, werden die südlichen Flurwinde von den Taleinwinden abgelöst, ohne dass dabei eine deutliche Trennung zu erkennen wäre. Im Sommer ist die Dominanz nördlicher Winde während der Nacht auch im Süden erkennbar, im Winter hingegen überwiegend die südlichen Winde. Dazu soll angemerkt werden, dass im Winterhalbjahr die zeitlichen Anteile mit advektiver Anströmung aus S bis E im Zusammenhang mit Hochnebellagen stärker vertreten sind als im Sommer; dies ist unter anderem an einer Station ohne Flurwindein-

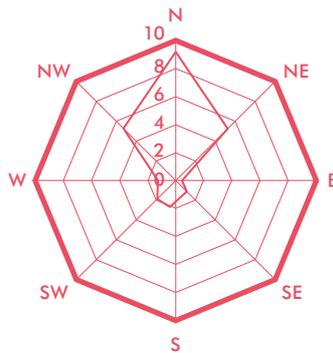
fluss (Schlossberg) sehr gut nachweisbar. Bei der Station Graz Süd fällt ferner auf, dass die Kalmenhäufigkeit gegenüber den Verhältnissen tagsüber merklich erhöht ist und ein Ausmaß von über 70 % erreicht. Dies könnte unter anderem auf die zu geringen Windgeschwindigkeiten der Pseudoflurwinde zurückzuführen sein; Ähnliches gilt aber auch für den Murtalauswind, der im Sommerhalbjahr wenn auch abgeschwächt im Süden von Graz sich immer wieder durchsetzen kann. Die oft stärkere Intensität des Murtalauswindes im Sommer dürfte auch der Grund dafür sein, dass an der Station Graz Universität die Bedeutung der Seitentalauswinde (in dem Fall der Mariatroster Talauswind) deutlich zurückgeht, wie dies bei den jahreszeitlichen Unterschieden schon aufgezeigt wurde. Bei den höher gelegenen Stationen im Süden von Graz kommt der Einfluss mächtigerer Pseudoflurwinde ebenfalls zum Ausdruck (Diagramm mit der Station Puchstraße).

Abbildung 24:
Windrichtung
diverser Stationen in
Graz, Sommer und
Winter (nach KRAACK
2004)

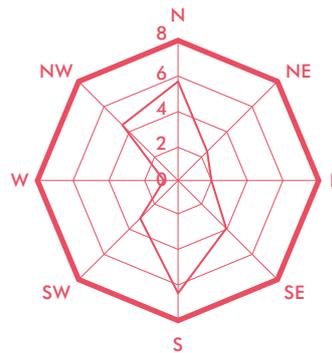
**Windrose Graz Nord
910101-921231,
Winter: Nacht
Anzahl der Fälle: 7635**



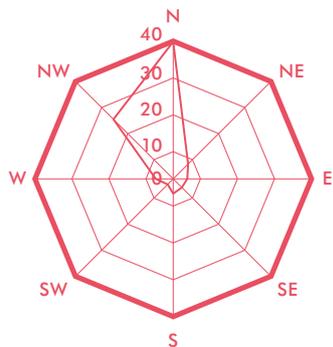
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994-1995,
Sommer: Nacht
3378 Fälle, Kalmen: 75,87 %**



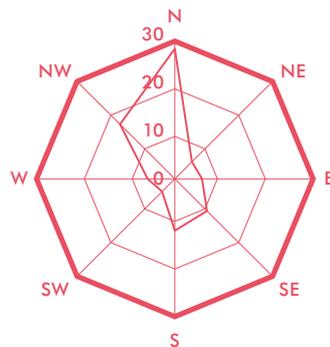
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994-1995,
Winter: Nacht
5569 Fälle, Kalmen: 70,52 %**



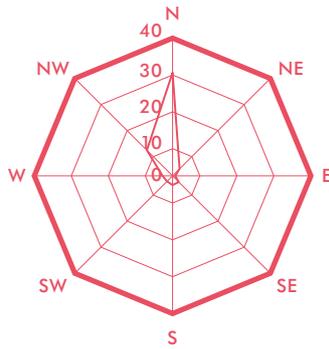
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Kärntnerstraße 1994-1995,
Sommer: Nacht
3333 Fälle, Kalmen: 8,04 %**



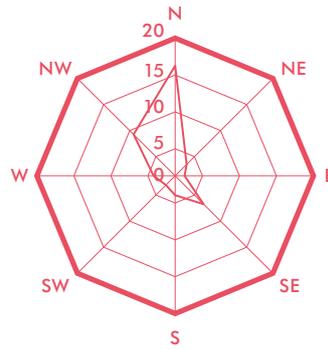
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Kärntnerstraße 1994-1995,
Winter: Nacht
5099 Fälle, Kalmen: 12,02 %**



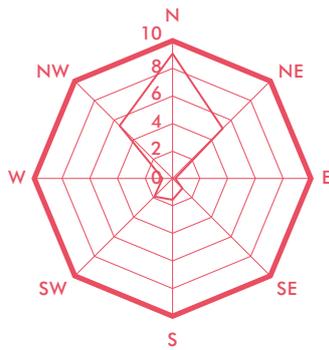
Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz West 1994–1995,
Sommer: Nacht
2758 Fälle, Kalmen: 41,23 %



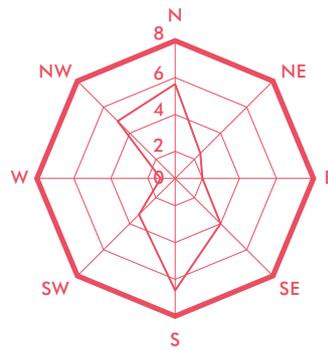
Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz West 1994–1995,
Winter: Nacht
4283 Fälle, Kalmen: 53,7 %



Windrichtungsverhältnisse (%)
Süd 1994–1995,
Sommer: Nacht
3378 Fälle, Kalmen: 75,87 %



Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994–1995,
Winter: Nacht
5569 Fälle, Kalmen: 70,52 %



Windgeschwindigkeit nach
Windrichtung, Nacht
Graz Süd 1994–1995

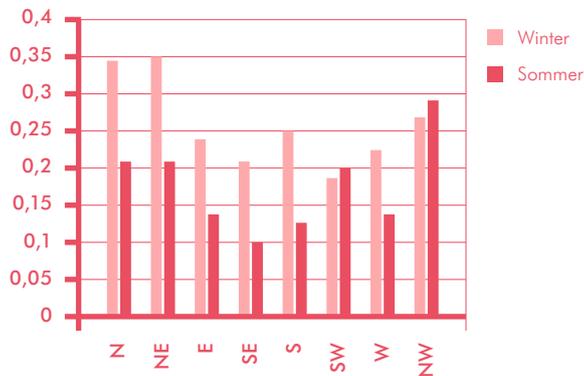


Abbildung 25:
 Windgeschwindigkeit
 Graz Süd, Nacht
 (nach KRAACK 2004)

Die tageszeitlichen Unterschiede für die Windgeschwindigkeit sind im Sommerhalbjahr stärker ausgeprägt als im Winter, wobei an der Station Schlossberg überwiegend umgekehrte Verhältnisse mit einem Maximum in der Nacht und einem Minimum zur Zeit des Windrichtungswechsels aufscheinen. Die geringsten Windgeschwindigkeiten herrschen in Graz im Sü-

den und Südwesten mit Werten unter 1 m/s und im Mittel unter 0,6 m/s. Dies hat vor allem für den Sommer bei Maxima über 30 °C Bedeutung, weil dann die Hitze stärker wahrgenommen wird. Im Winter liegt die Kalmenhäufigkeit teilweise bei 70 % und darüber.



Abbildung 26:
Mittlerer jährlicher
Tagesgang der Wind-
geschwindigkeit
(PIRINGER 1994)

8.3.4 VERGLEICHENDE BETRACHTUNG BEI MODELLIERUNGEN FÜR DAS GRAZER WINDFELD

Für Graz liegen zwei Modellergebnisse vor. Im ersten Fall wurde das Modell MUKLIMO angewendet, das die Strömungsverhältnisse wenigstens abschnittsweise gut wiedergibt. Der Düseneffekt beim Murtalauswind kommt nicht zur Geltung (höchste Werte in der Talenge von Raach), damit sind auch die Überwärmungseinflüsse (sekundäre Wärmeinsel) nicht betroffen. Die Bedingungen in den Seitentälern samt Temperaturmustern passen recht gut, auch der Rotoreffekt im Lee der Hubertushöhe ist zumindest im Ansatz erkennbar. Ab der Stadtmitte nach Süden zu wird die Situation sehr verworren, da zwar keine Flurwinde erkennbar sind, aber andererseits von Osten einströmende Seitentalauswinde sehr weit nach West vordringen, was klarerweise unrealistisch ist.

Im anderen Fall wurde mit KLAM gerechnet, und da hängt es wesentlich davon ab, inwieweit größere Windsysteme wie der Murtalauswind mit einbezogen werden können, da ihr Einzugsgebiet in der Regel viel zu klein gewählt wird. Deshalb kommt es im Nordwesten von Graz zu einer Fehlaussage, während andererseits die Seitentäler sehr gut getroffen werden. Die Reichweite der Seitentäler in Richtung Stadtzentrum weicht allerdings noch etwas von den Messfahrten ab. Fazit ist, dass mit Modellierungen im Grazer Raum wegen der komplexen Rahmenbedingungen derzeit nur unbefriedigende Ergebnisse erzielt werden. Eine Ausnahme stellt das sehr aufwendige Modell GRAMM von der TU Graz dar, das unter anderem für den Nachweis des Rotoreffektes im Nordwesten von Graz angewendet wurde. Der Vorteil bei diesem Modell ist, dass die Randbedingungen – speziell für den Grazer Murtalauswind, belegt durch Stationsdaten und Messfahrtunterlagen – viel realer in die Berechnung eingehen und damit realistischere Ergebnisse erzielt werden.

Abbildung 27:
Temperaturfeld in der
Höhe von 5 m über
Grund (MUKLIMO)

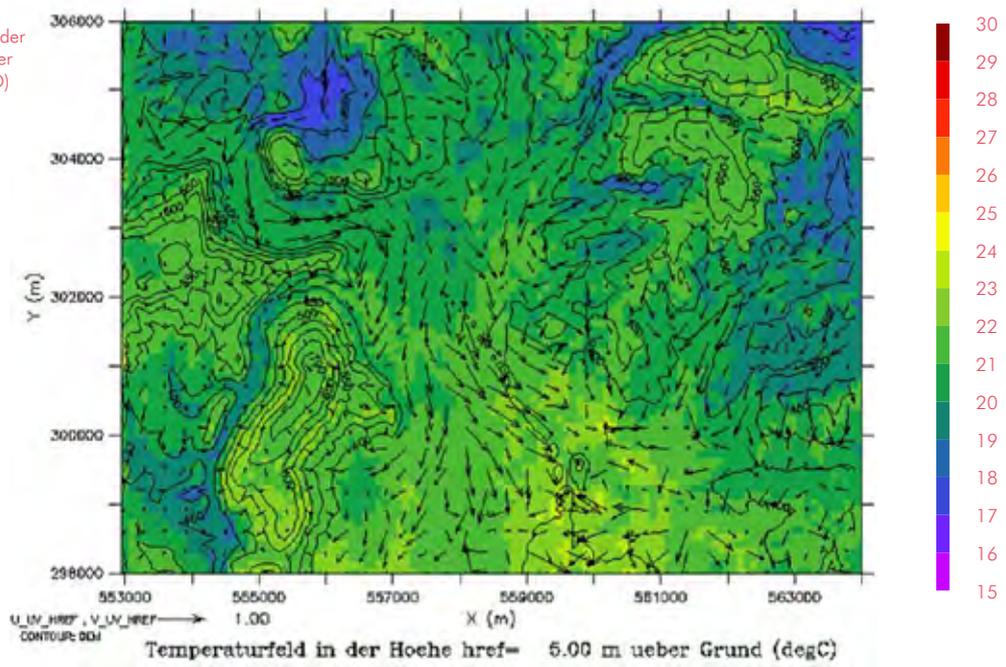
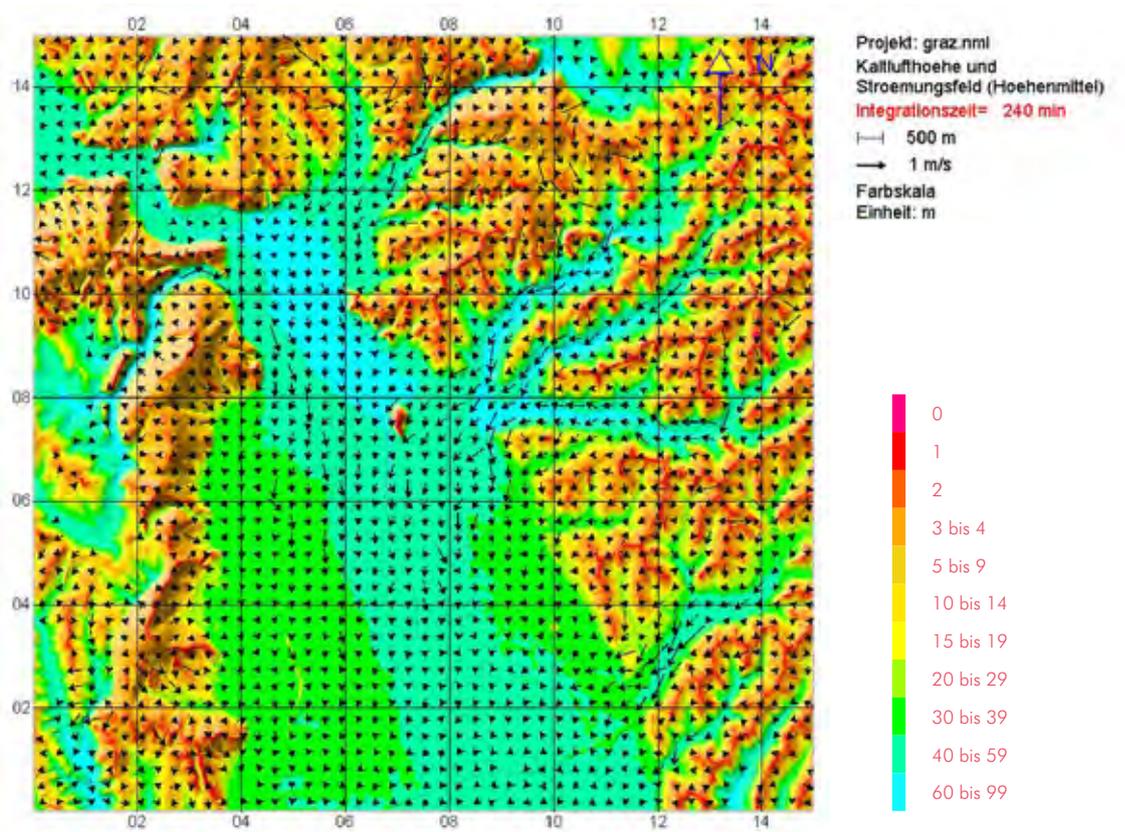


Abbildung 28:
Temperaturfeld in der
Höhe von 5 m über
Grund (berechnet mit
Software des Deutschen
Wetterdienstes, KLAM)



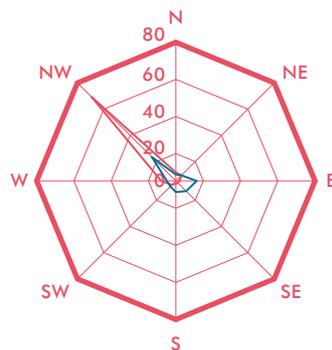
8.3.5 WEITERE BESONDERHEITEN BEI DEN PSEUDOFLURWINDEN

a) Unterschiede infolge von schwach und stark entwickeltem Murtalauswind

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass der Pseudoflurwind in Graz nicht nur auf thermische Unterschiede, sondern auch auf Druckunterschiede und zusätzlich auf Unterschiede in der Geschwindigkeit des Murtalauswindes beruht. Immerhin handelt es sich damit um drei Variable, wobei eine der wichtigsten Variablen, die erst jüngst dank Auswertungen von L. Kraack 2004 erkannt wurde, die Dynamik des Murtalauswindes darstellt. Bei starker Ausprägung bleibt – wie die beigefügten Karten dies schön nachweisen – von der Druckdifferenz (also trotz lokalem Tief in Gösting und relativ höherem Druck im Grazer Feld) der Pseudoflurwind in seiner Entwicklung bestenfalls auf den bodennahen Bereich im Süden begrenzt (also nur an Stationen wie Murfeld und Eurostar nachweisbar). Bei schwachem Murtalauswind hingegen kann sich der Pseudoflurwind weiter nach Norden durchsetzen.

Abbildung 29:
Windrichtungen Graz
Schlossberg, Nacht
(nach KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%) Schlossberg 1994–1995, Nacht



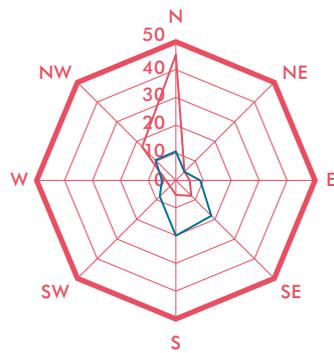
st. AW: 1353 Fälle
Kalmen: 1,85 %
 Δv : 3,75 m/s

sch. AW: 1780 Fälle
Kalmen: 16,74 %
 Δv : 1,16 m/s

— Starker AW
— Schwacher AW

Abbildung 30:
Windrichtungen Graz
Kärntnerstraße, Nacht
(nach KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Kärntnerstraße 1994–1995,
Nacht



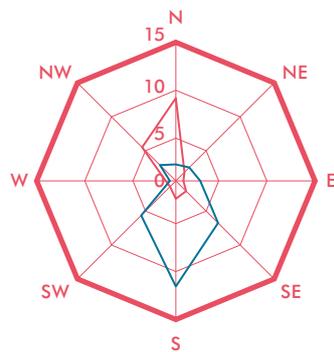
st. AW: 1299 Fälle
Kalmen: 7,7%
 Δv : 2,04 m/s

sch. AW: 1744 Fälle
Kalmen: 17,95%
 Δv : 1,03 m/s

— Starker AW
— Schwacher AW

Abbildung 31:
Windrichtungen Graz
Süd, Nacht (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994–1995,
Nacht



st. AW: 1364 Fälle
Kalmen: 75,22%
 Δv : 0,26 m/s

sch. AW: 1915 Fälle
Kalmen: 66,21%
 Δv : 0,23 m/s

— Starker AW
— Schwacher AW

Abbildung 32:
Luftdruck und Wind-
richtungen in Graz
am 18.12.2003
(nach KRAACK 2004)

**Luftdruck und Windrichtungen in Graz
am 18.12.2003 zwischen 04:00 und 05:00**

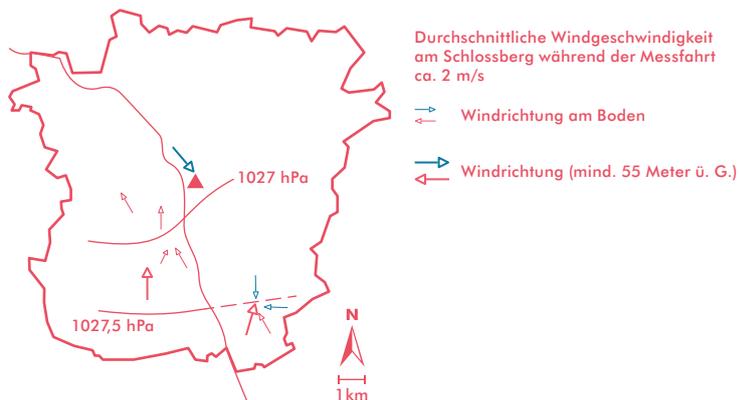


Abbildung 33:
Luftdruck und
Windrichtungen in
Graz am 24.12.2003
(nach KRAACK 2004)

**Luftdruck und Windrichtungen in Graz
am 24.12.2003 zwischen 04:30 und 05:30**



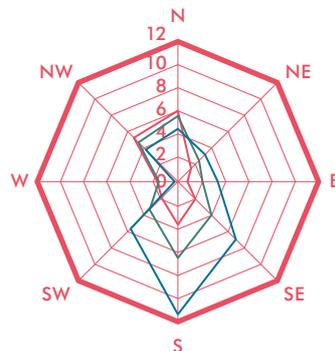
b) Abhängigkeit der Pseudoflurwinde von der Ausprägung der Grazer Wärmeinsel

Hier geht es im Wesentlichen um den thermisch induzierten Anteil der Flurwinde – was sie ja laut Literatur auch sind. Nur in Graz haben wir die Besonderheit der Kombination beider Auslöser. Bemerkenswert ist nun, dass an der Station Graz Süd die Häufigkeit der südlichen Winde in den Nächten ohne Wärmeinsel größer ist als während der Nächte mit Wärmeinsel. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Fälle mit Hochnebel oder zyklonale Lagen mit überwiegender Anströmung aus dem Sektor S bis E. Das Problem der eindeutigen Zuordnung, ob es an den Tagen mit Wärmeinsel einen Flurwind gegeben hat oder nicht, hängt noch stark von der großen Kalmenhäufigkeit ab, die Werte über 70 % erreicht. Es darf angenommen werden, dass ein Großteil der Kalmen zu schwachen südlichen Winden zuzuordnen ist.

Unten findet sich eine Tabelle mit der Auflistung der Wärmeinseltage samt zugehöriger Intensitäten. Insbesondere im Jänner 1995 sind dabei recht beachtliche Unterschiede bis fast 10 K aufgetreten.

Abbildung 34:
Windrichtungen in
Graz Süd, Nacht
(nach L. Kraack 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994–1995,
Nacht



WI: 1860 Fälle
Kalmen: 77,96 %

ohne WI: 1699 Fälle
Kalmen: 61,21 %

Winter: 5569 Fälle
Kalmen: 70,52 %

— Nächte mit WI

— Nächte ohne WI

— Winter

Tabelle 2:
Wärmeinselintensitäten:
Unterschiede zwischen
Graz Mitte und Graz
Thalerhof (nach
KRAACK 2004)

Datum	ΔT_{u-r}	Datum	ΔT_{u-r}	Datum	ΔT_{u-r}
11.01.1995	9,7	12.02.1995	5,9	18.12.1994	4,9
03.01.1995	9,1	20.02.1994	5,9	28.12.1995	4,9
15.01.1995	8,1	16.02.1994	5,8	10.01.1994	4,9
17.01.1995	8,0	30.12.1994	5,8	28.02.1994	4,8
01.02.1995	7,9	02.01.1994	5,7	06.12.1994	4,8
04.01.1995	7,7	09.01.1994	5,7	31.12.1994	4,8
26.01.1995	7,7	17.02.1994	5,7	16.02.1995	4,6
09.02.1995	7,6	31.01.1995	5,4	21.02.1995	4,5
25.12.1995	7,4	04.02.1995	5,4	05.02.1995	4,4
14.01.1995	7,1	08.01.1995	5,4	12.12.1994	4,4
13.02.1995	7,1	18.02.1994	5,4	16.01.1995	4,4
12.01.1995	7,1	22.02.1994	5,4	28.01.1995	4,4
29.01.1995	7,0	07.02.1995	5,4	14.02.1995	4,3
02.02.1995	6,8	06.02.1995	5,3	30.01.1995	4,3
08.02.1995	6,7	22.02.1995	5,2	07.02.1994	4,2
29.12.1995	6,6	03.01.1994	5,2	27.02.1994	4,2
25.01.1995	6,4	10.01.1995	5,1	18.02.1995	4,1
24.12.1995	6,3	26.02.1994	5,1	13.01.1995	4,0
18.01.1995	6,0	08.01.1994	5,1	23.01.1995	4,0
03.02.1995	6,0	09.01.1995	4,9	11.01.1995	4,0

c) Abhängigkeit der Pseudoflurwinde von der Bewölkung am Beispiel der heiteren Nächte

Während die Stationen im Norden von Graz ganz eindeutig auf den Murtalauswind reagieren und fast ausschließlich Winde aus dem Sektor NW bis NE aufweisen, liegt der Anteil speziell bei der Station Graz Murfeld recht hoch (ca. 30–35 %). Ähnlich ist die Situation an der Station Eurostar, wo sich in Bodennähe zu den südöstlichen Winden noch östliche Richtungen gesellen, die vom Seitentalauswind aus dem Autaler Bereich (auch Raaba) stammen könnten. Die Station am Kamin weist jedenfalls dominant wieder nördliche Winde auf. Ähnlich ist die Situation an der Puchstraße zu beurteilen. Es darf angenommen werden, dass in ca. 15–20 % der Fälle der Pseudoflurwind noch bis in die Höhe der Station Puchstraße reicht (damit Schichtdicke von ca. 30–40 m).

Zu den angesprochenen Windrichtungsverteilungen (als Beispiel die Verteilung mit dem höchsten Anteil an Flurwinden in Abb. 35) sind noch zwei Karten (Abb. 36 und 37) beigefügt, die die Verhältnisse jeweils getrennt für die bodennahen Stationen und die Stationen in ca. 25 bis 40 m über Grund sehr gut charakterisieren.

Abbildung 35:
Windrichtungen und
Geschwindigkeiten in
Graz Murfeld (nach
KRAACK 2004)

Windrichtungsverhältnisse (%)
Murfeld 1994–1995,
Klare H, 199 Fälle, Kalmen: 36,68 %

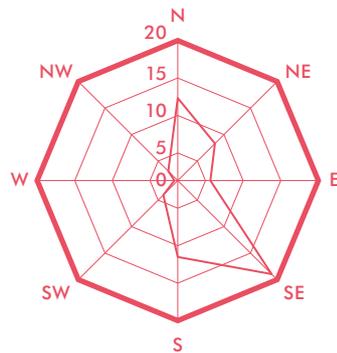
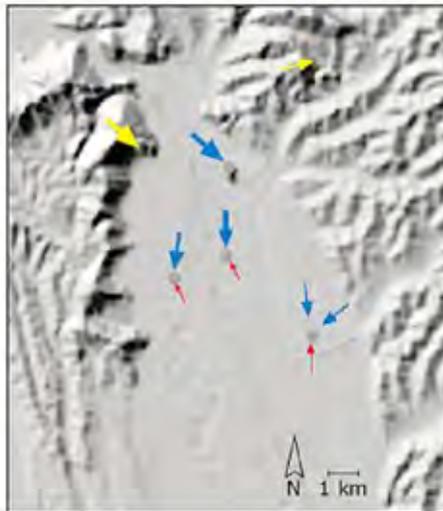


Abbildung 36 und 37:
Hauptwindrichtungen in
Nächten mit Hochdruck
ohne Bewölkung (nach
KRAACK 2004)



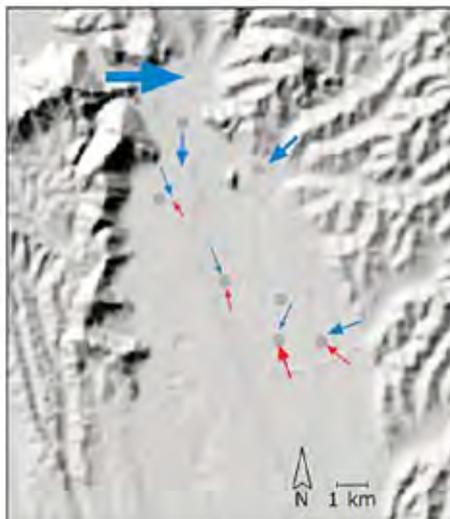
Hauptwindrichtungen in Nächten mit Hochdruck ohne Bewölkung (24 Winternächte 1994-1995)

Kamin bzw. Kammstationen

Kartengrundlage: A-MAP,
Bundesamt für Eich- und
Vermessungswesen

Stationen:

Platte
Plabutsch
Schloßberg
Puchstraße
Kärntnerstraße
Eurostar Kamin (1998-99)



Hauptwindrichtungen in Nächten mit Hochdruck ohne Bewölkung (24 Winternächte 1994-1995)

Stationen in 8-10m Höhe, bzw.
25m (Graz Uni)

Kartengrundlage: A-MAP,
Bundesamt für Eich- und
Vermessungswesen

Stationen:

Weinzödl
Graz Nord
Graz Uni
Graz West
Graz Süd
Südgürtel (1998-99)
Murfeld
Eurostar (1998-99)

d) Zusammenfassende Betrachtungen zu den Pseudoflurwinden in Graz

Die Besonderheit der Kombination von drucktechnisch und thermisch induzierten Flurwinden, die mit dem darüberwehenden, übergeordneten Murtalauswind einen beachtlichen Anteil von Windscherungen im Süden von Graz bedingen, scheint in der Tat zumindest in dieser Dimension in Mitteleuropa einzigartig zu sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Süden von Graz mit der Bezugsstation Graz Süd ca. 20–25 % der Nächte mit der Ausbildung eines Flurwindes zu rechnen ist. Wählt man als Bezugsstation Graz Murfeld, dürfte der Anteil noch deutlich höher ausfallen, da die Kalmenhäufigkeit an dieser Station geringer ist, und die Windgeschwindigkeit der schwachen Flurwinde auch noch ausreicht, um erfasst zu werden; es darf von einem geschätzten Anteil von 35–40 % ausgegangen werden, wo am Schlossberg NW-Wind herrscht und gleichzeitig im Süden von Graz südliche Winde dominieren. Fakt ist demnach, dass die Bedeutung der Flurwinde von Norden nach Süden markant zunimmt, was mit Reibungseffekten und Ablösungserscheinungen für den Murtalauswind zusammenhängt. Mit zunehmender Höhe über Grund nimmt der Einfluss des Murtalauswindes wieder deutlich zu, so dass nur in 7–12 % der Fälle am Beispiel der Kärntnerstraße Pseudoflurwind auftritt.

Die Ursachen für den Pseudoflurwind liegen nur zum Teil neben der Wärmeinsel (thermisch induzierter Erklärungsanteil) in den Druckdifferenzen, die eine Strömung von Süden nach Norden ermöglichen und unterstützen (immerhin bis zu 2 hPa Unterschied) sondern auch in der Stärke des Murtalauswindes, der dann in der starken Ausprägung mit 5 m/s (an der Station Weinzödl bzw. an der Station Schlossberg) den Flurwind bis weit über die Stadtmitte hinaus unterdrücken kann – an solchen Tagen fehlt auch die sonst typische Windscherung, die wir bei unterschiedlich hohen Abgasfahnen schön beobachten können. Nur die ganz im Süden und Südosten gelegenen Stationen Murfeld und Eurostar reagieren auch in solchen Fällen mit südlichen Winden oder melden Kalmen.

Bemerkenswert ist weiters, dass selbst bei Hochnebel mitunter ein nach Graz gerichtetes Windsystem erkennbar ist, wodurch die Stationen im Norden – etwa Graz Nord – ein eindeutiges Maximum von nördlichen und die im Süden gelegenen Stationen ein klares Maximum von südlichen Winden aufweisen. Dies ist in Hinblick auf die Schadstoffausbreitung und die Genehmigung von Anlagen mit Emissionen bis hin zu Einkaufszentren mit Parkplätzen mit Kfz-Emissionen zu berücksichtigen.

Was die Mächtigkeit der Flurwinde anbelangt, geben die folgenden Diagramme sowie der zweite Teil der Tabelle Auskunft. So beispielsweise verdreifacht sich die Häufigkeit des Auftretens von Flurwinden an der Station Graz Süd gegenüber der erhöhten Station Kärntnerstraße. Die größte Häufigkeit tritt an der Station Murfeld mit freier Anströmbarkeit aus dem Sektor Süd bis Südost auf, wo infolge der geringeren Kalmenhäufigkeit gegenüber der Station Graz Süd (mehr im verbauten Stadtgebiet) die geringen Windgeschwindigkeiten des Flurwindes zur Registrierung ausreichen.

Tabelle 3:
Halbstundenmittel
werte mit NW-Wind
am Schlossberg und
Wind aus S an den
Stationen Graz Süd
und Kärntnerstraße
(nach KRAACK 2004)

		GÜLTIGE HMW	HMW MIT NW ZU S*	%
SÜD	Nacht (Jahr)	13415	2913	21,7
	Nacht (Sommer)	3337	881	26,4
	Nacht (Winter)	5000	1015	20,3
KÄR	Nacht (Jahr)	12365	931	7,5
	Nacht (Sommer)	3291	361	11,0
	Nacht (Winter)	4598	299	6,5

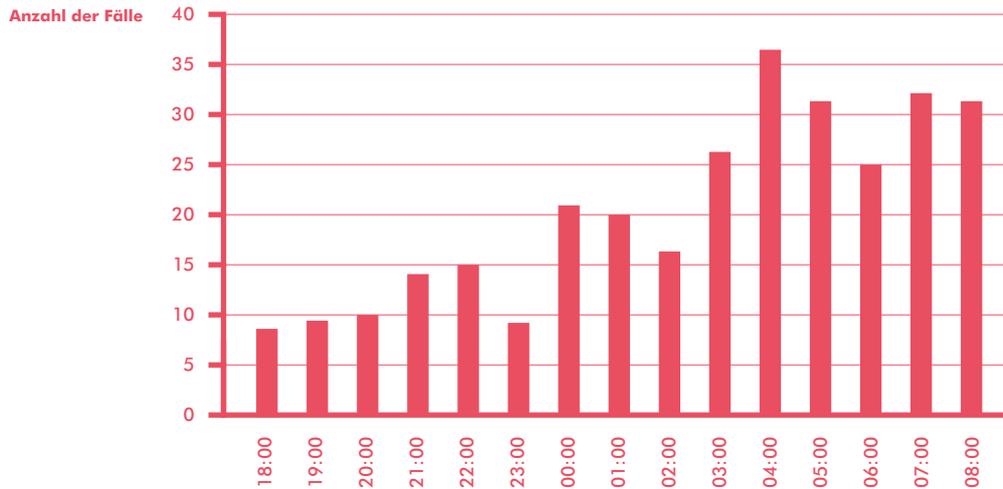
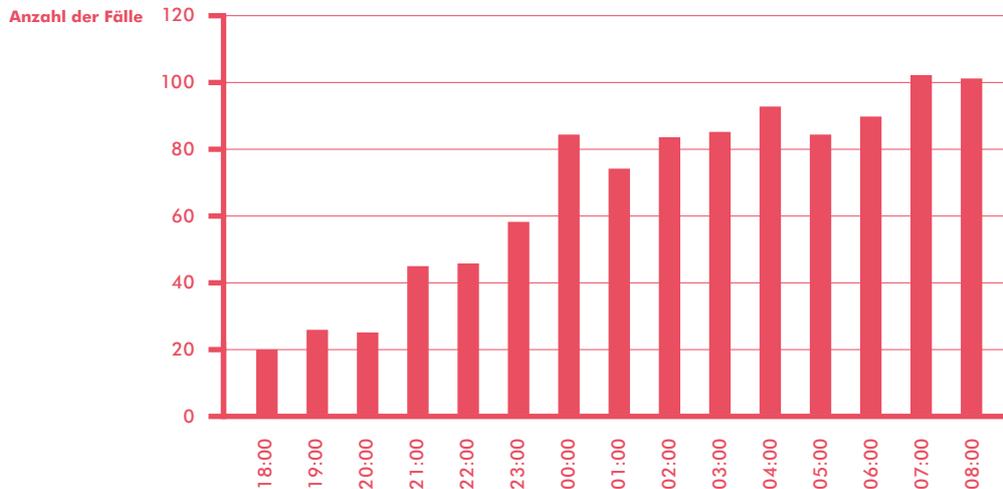


Abbildung 38:
Fälle mit NW-Wind
am Schlossberg und
S-, SE- oder SW-Wind
in Graz Kärntnerstraße
zwischen 18 und 8 Uhr
(nach KRAACK 2004)



8.3.6 BESONDERHEITEN DER PSEUDOFLURWINDE IM WESTEN VON GRAZ

Im Westen von Graz werden die Windverhältnisse einerseits durch die Rezirkulation mit dem Plabutschzug geprägt, und andererseits ist auch noch eine Verzahnung mit den Flurwinden gegeben, wie aus den folgenden Abbildungen und insbesondere im Überblick (Abb. 39) mit anderen Stationen ersichtlich ist. Die neu errichtete Station auf der Mälzerei liefert sehr gute Daten für die Verhältnisse in der freien Anströmung durch den Murtaalauswind, während die Station Graz West einen vergleichsweise hohen Anteil an südlichen Winden in der Nacht aufweist.

Es sind dies erste Ergebnisse; weitere klimatische Detailstudien werden im Rahmen der Bebauung der Reininghausgründe noch folgen.

Abbildung 39: Strömungsverhältnisse bei Nacht an verschiedenen Stationen im Westen von Graz (bezogen auf das Jahr 2011, nach PFAFFINGER 2012)

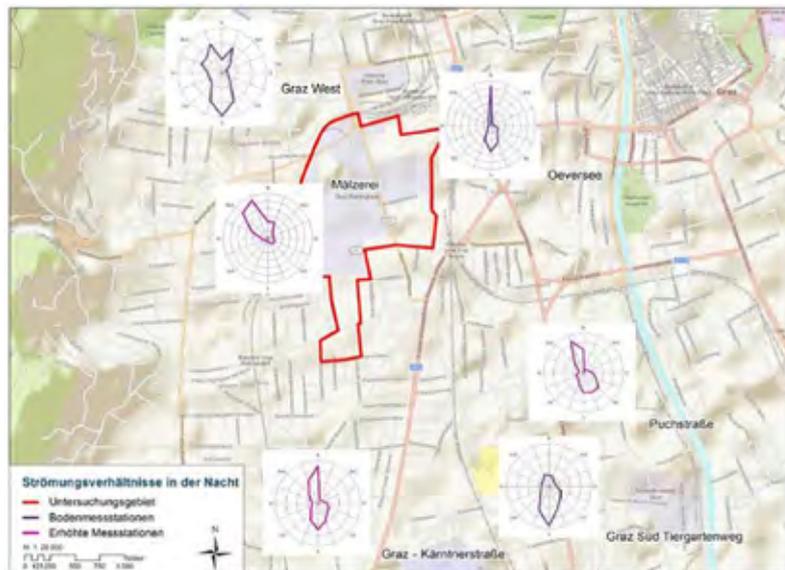
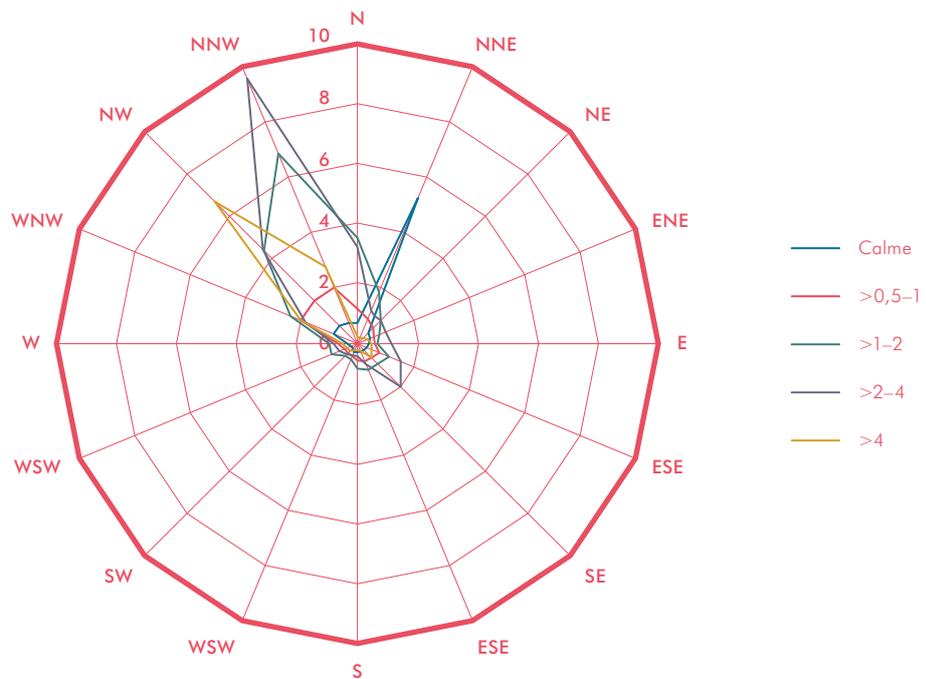


Abbildung 40:
Strömungsverhältnisse
am Tag an verschiede-
nen Stationen in Graz
(für 2011, nach
PFAFFINGER 2012)

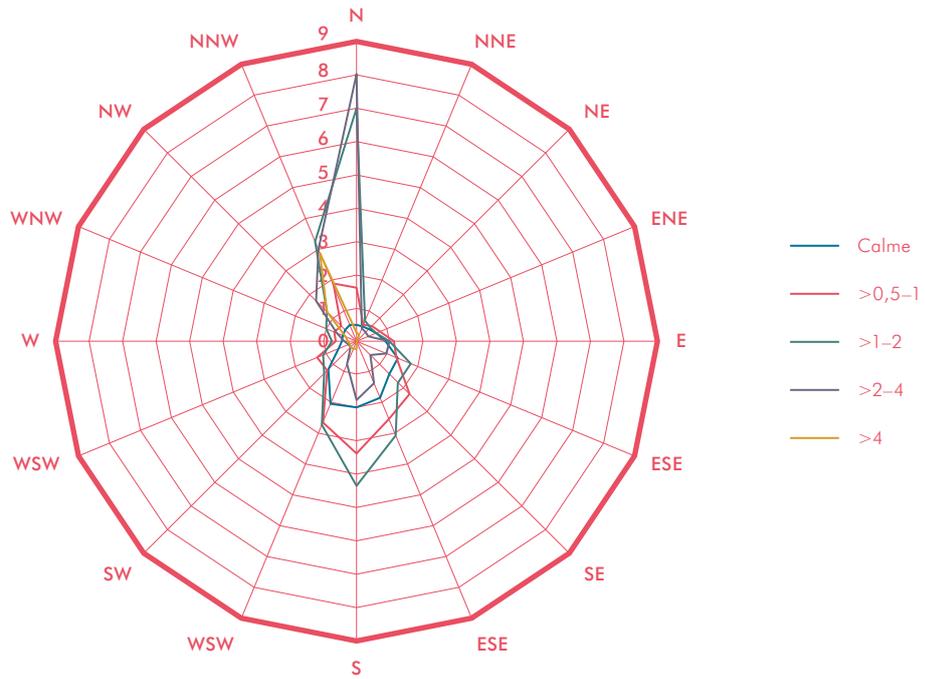


Abbildung 41:
Strömungsverhältnisse
in der Nacht an ver-
schiedenen Stationen
in Graz (für 2011,
nach PFAFFINGER
2012)

Windrichtungsverteilung: Mälzerei in der Nacht



Windrichtungsverteilung: Kärntnerstraße in der Nacht



Windrichtungsverteilung: Graz West in der Nacht

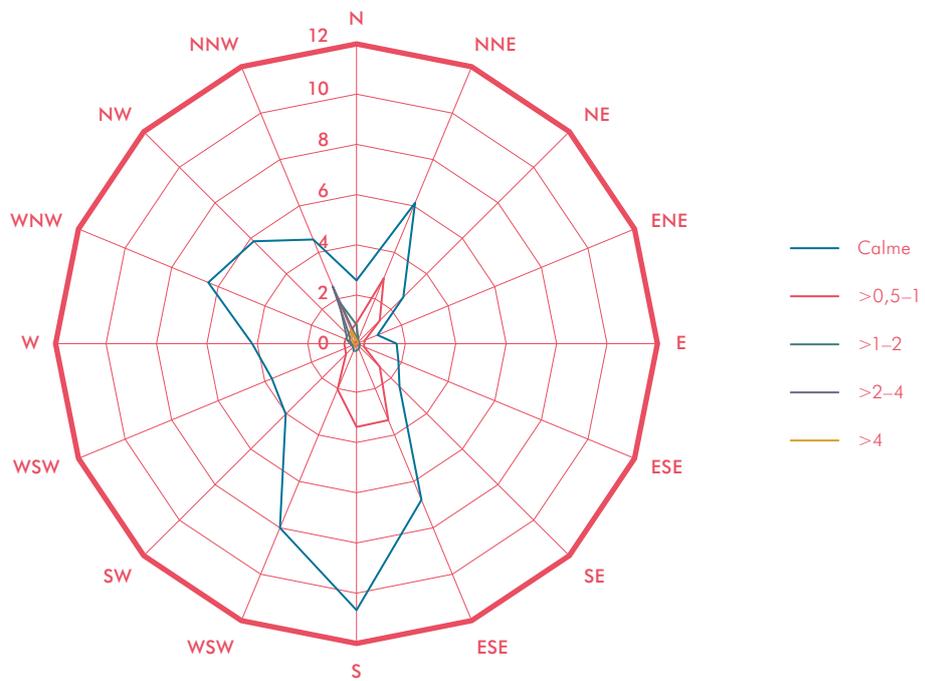
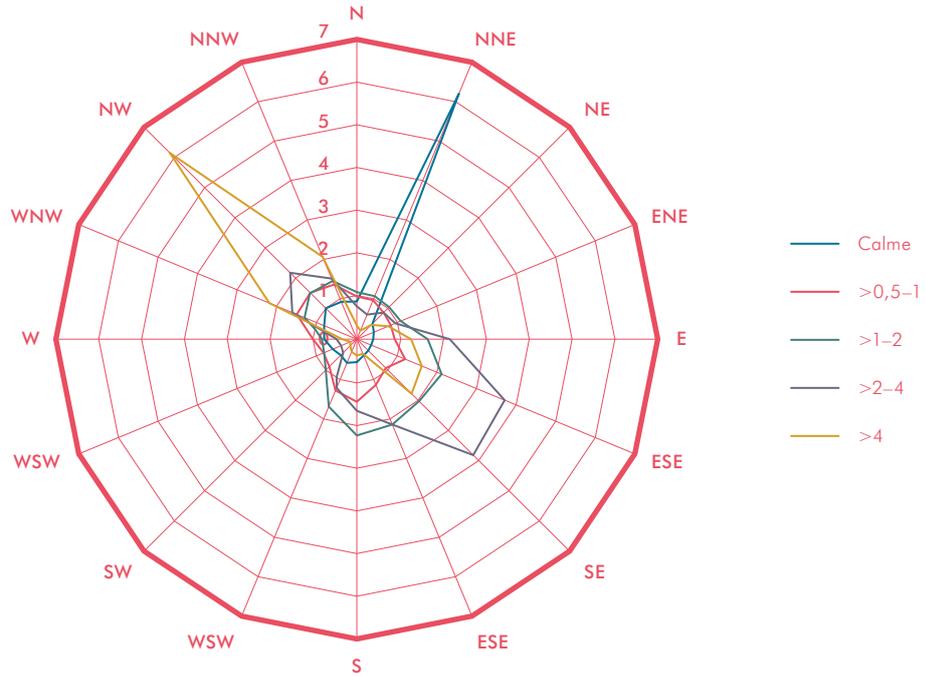
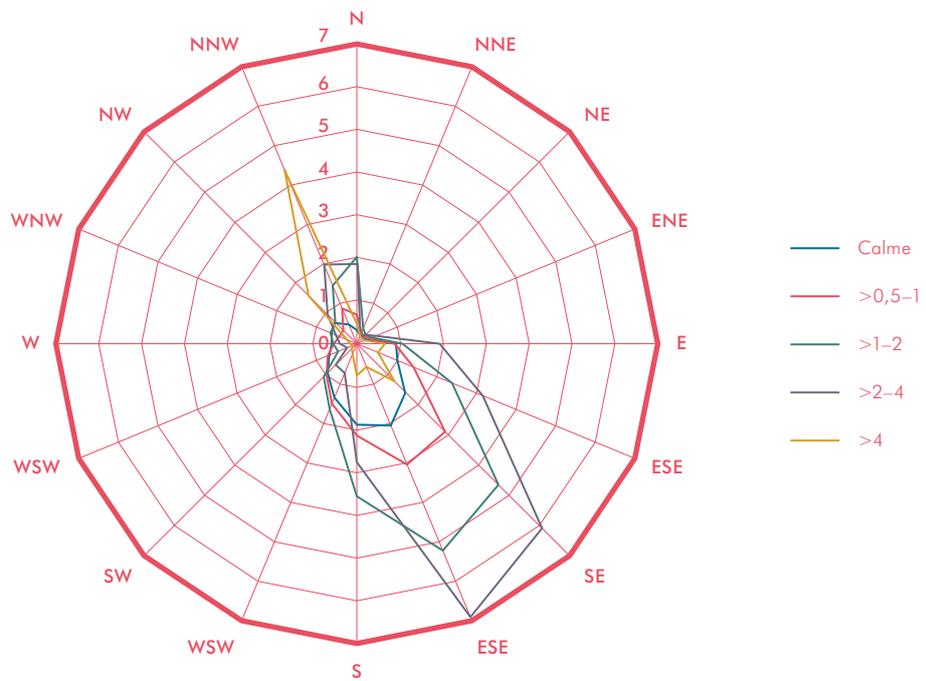


Abbildung 42:
Strömungsverhältnisse
am Tag an verschiede-
nen Stationen in Graz
(für 2011, nach
PFAFFINGER 2012)

Windrichtungsverteilung: Mälzerei bei Tag



Windrichtungsverteilung: Kärntnerstraße bei Tag



ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der Stadtklimaanalysen der letzten 30 Jahre zeigen anschaulich, wie sich in Graz die Stadtklimaforschung und die damit verbundenen Aspekte der Fernerkundung gut entwickelt haben. Man kann davon ausgehen, dass es inzwischen einen relativ breiten Anwenderkreis beginnend von der Stadtplanung bis hin zum Umweltamt gibt und dass es eine sehr gute Zusammenarbeit bzw. Vernetzung zwischen den einzelnen Abteilungen und Referaten des Magistrates einerseits und dem Institut für Geographie und Raumforschung andererseits gibt. Die Situation in Graz lässt sich am ehesten mit Stuttgart vergleichen, wo sogar hauptamtlich Klimatologen arbeiten. Die weiteren Schritte in der Forschung sind durch die Dynamik in der Stadtentwicklung mit der künftigen Bebauung der Reininghausgründe, aber auch Versionen in Richtung „Smart City“ vorgegeben. Die ersten Klimamessungen mit einer Station auf der Mälzerei der ehemaligen Brauerei Reininghaus haben schon wertvolle Daten gebracht. Tatsache ist, dass bezüglich der Reininghausgründe eine begleitende Detailstudie erstellt werden sollte, um sowohl den Anforderungen bezüglich der Luftgüte (Fragestellung der Durchlüftung und Intensivierung der Wärmeinsel) als auch dem Klimawandel gerecht zu werden. Gerade die Sommertemperaturen sind in den letzten drei Jahrzehnten in einem Maße gestiegen, dass heiße Sommer wie der von 2003 nicht mehr so extrem erscheinen werden. Hier gilt es, mit einer entsprechend gut abgestimmten Baukörperstruktur in den Quartieren einerseits und der Erhaltung von Grünflächen als Ausgleichsflächen andererseits ein städtisches Kleinklima zu schaffen, das den zu erwartenden Hitzestress minimiert. Dies betrifft nicht nur die Situation tagsüber mit der Zunahme der Tropentage (Maximum über 30 °C), sondern vor allem die erhöhten nächtlichen Temperaturen (Tropennächte, Minimum über 20 °C), die den Menschen mehr und mehr belasten. Weiters wird es darum gehen, auch die Oberflächenentwässerung nicht nur bezogen auf die Reininghausgründe, sondern allgemein für Graz zu überdenken, denn es mehren sich die Zeichen einer Zunahme der Starkregenereignisse, was gut in Übereinstimmung mit den zu erwartenden höheren Sommertemperaturen steht. Dazu stehen nun dank der Thermalflüge sehr gute Datengrundlagen (Versiegelungskarte) zur Verfügung; sie werden für die Beurteilung der gesamten Oberflächenwässer und der damit verbundenen Belastung für das Kanalnetz in Graz herangezogen werden. In den letzten Jahren waren von Überschwemmungen die Bezirke Andritz und St. Peter betroffen. Die schon errichteten Retentionsbecken

stellen zweifellos eine wichtige Maßnahme zur Verringerung des Überschwemmungsrisikos dar. Bezüglich der Feinstaubbelastung werden weitere Untersuchungen folgen, wobei derzeit ein Projekt mit Unterstützung der Landesregierung gestartet wurde, das die Vorbelastung der Seitentäler näher beleuchten wird.

Die in dieser Studie generierten Datengrundlagen eignen sich in weiterer Folge auch für die Erhebung von Entsiegelungspotentialen. Zur Überprüfung der bisherigen Siedlungstätigkeit und der Ableitung von möglichen Sanierungsmaßnahmen fehlten bislang oftmals die erforderlichen Daten, sowohl was die Feststellung des Versiegelungsgrades betrifft, als auch was die Einschätzung angeht, wo aus heutiger Sicht eine übermäßige Versiegelung vorhanden ist. Diese Daten wurden bislang lediglich von einigen Großstädten Deutschlands selbstständig, z. B. für Entsiegelungsprogramme oder im Rahmen von Umweltinformationssystemen, Umweltleitplänen etc. erhoben. Hier könnte eine Folgestudie eine praxisnahe Handlungsgrundlage zur Erhebung der Entsiegelungspotenziale für die Stadt Graz darstellen. Mit möglichst einfachen Instrumenten und mit vertretbarem Aufwand sollten dabei der Versiegelungsgrad der Siedlungsflächen der Stadt dargestellt, der Umfang der bestehenden Versiegelung kritisch überprüft und die Entsiegelungs- sowie Belagsänderungspotenziale sichtbar gemacht werden. Bei der zumindest teilweisen Wiederherstellung des Bodens mit seinen Funktionen muss insbesondere der Schutz des Grundwassers gewährleistet sein. Ziel wäre, eine Übersicht über die relevanten Entsiegelungs-/Belagsänderungspotenziale zu erhalten.

LITERATUR

- ALBERTZ, J., 2001: *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.* – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 250 S.
- AMANN, V., 2004: *Bericht zur Flugmeßkampagne GRAZ 2004.* – Unveröffentlichter Bericht des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V., Oberpfaffenhofen, 18 S.
- BISCHOF, H., 2011: *Bildflug Graz 2007 und Forschungsbericht zum Bildflug 2007*, unpublizierter Befliegungs- und Entzerrungsbericht.
- CHEN, L-C., CHIANG, T-W., TEO, T-A., o. J.: *Fusion of LiDAR data and high resolution images for forest canopy modeling*, Center for Space and Remote Sensing Research, National Center University, Jhong-Li, Taiwan.
- EICHBERGER S. and SULZER W., 2005: *Urban development of Graz – a time series analysis with historical aerial photographs.* In: *Remote Sensing and GIS for Environmental Studies – Göttinger geographische Abhandlungen*, Vol. 113, pp. 63
- FEZER, F., SEITZ, R., 1977: *Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. Studien für die Regional- und Siedlungsplanung.* Heidelberg, 243 S.
- GRUBER, M., o. J.: *UltraCam-X, the new Digital Aerial Camera System by Microsoft Photogrammetry.*
- KAUFMANN, V., & Sulzer, W., 1997: *Über die Nutzungsmöglichkeit hochauflösender amerikanischer Spionage-Satellitenbilder (1960–1972).* In: *Österr. Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI)*, Heft 97/3, Wien, 166–174.
- KAUFMANN, V., 1989: *Thermalkartierung Graz 1986.* – Unveröffentlichte Dissertation, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, 210 S.
- Das Land Steiermark, Landesumweltinformationssystem LUIS*, August 2012: *Klimaatlas Steiermark*, Kapitel 1 – Strahlung; <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10703586/16178332/>.
- KURTA, M., 2008, *Die Auswirkungen der luftreinhal-terrechtlichen Bestimmungen in Bezug auf Feinstaub (PM10) auf das gewerbliche Betriebsanlagenrecht*, Diplomarbeit, KF-Uni-Graz, 89 S.
- LAZAR, R., 1982: *Stadtklimatische Besonderheiten von Graz. Tagungsband „10 Jahre Grazer Luft beobachtet“.* Magistrat Graz, 35 S.
- LAZAR, R., 1991: *Stadtklimaanalyse Graz und ihre Bedeutung für die Stadtplanung.* Arb. Geograph. Institut Graz, Bd. 30, S. 141–170.
- LAZAR, R., BADER, T., BRAUN, N., KUNCIC, E., & SULZER, W., 1993: *Geländeklimatologische Untersuchungen in der Steiermark.* *Wetter und Leben*, 3 (93), 45–51.
- LAZAR, R., BUCHROITHNER, M. F., & KAUFMANN, V., 1994: *Stadtklimaanalyse Graz.* – Magistrat Graz, Stadtplanungsamt, Graz, 163 S.
- LAZAR, R., & PODESSER, A., 1999: *An urban climate analysis of Graz and its significance for the planning in the lateral valleys east of Graz.* *Atmospheric Environment*, 33, 4195–4209
- LAZAR, R., & SULZER, W., 2006: *Thermalbefliegung 2004 Graz. Endbericht und Ergebnisdokumentation zur Thermalbefliegung 2004 Graz.* – Studie im Auftrag des Magistrats Graz, Graz, 144 S.
- MOSKOPP, E., LEGAT, K., 2013: *Projektbericht Thermalflug Graz 2011.* Unveröffentlichter Projektbericht, Imst, 4 S.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDÍZIO, E., and MORAN, E., 2004: *Change detection techniques.* In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 12, pp. 2365–2401.
- RICHTER, R., 2006: *Atmospheric/Topographic Correction for Airborne Imagery.* – ATCOR-4 User Guide, Version 4.1, 107 S., http://www.rese.ch/pdf/atcor4_manual.pdf.
- SCHNEIDER, S., & GRUBER, M., o. J.: *Radiometric quality of Ultracam – X images.* In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, Beijing 2008, pp. 539–544.

- STOCK, P., et al., 1986: *Klimaanalyse Stadt Dortmund*. Essen, 39 S.
- SULZER, W., 2002: *Climatological Research and its possible contribution to re-gional Planning in an Alpine Environment*. In: Steininger, K. W., und Weck-Hannemann, H., (Hrsg.): *Global Environmental Change in Alpine Regions – Recognition, Impact, Adaption and Mitigation*. Edward Elgar Publishing limited, Cheltenham, 150–160.
- SULZER, W., 2002: *Die Eignung von LANDSAT-TM Thermal-Nachtaufnahmen bei der Erstellung von Klimaeignungskarten*. In: *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung* 38, 255–262.
- SULZER, W., & EICHBERGER, St., 2005: *Urban development Graz – A time series analysis with historical aerial photographs*. GGRS – 1st Göttingen GIS & Remote Sensing Days – Environmental Studies – Göttingen, 07.–08.10.2004, Göttinger Geographische Abhandlungen, Heft 113, S. 63–70.
- SULZER, W., & KERN, K., 2008: *High resolution airborne scanner data for multitemporal sealing maps of Graz – and their applicability in town planning*. *Remote Sensing – New Challenges of High Resolution*. EARSeL Joint Workshop Bochum, March 5–7, 2008. Selbstverlag des Geographischen Instituts für Geographie der Ruhr-Universität Bochum. S. 265–274.
- SULZER, W., KERN, K., & EICHBERGER, St., 2008: *Urban change extraction from aerial photographs and multispectral scanner – an applied study from Graz/Austria*. *Remote Sensing for a Changing Europe*, Proceedings of the 28th Symposium of European Association of Remote Sensing Laboratories, Istanbul, Turkey, 2.–5. June 2008, 551–557.
- SULZER, W., WURM, M., & LAZAR, R., 2009: *The use of multitemporal airborne DAEDALUS ATM data for climatological investigations in Graz/Austria*. Abstract Book of the 29th EARSeL Symposium „Imagine Europe“, 15–18. June 2009, Chania, Griechenland.
- SULZER, W., & KERN, K., 2009: *Derivation of multi-temporal soil sealing maps using high resolution Airborne Thematic Mapper (ATM) imagery and an examination of their usefulness in town planning*. EARSeL eProceedings, 8 (1), 1–10.
- SULZER, W., LAZAR, R., & WURM, M., 2011: *Der Einsatz von multitemporalen DAEDALUS ATM Aufnahmen für stadtklimatologische Analysen in Graz/Österreich*. Tagungsband/Abstract des 30. Jahrestreffens des Arbeitskreises Klima der Deutschen Gesellschaft für Geographie, 2 S.
- SULZER, W., MUICK, M., & GANSTER, W., 2013: *Objektorientierte Landbedeckungsklassifikation von Graz (Österreich) unter besonderer Berücksichtigung der dritten Dimension*. In: Manfred SCHRENK, Vasily V. POPOVICH, Peter ZEILE, Pietro ELISEI (Ed.), 2013: *Proceedings REAL CORP 2013*, 651–660.
- TABI-1800, 2012: *Product Information*. <http://www.itres.com/products/imagers/tab1800/> (Letzter Zugriff: 21.05.2012).
- VOOGT, J. A., OKE, T. R., 2003: *Thermal remote sensing of urban climates. – Remote Sensing of Environment* 86, 370–384.

Diplom- und Masterarbeiten:

- BÖHM, R., 2013: *PM 10 Beitrag durch Fernverfrachtung im steirischen Alpenvorland*. – Unveröffentlichte Masterarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 183 S.
- EICHBERGER, S., 2002: *Stadtentwicklung Graz: Eine Zeitreihenanalyse mit historischen Luftbilddaten*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 169 S.
- FALINSKI, Th., 2004: *Analyse der Temperatur- und Windverhältnisse im Raum Graz*. Diplomarbeit am Institut für Geographie, 54 S.
- FRÜHWIRTH, G., 1995. *Analyse des Murtalwindsystems zwischen Bruck und Wildon*, Diplomarbeit Karl-Franzens-Universität Graz, 171 S.
- GRAFL, J., 2010: *Monitoring der Luftgüte im Grazer Becken mit Schwerpunkt Feinstaub*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 130 S.
- GUZELNIK, I., 2006: *Die Ausbreitungsbedingungen im Südwesten von Graz*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 68 S.
- HUBENY, K., 2011: *Das Vertikalprofil für Temperaturen in Graz im Vergleich mit Fesselballonsondierungen*. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 80 S.
- KERN, K., 2007: *Objektorientierte Klassifikation von Scannerdaten am Beispiel der Thermalbefliegung 2004 Graz*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 86 S.
- KRAACK, L., 2004: *Die Lokalwindzirkulation in Graz, unter besonderer Berücksichtigung der „Flurwinde“*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 117 S.
- LAZAR, W., 1994: *Ergebnisse von Fesselballonsondenaufstiegen in Hinblick auf Schadstoffausbreitung im Raum Graz*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 121 S.
- MUICK, M., 2011: *Objektorientierte Landbedeckungsklassifikation unter besonderer Berücksichtigung der dritten Dimension*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 86 S.
- NIEMETZ, N., 2007: *Die kritischen Wetterlagen in Graz und ihre Bedeutung für die Schadstoffbelastung*, Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, 158 S.
- PFÄFFINGER, E., 2012. *Stadtökologische Untersuchungen im Westen von Graz im Zuge der Planung eines neuen Stadtteils*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 149 S.
- POSTORFER, M., 2000: *Industrieschnee am Beispiel Graz*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 73 S.
- RAFELSBERGER, S., 1999, *Tagesgänge der Konzentration ausgewählter Luftschadstoffe in Abhängigkeit von bestimmten Wetterlagen im Raum Graz*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 116 S.
- REICH, C., 1994: *Fernerkundung und Stadtklimaanalysen unter besonderer Berücksichtigung von Graz*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 74 S.
- REICH, C., 1999: *Ausgewählte Methoden der Fernerkundung und deren Anwendung auf Stadtklimaanalysen*. – Unveröffentlichte Dissertation, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 214 S.

SALENTINIG, A., 2012: *Remote sensing change detection of urban environments with very high resolution Ultracam data.* – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 112 S.

SCHÖN, K., 2013: *Verkehrslärm – Auswirkungen und Lärmschutzmaßnahmen in Graz.* – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 123 S.

SENGL, M., 2008: *Die Feinstaubproblematik in Graz und deren regionale Unterschiede.* – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 71 S.

TRIEBNIG-LÖFFLER, C., 1992: *Analyse einer LANDSAT 5-Thermalaufnahme der Mittelsteiermark (Österreich).* Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, 160 S.

WURM, M., 2007: *Erstellung von Strahlungstemperaturkarten am Beispiel der Thermalbefliegung 2004 Graz.* – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 96 S.

AO.UNIV.-PROF. DR.PHIL. REINHOLD LAZAR**Karl-Franzens-Universität Graz/Institut für Geografie und Raumforschung**

Schon während seines Studiums – Geographie und Mathematik – fokussierte er sich auf angewandte Klimatologie und setzte dies dann auch mit dem Dissertationsthema über das Lokalklima in der Südwest-Steiermark fort. Ab dem Jahre 1981 rückte das Stadtklima von Graz mehr und mehr in den Schwerpunkt seines Forschungsinteresses. So wurden die ersten Sonderstationen und Messfahrten durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der Tagung – „10 Jahre Grazer Luft beobachtet“ – im Jahre 1982 präsentiert. Der erste große Höhepunkt der Stadtklimaforschung in Graz erfolgte dann 1986 mit der Thermalbefliegung. Erstmals wurden auf der Basis der Ergebnisse die Hinweise aus klimatologisch-lufthygienischer Sicht im Stadtentwicklungskonzept (STEK) sowie im Flächenwidmungsplan berücksichtigt. Im Jahre 1990 habilitierte er sich für den Bereich „Physische Geographie“. In den nachfolgenden Jahren verlagerte sich vermehrt der Schwerpunkt der Aktivitäten auch auf andere Länder und Städte. In den Jahren 1997 bis 2008 war dabei vor allem Südamerika stark im Fokus. So wurden z. B. Forschungen zum Stadtklima und Luftgüte in den Städten La Paz und Cochabamba (Bolivien) sowie Bucaramanga in Kolumbien durchgeführt. Im Jahre 2002 wurde in Laibach/Ljubljana, in Kooperation mit dem dortigen Stadtplanungsamt eine Stadtklimaanalyse durchgeführt. Neben der Stadtklimaforschung fokussierte er sich auch auf geländeklimatische Untersuchungen mit dem Schwerpunkt auf die Erfassung von Schadstoffausbreitungsbedingungen. Dies nicht zuletzt deshalb, um die mögliche Immissionsbeeinflussung durch größere Emittenten wie z. B. Kraftwerke, abzuklären. Unabhängig von diesen Aktivitäten initiierte er ab dem Jahre 1998 eine zusätzliche Forschungsrichtung, durch die Errichtung von Klimastationen auf extrem hochgelegenen Berggipfeln wurde eine neue Form der Klimabeobachtung ermöglicht bzw. eingerichtet. Dieses laufende Hochgebirgsklimamonitoring (höchste Klimastation am Aconcagua auf 6950 m) liefert hochwertige Daten und dient primär dazu, um Trends im Zuge des Klimawandels auch in diesen Höhenlagen zu erfassen.

