

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 LUFTTEMPERATUR 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.

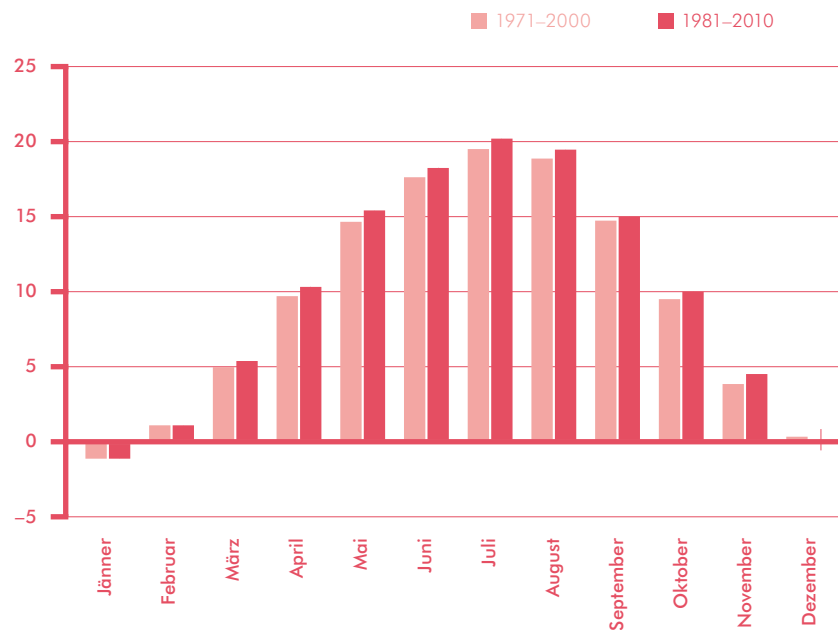


Abbildung 1:
Vergleich der CLINO-Periode der mittleren täglichen Lufttemperatur von 1971–2000 sowie 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

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.

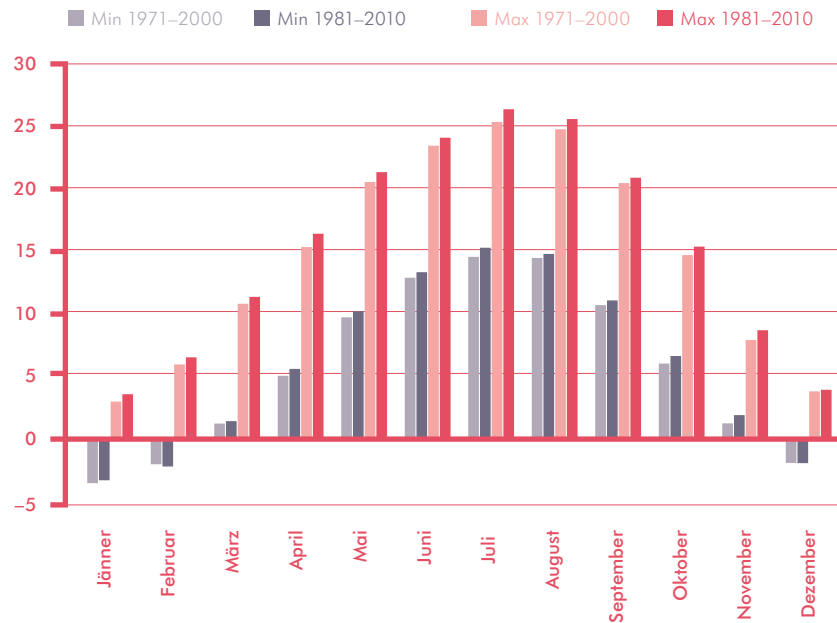


Abbildung 2: Vergleich der Mittleren täglichen Minima bzw. Maxima der CLINO-Periode der Lufttemperatur von 1971–2000 sowie 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

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.

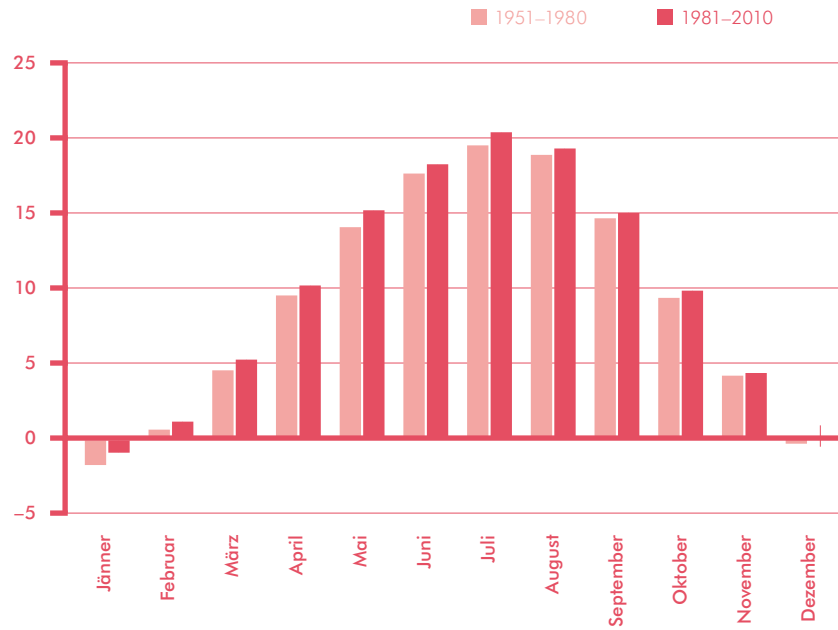


Abbildung 4: Vergleich der CLINO-Periode der mittleren täglichen Lufttemperatur von 1951–1980 sowie 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

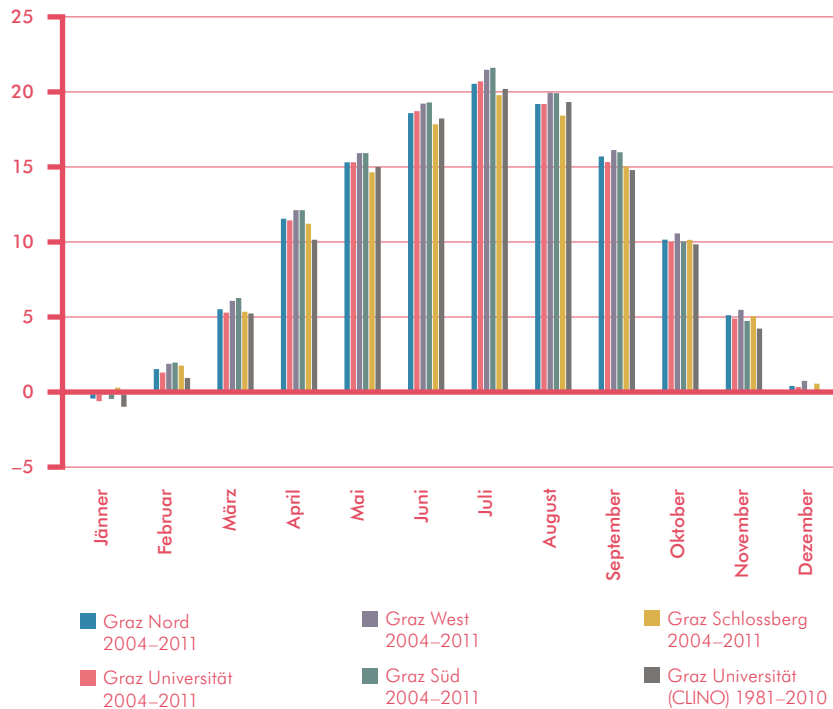


Abbildung 5: Vergleich der mittleren täglichen Lufttemperatur mehrerer Stationen in Graz (2004 bzw. 2006–2011) sowie der CLINO-Periode der Lufttemperatur von 1981–2010 der Station Graz Universität (Quellen: ZAMG, Eigenbearbeitung)

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 Bodenbel-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 kühlfte 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 Bodenbel, der verstärkt in den südlichen Gebieten der Stadt auftritt, wegfällt.

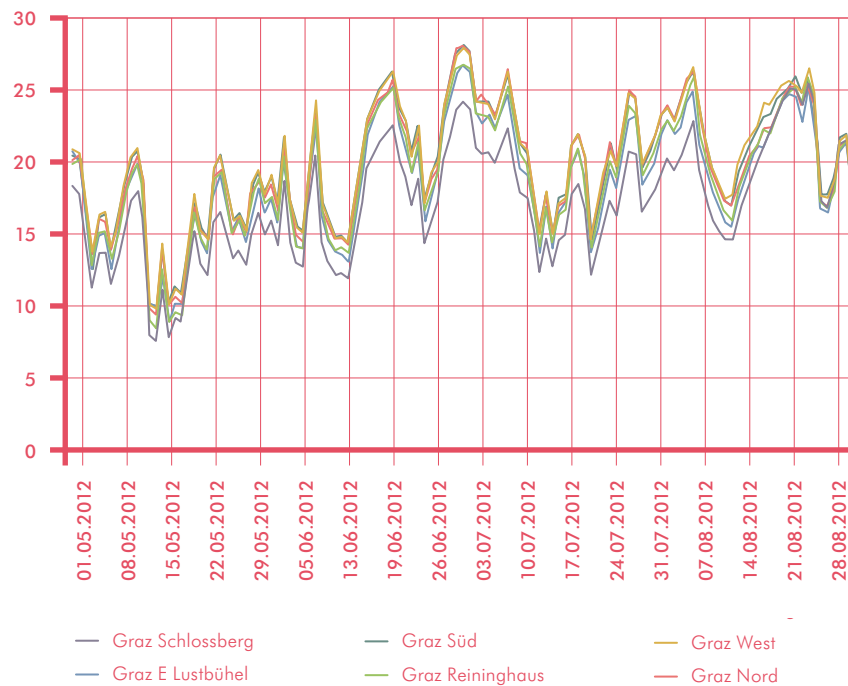


Abbildung 6: Vergleich der mittleren täglichen Lufttemperatur mehrerer Stationen in Graz von Mai–August 2012 (Quelle: Land Steiermark, Eigenbearbeitung)

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.

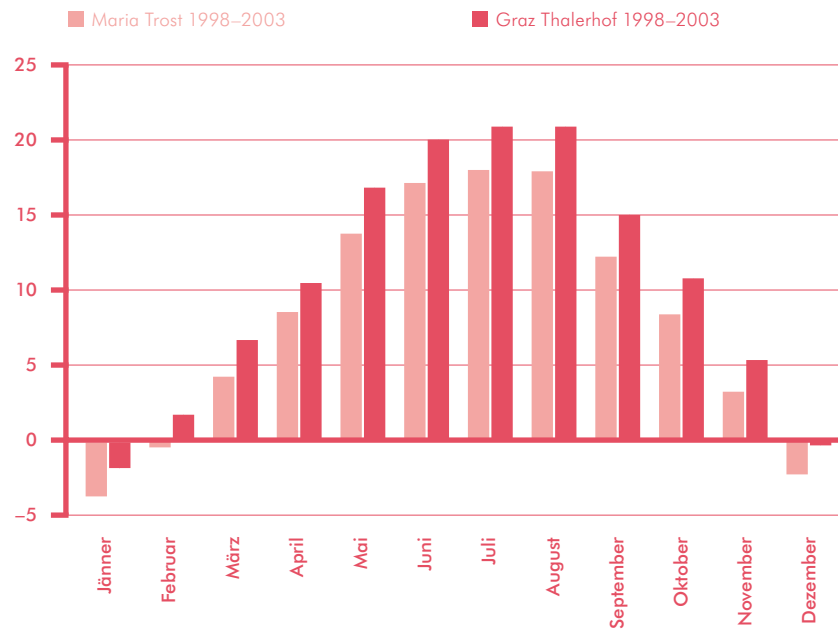


Abbildung 7:
Vergleich der mittleren Lufttemperatur der Stationen Mariatrost und Graz Thalerhof, 1998–2003 (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

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.

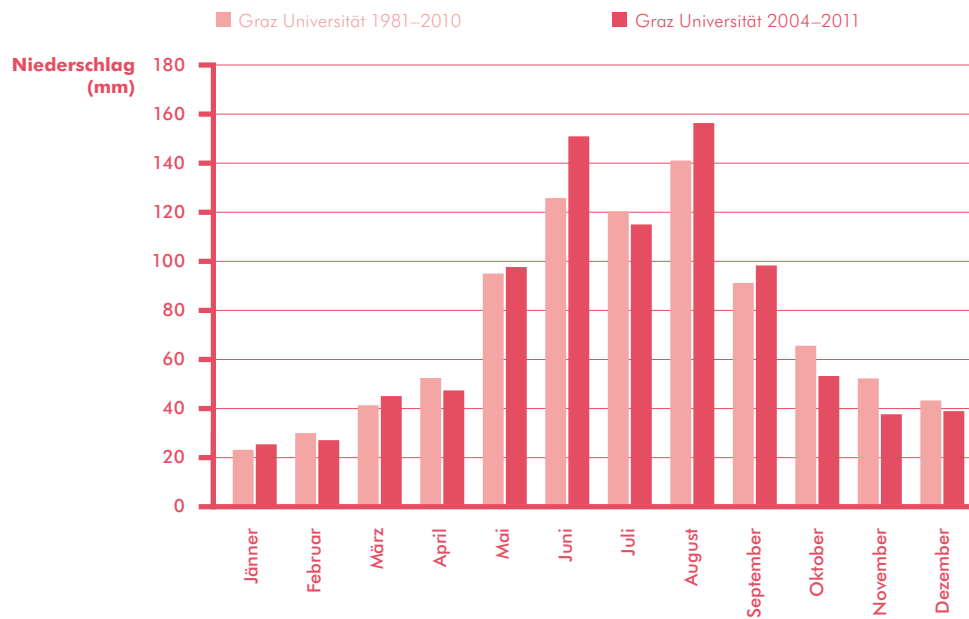


Abbildung 8: Niederschlagswerte der Jahre 2004–2011 im Vergleich mit der CLINO-Periode von 1981–2010 der Station Graz Universität (Quelle: ZAMG, Eigenbearbeitung)

8.2 DIE VERHÄLTNISSSE 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 sinnföhrend, 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 Weinzöttelbrücke) 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)

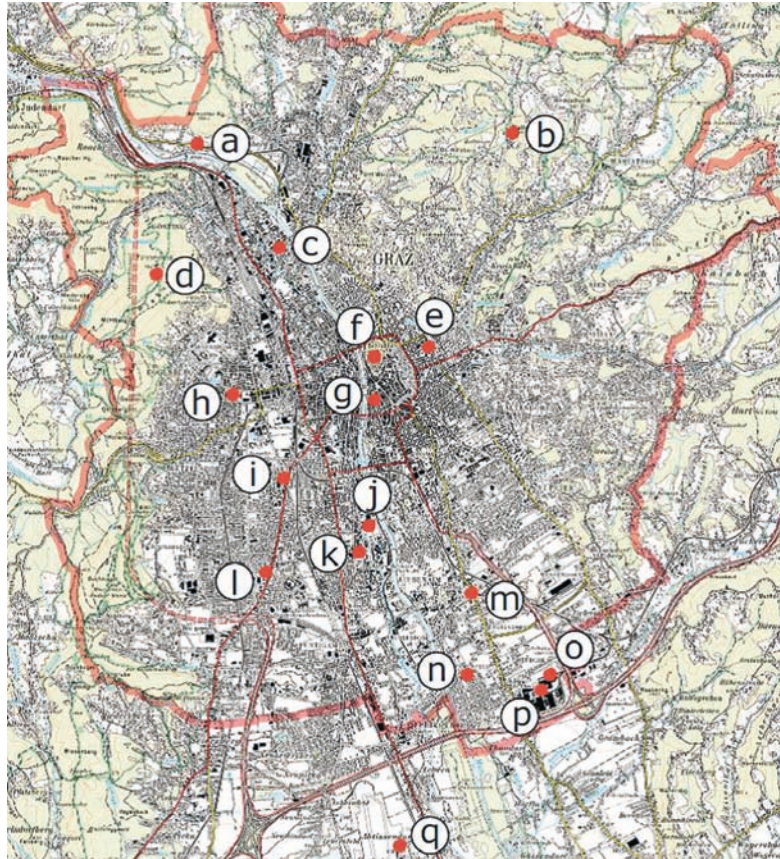


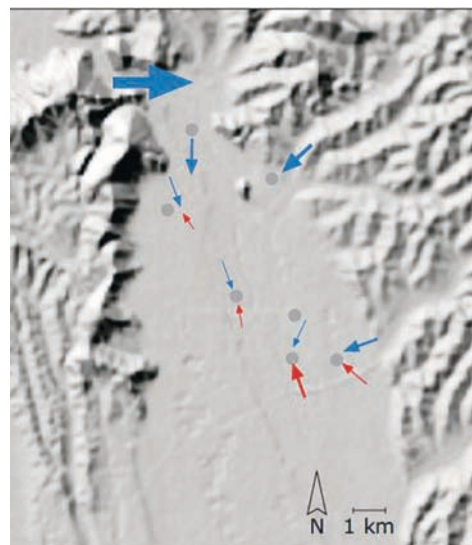
Abbildung 10:
Daten der Stationen
(nach KRAACK 2004)

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)



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)

8.3.3 ERGEBNISSE

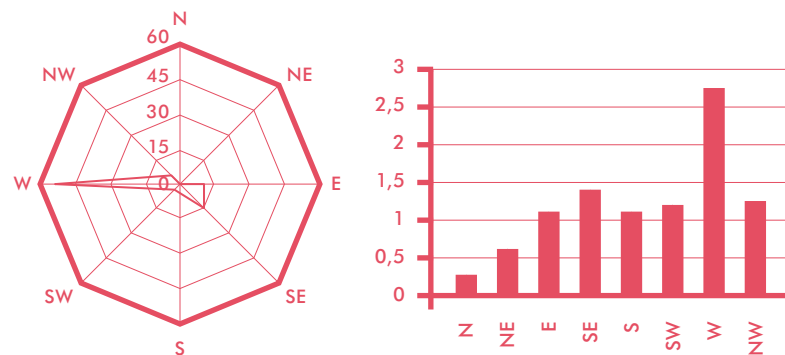
In einer umfangreichen Diplomarbeit wurden für die meisten Windmessstationen Windrosen erstellt, wobei in der Regel auch ein kürzerer Zeitraum genügt (zumeist 2 Jahre). Für einige Stationen wurde auch eine getrennte Auswertung nach Winter- und Sommerhalbjahr vorgenommen.

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 Murtaleswind zusammen.

Abbildung 12:
Windrichtung
Graz Weinzödl
(nach KRAAK 2004)

**Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Weinzödl 1994–1995,
31547 Fälle, Kalmen: 8,15 %**

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



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).

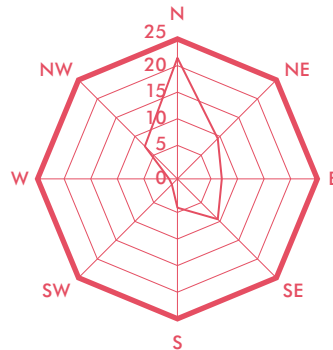
Von Norden nach Süden folgt dann die Station Graz Nord, welche wegen der Reibungseffekte schon deutliche Verluste hinnehmen muss, was wir am Windgeschwindigkeitsdiagramm erkennen können; auch der

Kalmenanteil ist merklich erhöht (21 %).

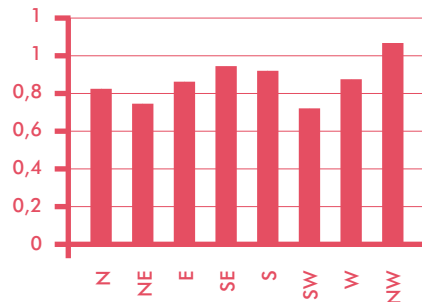
Bei der Windrichtungsverteilung ist zu beachten, dass im Gegensatz zur Station Weinzödl die Stadtstationen nicht völlig frei aufgestellt werden konnten, wodurch sich Einflüsse von Gebäuden nicht ganz verhindern lassen. Immerhin kommt die Dominanz der nördlichen Winde sehr gut zur Geltung. Die mittlere 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**

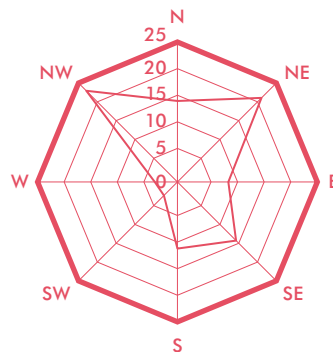


Die Station Graz Universität weist eine interessante Windrichtungsverteilung auf, da sich vor allem in der ersten Nachthälfte der Seitentalauswind aus dem Mariatroster Tal bemerkbar macht (NE); in der zweiten Nachthälfte übernimmt der Murtalauswind die Herrschaft, wobei auch hier die erhöhten Windgeschwindigkeiten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

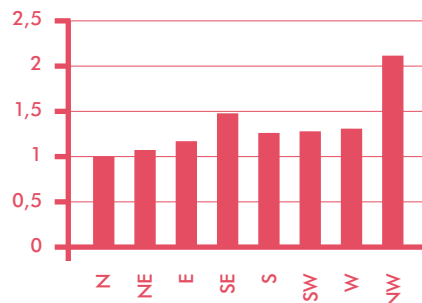
drückung des Seitentalauswindes zumindest im Dachniveau. Immerhin steht die Station auf dem Dach des Chemiegebäudes in ca. 25 m über Grund sehr frei anströmbar, wodurch die geringe Kalmenanzahl (nur 2 %) erklärbar wird. Das Gesamtmittel der Windgeschwindigkeit kann mit ca. 1,7 m/s angegeben werden.

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**

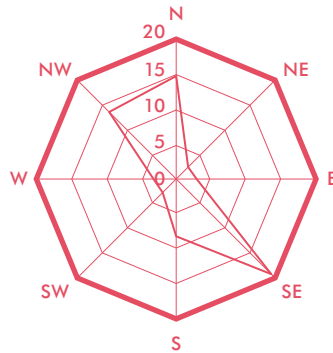


Die Station Graz West repräsentiert einen Bereich, der durch das Fehlen von Seitentälern charakterisiert wird und von der Durchlüftung betrachtet am ehesten noch vom Murtalauswind profitiert. Dazu sollte angemerkt werden, dass im Nordwesten von Graz ein Rotoreffekt besteht, wobei die alte Station – genannt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

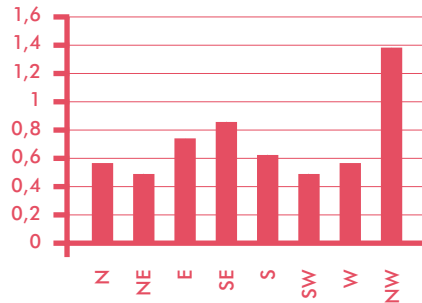
rend bei Messfahrten im Bereich der Barmherzigen Brüder (Krankenhaus) und des UKH eher südliche Winde beobachtet wurden. Dieser Effekt wurde unter anderem auch mittels des GRAMM-Modells nachgewiesen. Der vorspringende Hubertushöhe-Sporn bewirkt beim Murtalauswind leeseitig einen Unterdruck und erzeugt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

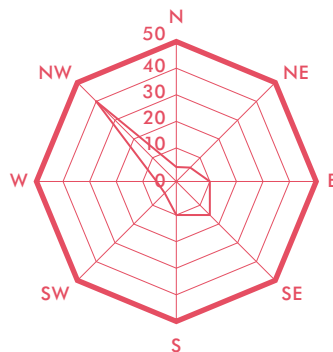


Bei der Windrichtungsverteilung fällt erstmals auf, dass die Dominanz der nördlichen Winde fehlt und die Bedeutung des Sektors SE bis S zugenommen hat. Der Anteil an Kalmen mit 31 % hat vergleichsweise ebenfalls zugenommen, was unter anderem auch darauf zurückzuführen ist, dass die Geschwindigkeit des 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)

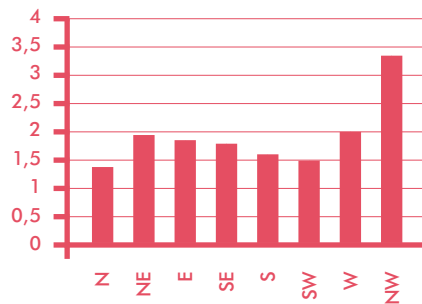
errichtet, um die Ausbreitungsverhältnisse in den Reininghausgründen besser erfassen zu können. Bei sehr geringem Kalmenanteil unter 5 % dominieren klar die Winde aus dem Sektor NW bis NNW. Die Windgeschwindigkeiten dürften etwas niedriger als am exponierten Schlossberg ausfallen (ca. 2,5 m/s). Wenn 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



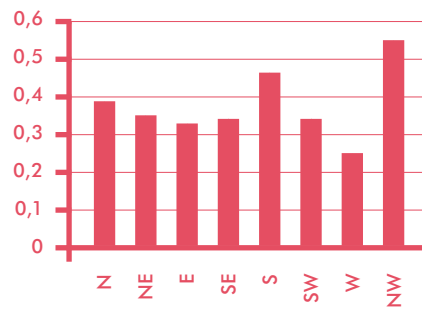
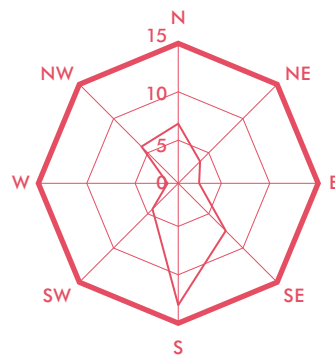
Der Kalmenanteil ist ähnlich niedrig wie an der Station Graz Universität mit 5 %. Die Windgeschwindigkeit liegt im Mittel bei 2,6 m/s. In Graz Süd überwiegen nun bereits die südlichen Winde, wobei auch der Kalmenanteil typisch für viele Bereiche im Süden und Westen von Graz auf über

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**

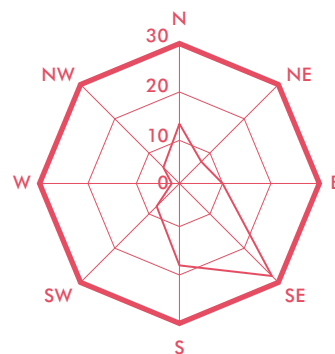
Abbildung 17:
Windrichtung Graz
Süd (nach KRAACK
2004)



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**

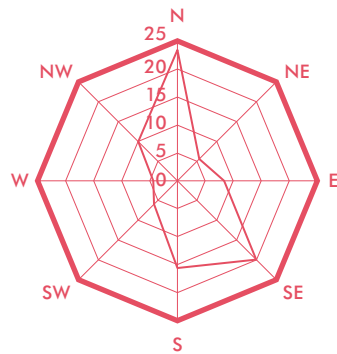


Die Windgeschwindigkeiten sind wegen der erhöhten Lage am Dach eines Einfamilienhauses etwas höher als an der Station Graz Süd (ca. 1 m/s). Die nördlichen Winde sind nur mehr auf Rückseitenwinde bei Störungsdurchzug und Nordföhn zurückzuführen. Wenn wir dazu passend uns eine Station in erhöhter Lage 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

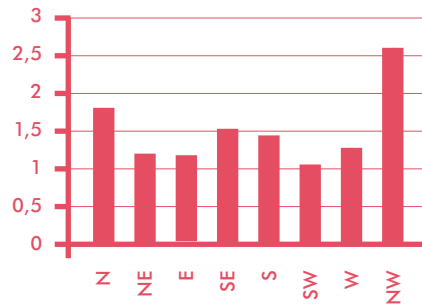
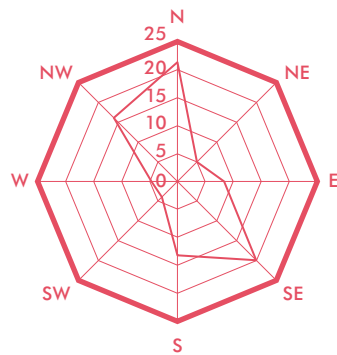
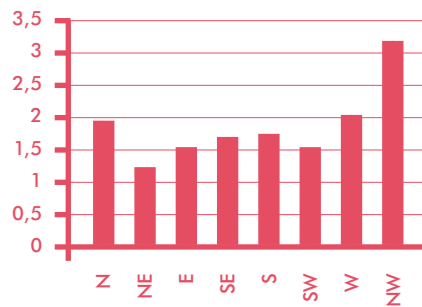


Abbildung 20: Windrichtung Graz Kärntnerstraße (nach KRAACK 2004)

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



Windgeschwindigkeit nach Windrichtung Kärntnerstraße 1994–1995



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 Süd-

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 Düsen effekt 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)

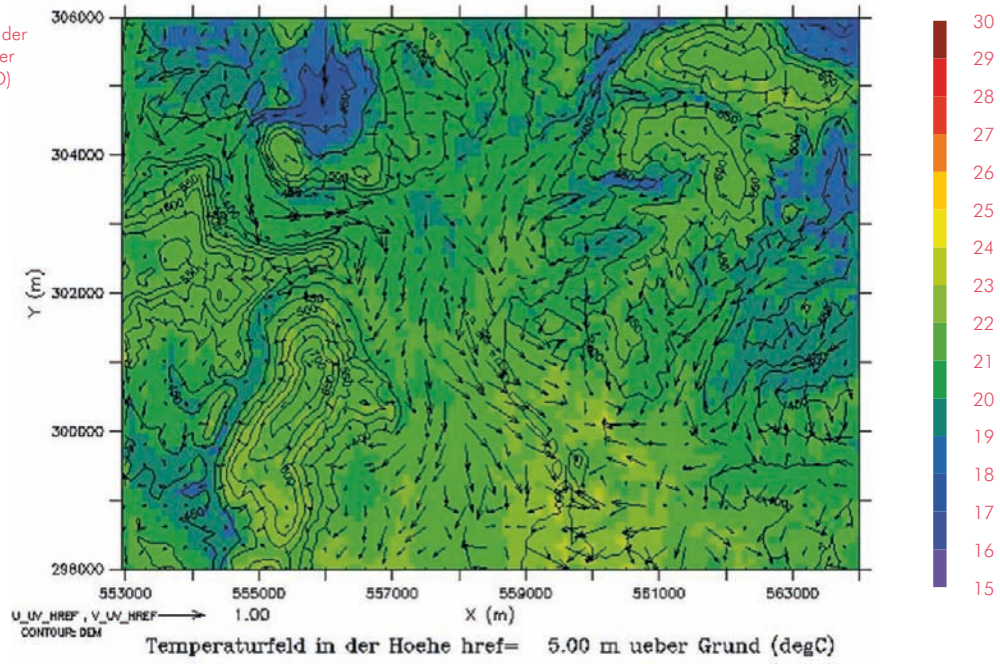
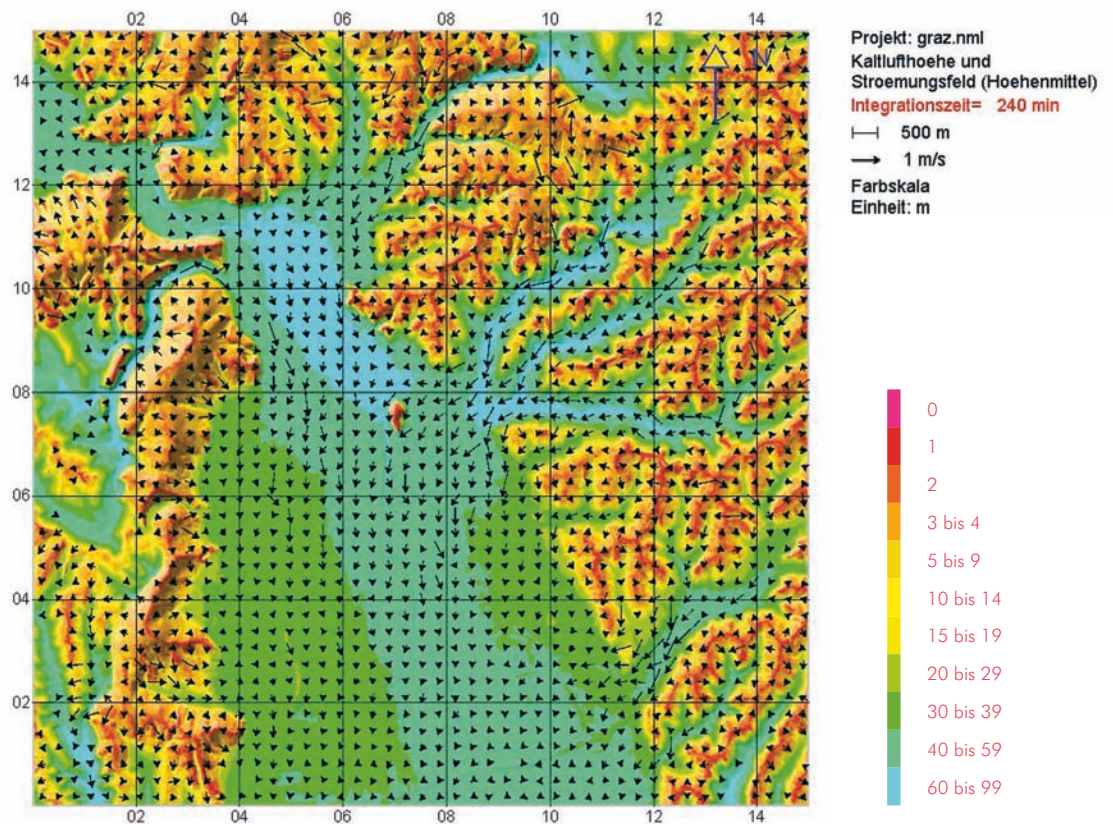


Abbildung 28:
Temperaturfeld in der
Höhe von 5 m über
Grund (berechnet mit
Software des Deutschen
Wetterdienstes, KLAM)



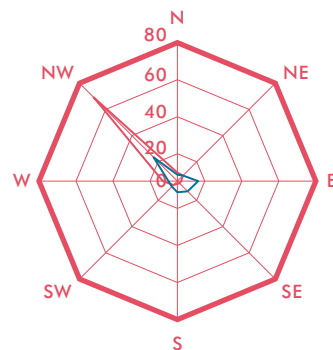
8.3.5 WEITERE BESONDERHEITEN BEI DEN PSEUDOFLURWINDEN

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



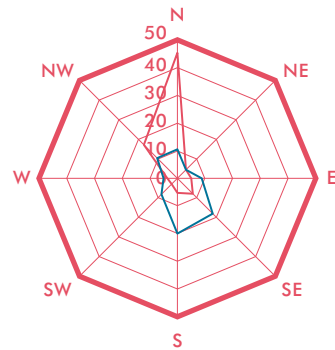
st. AW: 1353 Fälle
Kalmen: 1,85 %
 Δv : 3,75 m/s

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



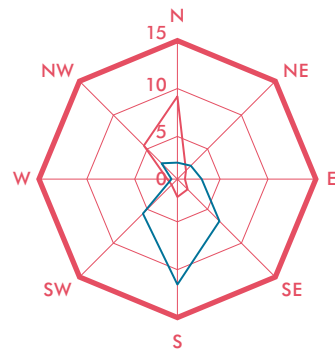
st. AW: 1299 Fälle
Kalmen: 7,7%
 Δv : 2,04 m/s

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 Windrichtungen in Graz
am 18.12.2003
(nach KRAACK 2004)

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

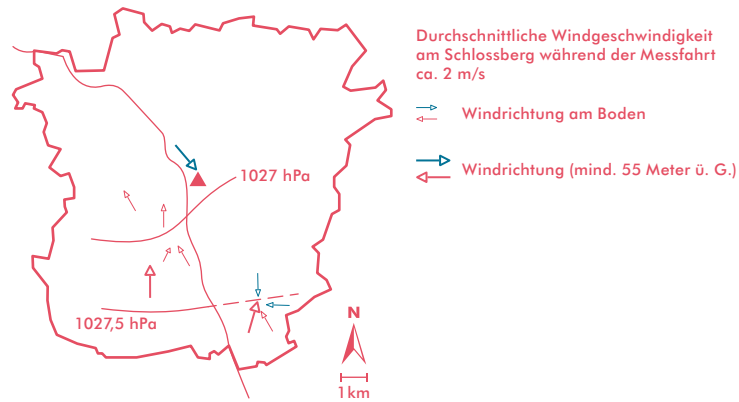
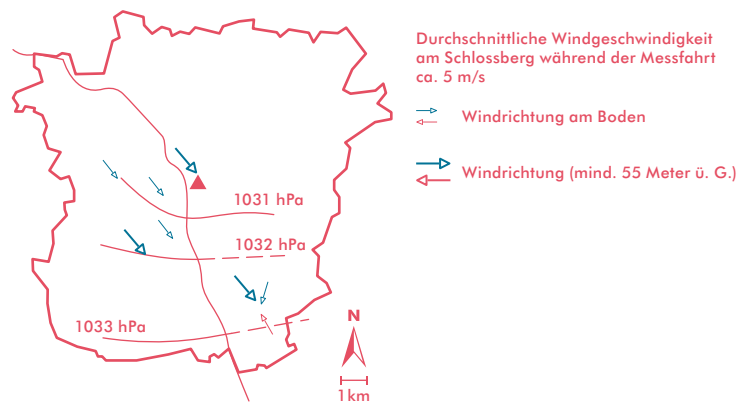


Abbildung 33:
Luftdruck und
Windrichtungen in
Graz am 24.12.2003
(nach KRAACK 2004)

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



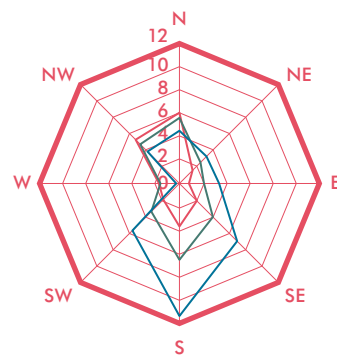
b) Abhängigkeit der Pseudoflurwinde von der Ausprägung der Grazer Wärmeinsel

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) beigelegt, 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 %

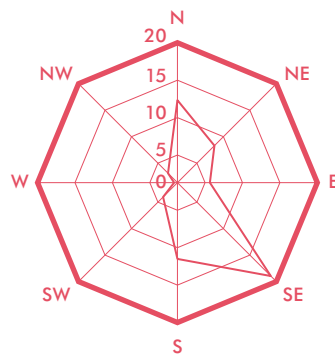
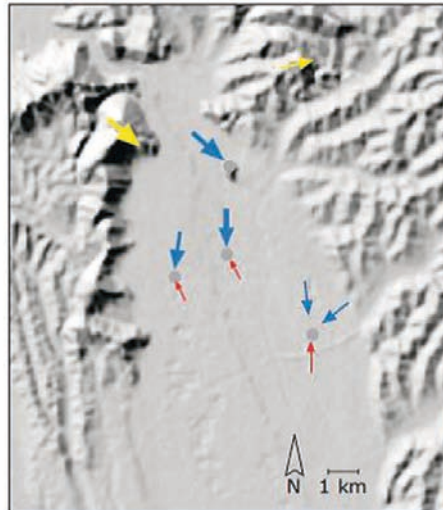


Abbildung 36 und 37:
Hauptwindrichtungen in
Nächten mit Hochdruck
ohne Bewölkung (nach
KRAACK 2004)



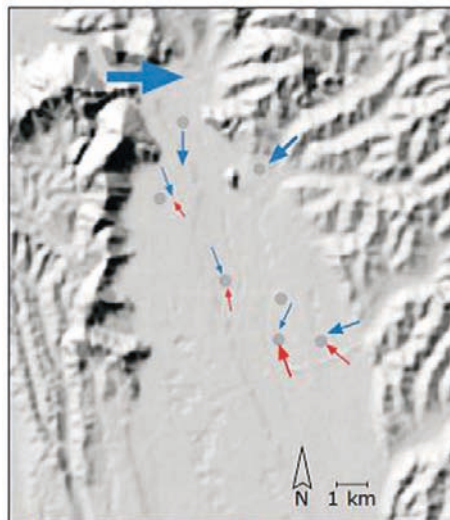
Hauptwindrichtungen in Nächten
mit Hochdruck ohne Bewölkung
(24 Winternächte 1994-1995)

Kamin bzw. Kammstationen

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

Stationen:

Platte
Plabutsch
Schloßberg
Puchstraße
Kämtnerstraße
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 Häufung 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

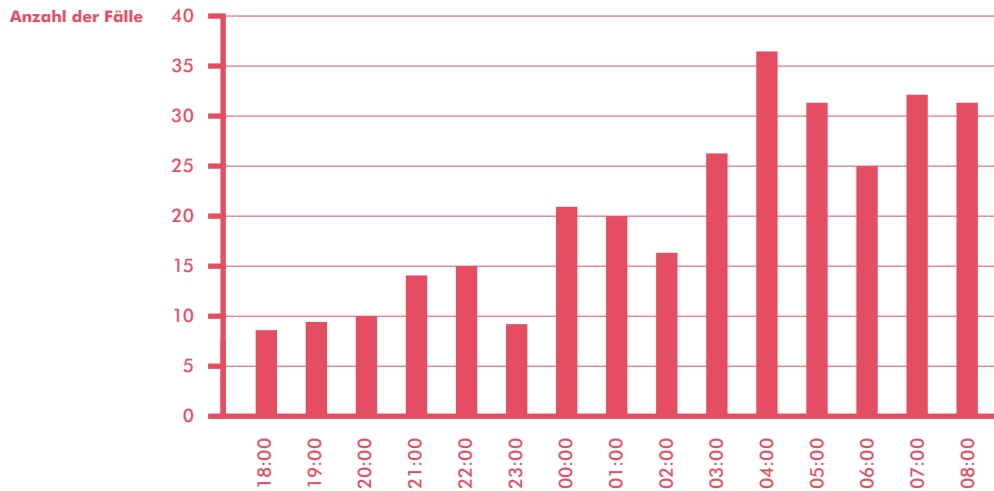
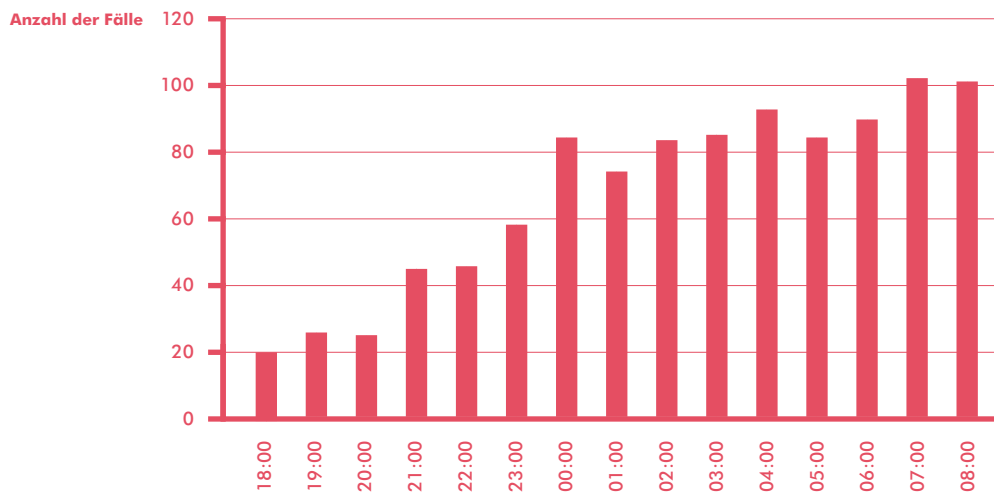


Abbildung 38:
Fälle mit NW-Wind
am Schlossberg und
S-, SE- oder SW-Wind
in Graz Kärntnerstraße
zwischen 18 und 8 Uhr
(nach KRAACK 2004)



8.3.6 BESONDERHEITEN DER PSEUDOFURWINDE 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 Murtalauswind, 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)

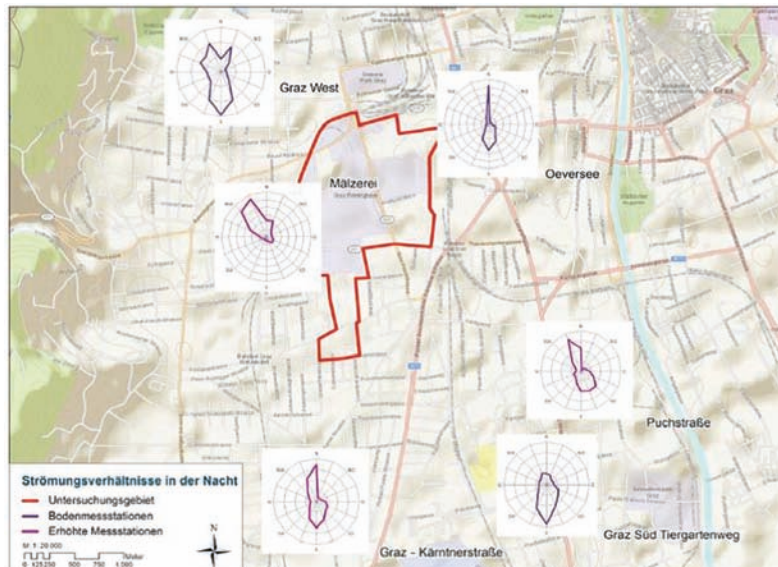


Abbildung 40: Strömungsverhältnisse am Tag an verschiedenen Stationen in Graz (für 2011, nach PFAFFINGER 2012)

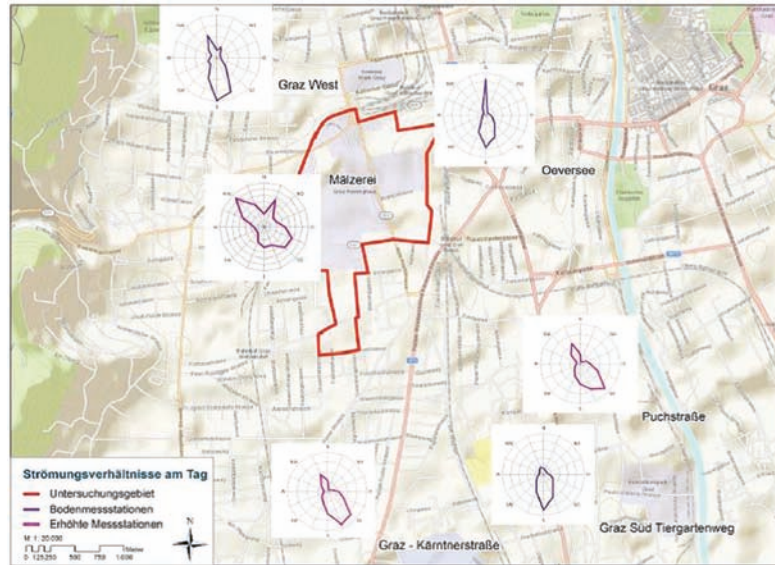
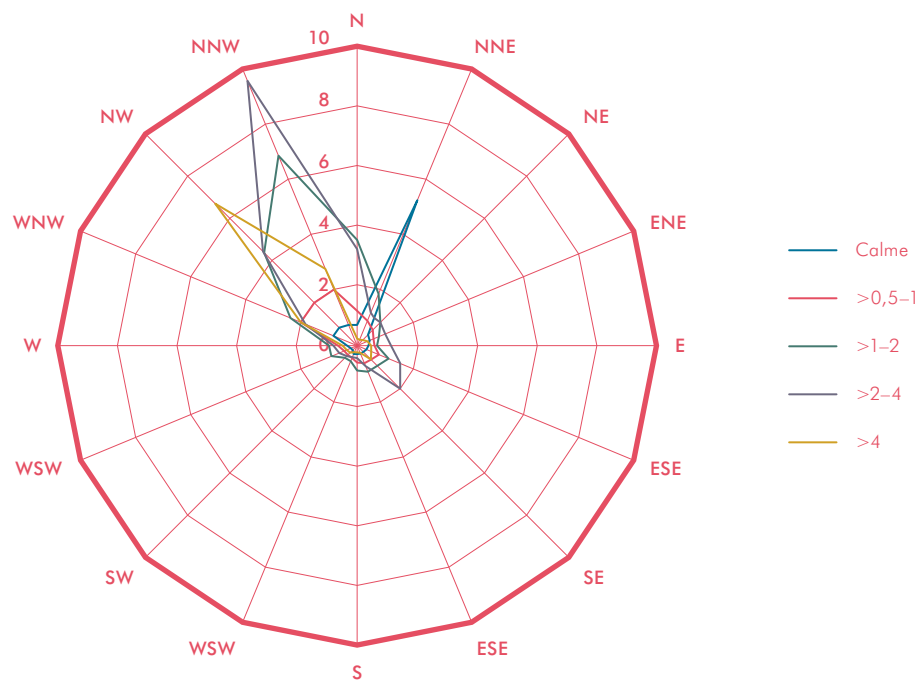
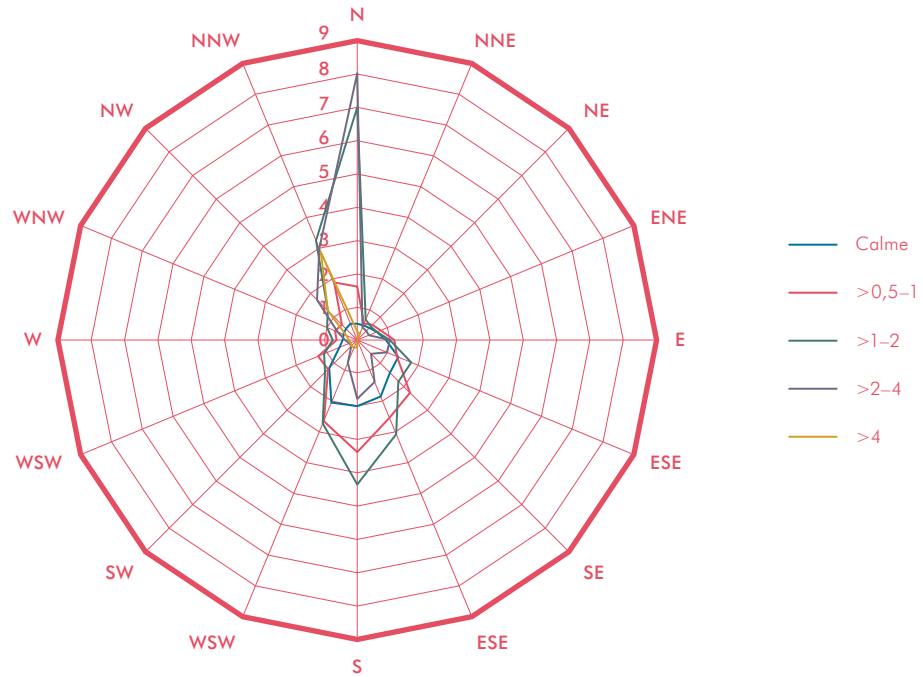


Abbildung 41: Strömungsverhältnisse in der Nacht an verschiedenen Stationen in Graz (für 2011, nach PFAFFINGER 2012)

Windrichtungsverteilung: Mälzerei in der Nacht



Windrichtungsverteilung: Kärntnerstraße in der Nacht



Windrichtungsverteilung: Graz West in der Nacht

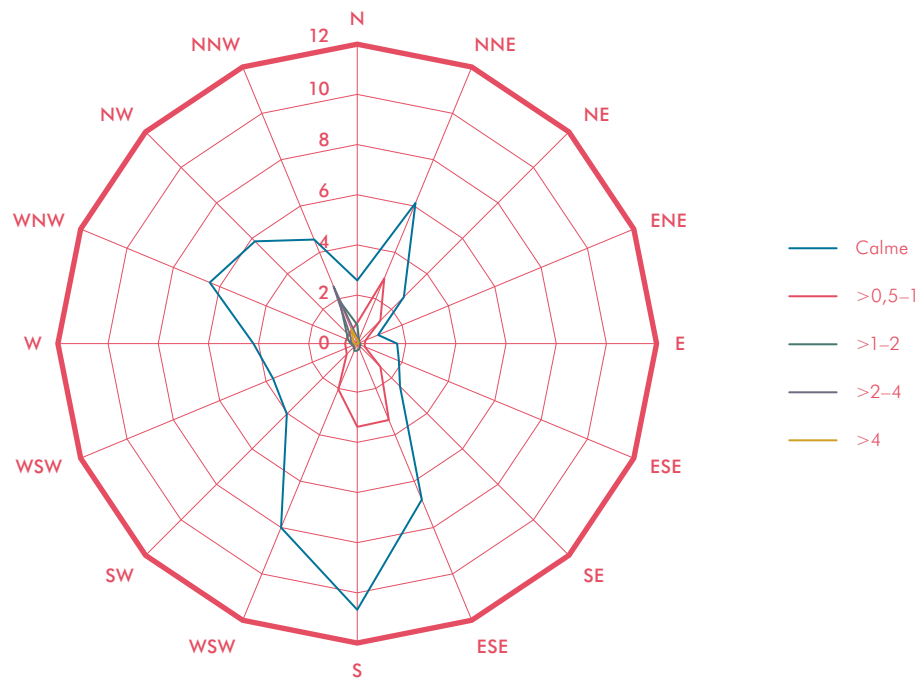
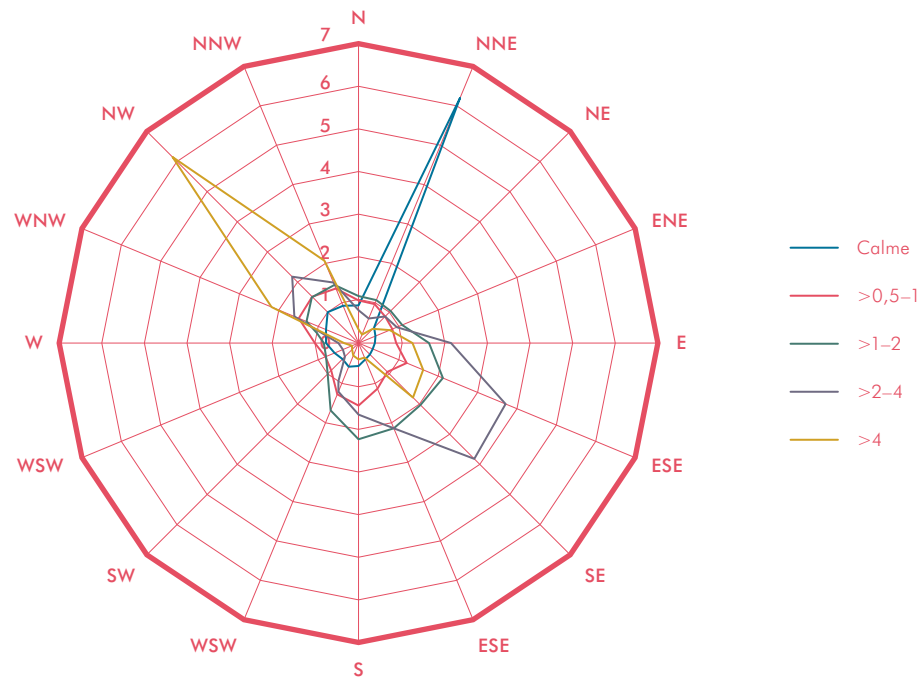
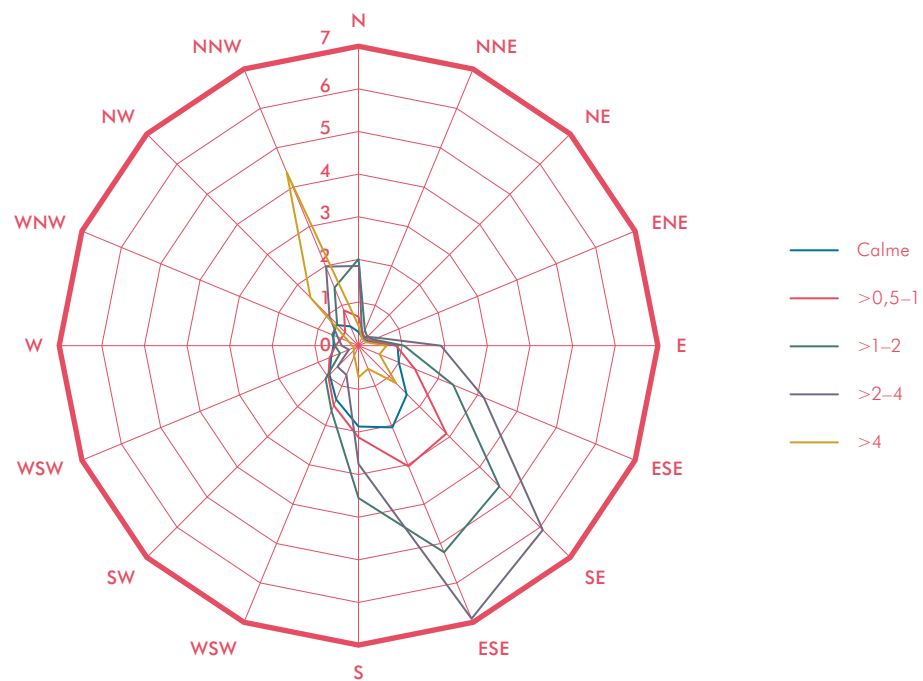


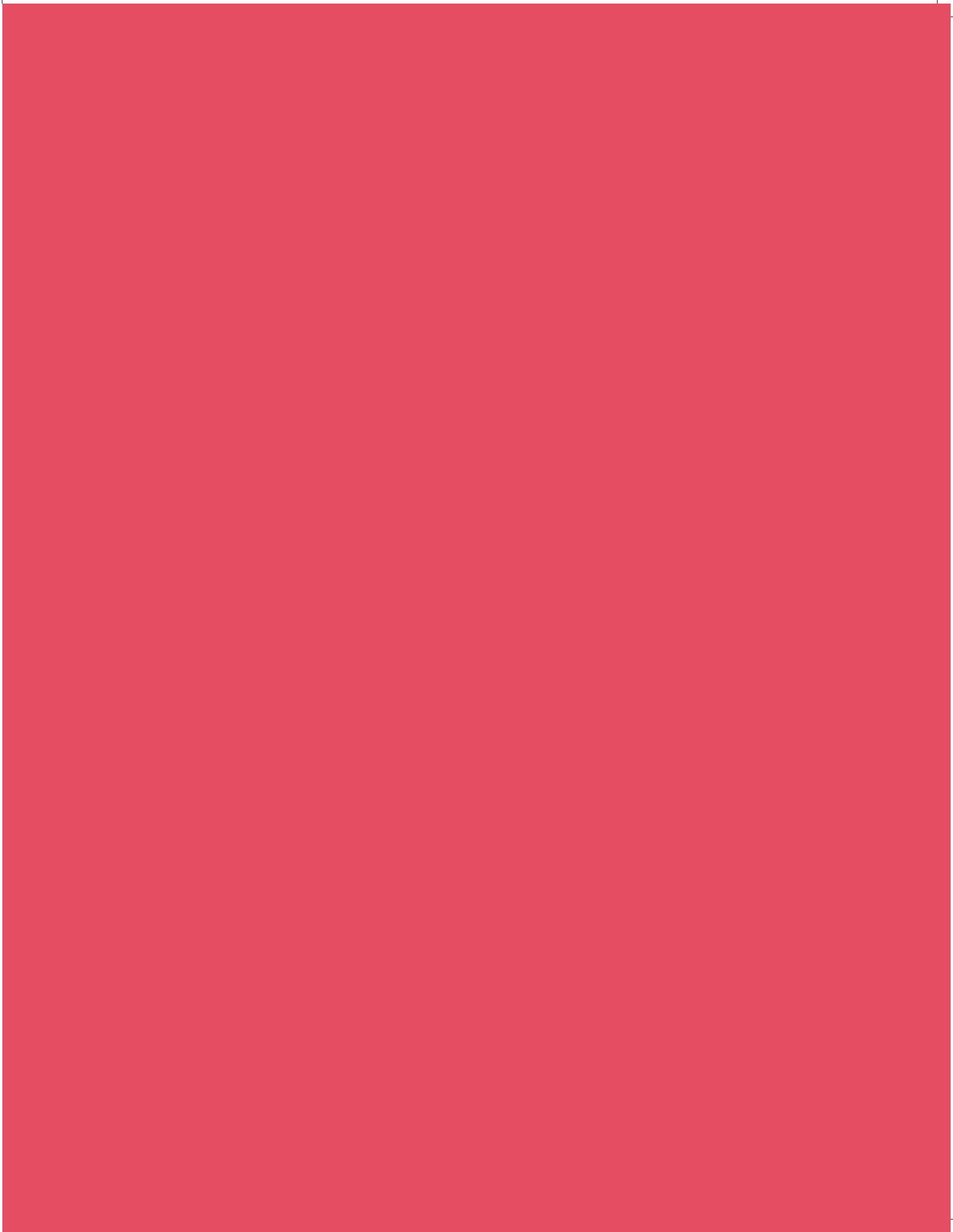
Abbildung 42:
Strömungsverhältnisse
am Tag an verschiede-
nen Stationen in Graz
(für 2011, nach
PFAFFINGER 2012)

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 Entsiegelungspotenzialen. 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- terechtlichen 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.
- PFAFFINGER, 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.

AO.UNIV.-PROF. MAG. DR.RER.NAT. WOLFGANG SULZER**Karl-Franzens-Universität Graz/Institut für Geografie und Raumforschung**

Wolfgang Sulzer hat das Diplomstudium Geographie an der Karl Franzens Universität Graz absolviert und eine Dissertation zum Thema „Fernerkundung und Raumplanung – Das Beispiel der Kleinregion Feldbach“ verfasst. Die Habilitationsschrift befasste sich mit dem Thema: „Die Geographische Fernerkundung im Spannungsfeld zwischen Hochgebirge und urbanem Raum“. Hier wurden die Methoden und Techniken bei der Anwendung von geographischen Fernerkundungsanalysen in Städten und Hochgebirgsräumen dokumentiert.

Längere Forschungs- und Lehraufenthalte führten an die Technische Universität, nach Dresden/Deutschland, Ojos del Salado/Chile, Mendoza/Argentinien, Istanbul/Türke und Skopje/Mazedonien. Ein Forschungsfokus liegt mit mehrmonatigen Aufenthalten in Nepal (Khumbu Himal, Langtang Himal, Chitwan, Kali Gandaki, Annapurna Himal, Katmandu). Der Schwerpunkt in Forschung und Lehre sind die Geographischen Technologien, insbesondere die Fernerkundung. Immer wieder gibt es in den Lehrveranstaltungen den Bezug Fernerkundung zum Klima in städtischen Räumen. Seit 2003 ist er in die Stadtklimaanalyse eingebunden und betreut die technologischen Aspekte. Im Speziellen ist er für die Aufbereitung, Analyse und Darstellung der Befliegungen verantwortlich.

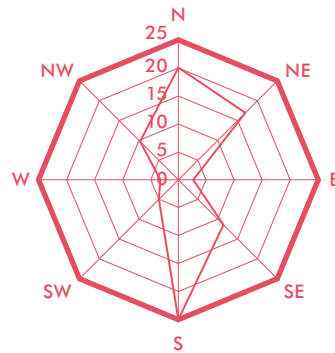


Zum Vergleich dient noch auf der anderen Murseite die Station EUROSTAR Kamin, die Ähnlichkeiten mit der Puchstraße aufweist. Nördliche und südliche Winde halten sich die Waage, was bedeutet, dass zu einem noch recht beachtlichen Anteil (ca. 10 %) Wind-sicherungen mit den Verhältnissen am Schlossberg

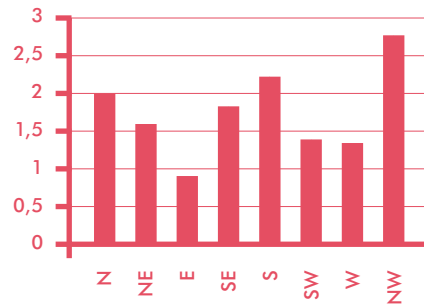
existieren, da die Mächtigkeit des Pseudoflurwindes noch über die Höhe der Station am Kamin hinausreicht. Eine weitere Erklärung wäre die zeitliche Verzögerung des Übergangs vom Murtales- zum Murtaleswind, der sich im Süden von Graz rascher vollzieht.

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

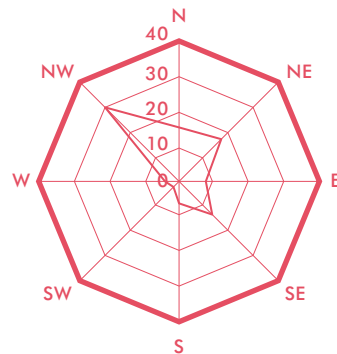


Bei den jahreszeitlichen Unterschieden fällt am ehesten die Station Graz Universität auf, da das sekundä-

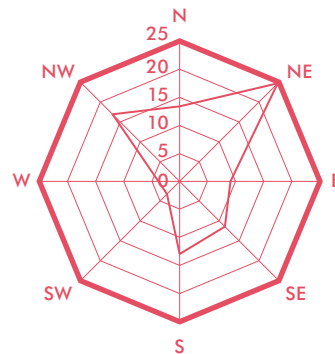
re Maximum im Nordosten nur im Winterhalbjahr vertreten ist.

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.

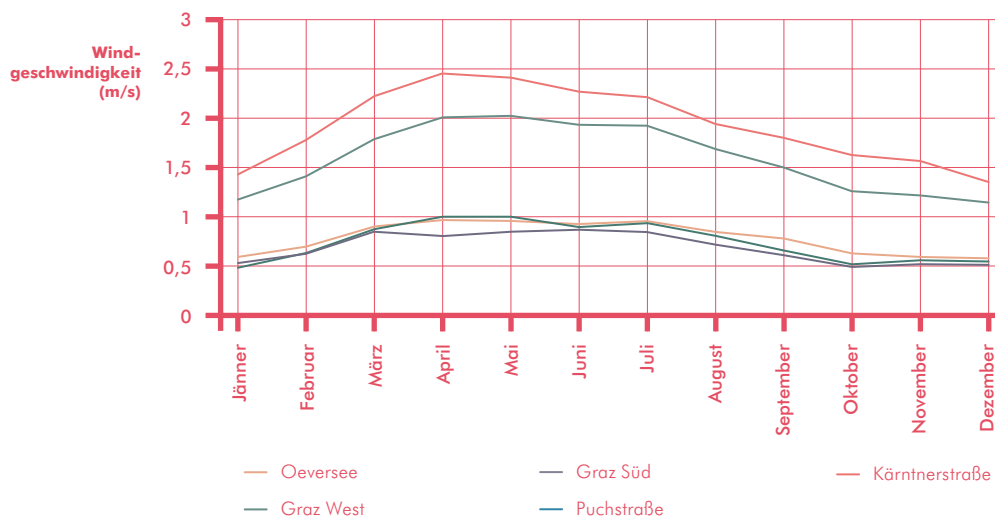


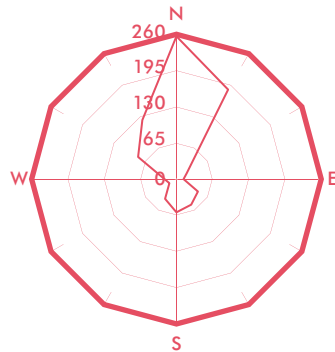
Abbildung 23:
Jahresgang des
Windes (Basis: Daten
vom Jahr 2011, nach
PFAFFINGER 2012)

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-

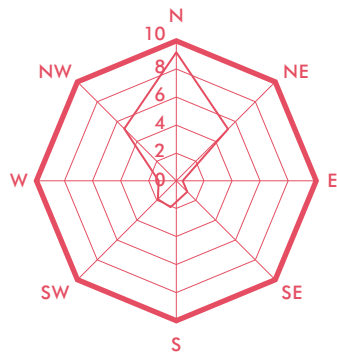
fluss (Schlossberg) sehr gut nachweisbar. Bei der Station Graz Süd fällt ferner auf, dass die Kalmenhäufigkeit gegenüber den Verhältnissen tagsüber merklich erhöht ist und ein Ausmaß von über 70 % erreicht. Dies könnte unter anderem auf die zu geringen Windgeschwindigkeiten der Pseudoflurwinde zurückzuführen 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)

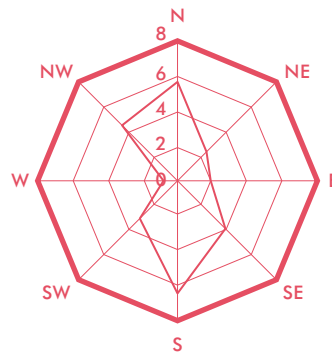
**Windrose Graz Nord
910101-921231,
Winter: Nacht
Anzahl der Fälle: 7635**



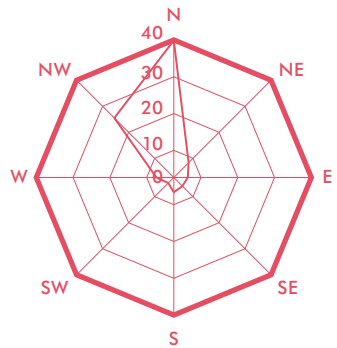
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994-1995,
Sommer: Nacht
3378 Fälle, Kalmen: 75,87 %**



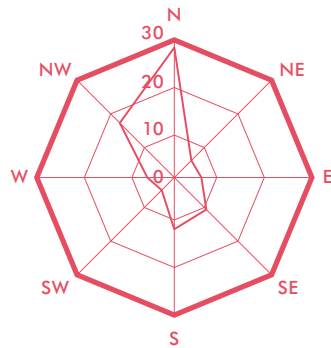
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz Süd 1994-1995,
Winter: Nacht
5569 Fälle, Kalmen: 70,52 %**



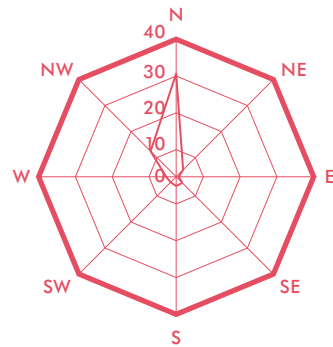
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Kärntnerstraße 1994-1995,
Sommer: Nacht
3333 Fälle, Kalmen: 8,04 %**



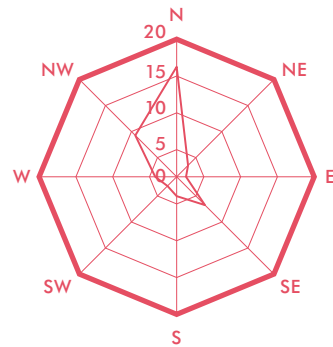
**Windrichtungsverhältnisse (%)
Kärntnerstraße 1994-1995,
Winter: Nacht
5099 Fälle, Kalmen: 12,02 %**



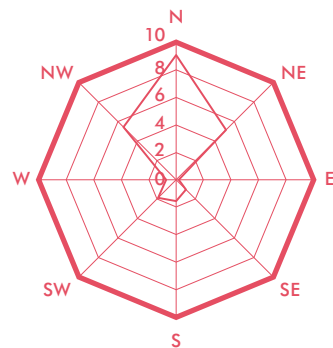
Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz West 1994–1995,
Sommer: Nacht
 2758 Fälle, Kalmen: 41,23 %



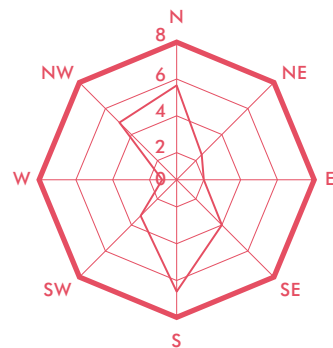
Windrichtungsverhältnisse (%)
Graz West 1994–1995,
Winter: Nacht
 4283 Fälle, Kalmen: 53,7 %



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

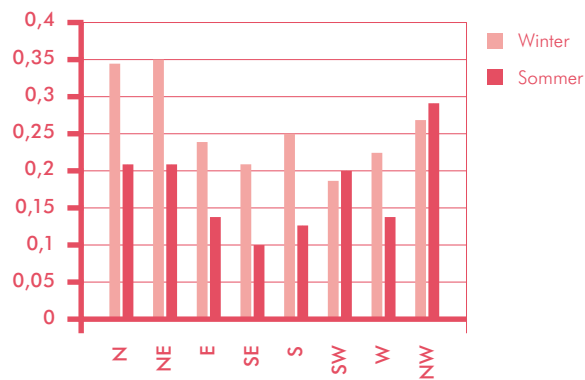


Abbildung 25:
 Windgeschwindigkeit
 Graz Süd, Nacht
 (nach KRAACK 2004)